

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



Tese de Doutorado

DAISY BESERRA LUCENA

**IMPACTO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DO
NORDESTE DO BRASIL**

Campina Grande, Junho de 2008



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

**IMPACTO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DO
NORDESTE DO BRASIL**

DAISY BESERRA LUCENA

Junho de 2008
Campina Grande – PB



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

**IMPACTO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DO
NORDESTE DO BRASIL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do grau de doutor em Meteorologia.

Aluna: Daisy Beserra Lucena
Orientadores: Manoel F. Gomes Filho
Jacques Servain

Junho de 2008
Campina Grande – PB

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L935i

2008 Lucena, Daisy Beserra

Impacto dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima do Nordeste do Brasil / Daisy Beserra Lucena. — Campina Grande, 2008.
225f. : il.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Manoel Francisco Gomes Filho e Jacques Servain.

1. Precipitação no Nordeste do Brasil. 2. Gradiente Meridional da TSM.
3. El Niño. 4. La Niña. 5. MCGA ARPEGE I. Título.

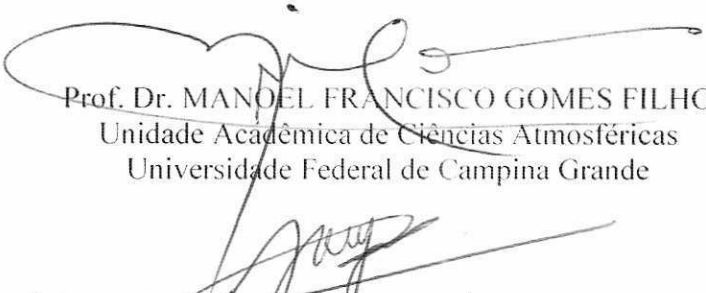
CDU – 551.5 (043)

DAISY BESERRA LUCENA


IMPACTO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DO NORDESTE DO
BRASIL

TESE APROVADA EM 18/06/2008

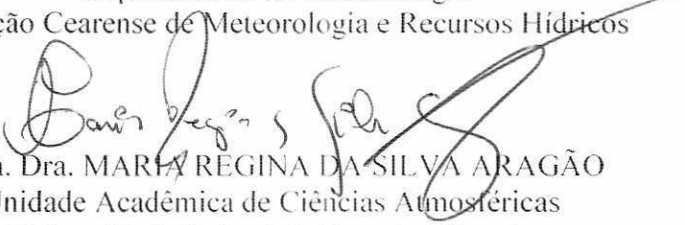
BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande




Prof. Dr. JACQUES MAURICE RENÉ RAYMOND SERVAIN
Departamento de Meteorologia
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos



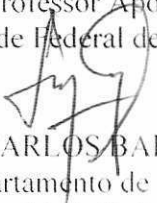
Prof. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
Professor Aposentado
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. LUIZ CARLOS BALDICERO MOLION
Departamento de Meteorologia
Universidade Federal de Alagoas

“Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve... A vida é muita para ser insignificante.”

Charles Chaplin

Não há como não dedicar esse objetivo alcançado às pessoas mais importantes em minha vida...

ANA BEATRIZ, minha filha, minha benção e meu maior tesouro.

WENNER, meu esposo, que, com amor, companheirismo e incentivo, proporcionou-me a estabilidade necessária para seguir, sempre, em frente.

IPOJUCAN E CARMINHA, meu pai e minha mãe, pelo apoio e os valores que me passaram e que me foram fundamentais durante a jornada.

AGRADECIMENTOS

Cheguei ao fim de mais um caminho que escolhi trilhar e que, pessoalmente, foi muito difícil, profissionalmente com certeza foi e será enriquecedor. Tudo não acontece por acaso e nada se constrói sozinho. Nestes anos, aprendi muito com os erros e, principalmente, com muitas pessoas as quais agradeço e retribuo com essas simples palavras de carinho.

Agradeço e serei sempre agradecida a **Deus** e a **Nossa Senhora** por sempre me guiarem e me ensinarem que toda tarefa, por mais nobre que seja, está determinada a enfrentar obstáculos e, por isso, devemos sempre ter fé e esperança. Por isso, sempre me recorria a Ele e a Ela para dar-me força, perseverança e coragem nos momentos mais difíceis e para me fazer acreditar que eu podia realizar...

Wenner (meu amor) e **Ana Beatriz** (minha princesa), pessoas às quais devo mil e uma desculpas por tantas vezes omissa e estressada. Os quais tinham que me agüentar quando, muitas vezes, descarregava toda a minha agonia sobre eles... mas, agora, o que tenho a dizer-lhes é que... chegamos ao final... vencemos... conquistamos... e isso tudo, também, foi por vocês. VOCÊS SÃO MINHA VIDA.

Ao meu pai e minha mãe, **Ipojucan** e **Mª do Carmo** (Carminha), sementes de tudo em minha vida. Meus eternos agradecimentos por todo seu amor e apoio incondicionais sem os quais eu não teria conseguido vencer mais essa etapa. Vocês são o meu maior exemplo de vitória e amor. AMO VOCÊS.

Amor de irmã e de irmão não tem preço, não tem hora. Agradeço de forma muito especial e com muito amor a **Denise** e a **Rodrigo** que sempre estiveram, estão e estarão comigo em qualquer caminhada, me dando forças, amor, carinho... o que seria de mim sem vocês? ESSA VITÓRIA TAMBÉM É DE VOCÊS.

Agradeço também a pessoas que fazem parte da minha vida, minha tia/avó **Josefa**, minha sogra **Socorro**, minhas cunhadas **Maísa**, **Suênia** e **Myrela**, meu cunhado **Marckelly**, meus sobrinhos (as) **Amanda**, **Vitória** e **Vinícius**, pela força, vocês também fazem parte dessa vitória. Além de toda a minha família que sempre me apoiou e sempre esteve presente em minha vida.

Agradecer ao Prof. **Manoel** é muito mais do que dizer um simples obrigado pela constante orientação. Porque ele, em muitas horas, foi mais do que um mestre, foi um grande amigo me ensinando, incentivando e pondo em mim confiança que muitas vezes faltava. OBRIGADA, MANOEL, POR TUDO!!!

Agradeço também de forma especial ao Prof. **Jacques Servain**, pelas suas valiosas orientações e por acreditar em mim, pois muitas vezes falhei e ele nunca desistiu de mim. Obrigada mesmo.

A Universidade Federal de Campina Grande – **UFCG**, principalmente a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, pela oportunidade que me foi dada para realizar este curso de doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - **CNPq** pela concessão da bolsa de estudos.

A **Divanete**, secretária da Pós-Graduação, que é uma pessoa muito especial, ela tem uma enorme parcela de contribuição neste sucesso alcançado. Quero agradecê-la por todas as palavras, gestos amigos... que ajudava muito mesmo sem ela saber... Lembre-se Diva, você é uma pessoa iluminada.

Ao Dr. **Christophe Cassou** (CNRS-CERFACS) pela concessão dos dados do modelo ARPEGE.

Ao Prof. **Enilson**, agradeço por sua disponibilidade sempre em ajudar-me com a leitura dos dados do modelo ARPEGE e as inúmeras dúvidas com o GrADS.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas pelos seus ensinamentos durante minha vida estudantil.

Aos membros da banca examinadora, Profa. **Regina**, Prof. **Ivaldo**, Prof. **Oribe** e Prof. **Molion**, pelas críticas e sugestões. Para mim, foram de grande valia e aprendizado.

Aos colegas, Ranyere, Ewerton, Edivânia, Jane, Roberton Alan... e outros (desculpem-me por não relatar o nome de todos) por estarem ao meu lado ao longo da realização deste trabalho, pelas palavras de otimismo, sempre me incentivando.

A Profa. **Noelma** pelas valiosas contribuições na correção do português.

Ao **Projeto** de cooperação científico franco-brasileiro IRD-CNPq **CATIN** “*Climat de l’Atlantique Tropical et Impacts sur le Nordeste*” (Processo CNPq 492690/2004-9), como também ao **Projeto** Institucional da UFCG **CAMISA** “Clima do Nordeste e do Atlântico Tropical e o Monitoramento dos Impactos no Semi-Árido”, nos quais esta tese está inserida, pela oportunidade que me deram de adquirir mais conhecimentos e por tornarem possível o desenvolvimento de pesquisas científicas na academia.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta contribuíram para a minha experiência de vida e realização deste trabalho.

OBRIGADA ...

"As reticências são os três primeiros passos do pensamento que continua por conta própria o seu caminho".

Mário Quintana

RESUMO

Analisou-se a influência dos eventos climáticos no Pacífico (El Niño e La Niña) e no Atlântico (gradiente meridional da anomalia da TSM) sobre a precipitação no Nordeste do Brasil (NEB), mais especificamente sobre três sub-regiões climáticas (norte, leste e centro/sul), a partir da análise de compostos e criação de cenários. A análise incluiu dados de precipitação observada (*in situ* e de satélite), simulada pelo MCGA ARPEGE, além de dados obtidos das reanálises do NCEP. O ARPEGE foi inicializado com duas diferentes configurações da TSM para o período de 1948-1997: a primeira, GOGA, com TSM observadas sobre o oceano global, e a segunda, AOGA, forçada por TSM observadas sobre o Atlântico e TSM climatológicas sobre os dois outros oceanos. O modelo conseguiu representar bem a variabilidade da precipitação nos anos dos eventos, sendo assim os dois tipos de simulações ajudaram a identificar a influência diferenciada entre as condições da TSM do Pacífico e Atlântico sobre a variabilidade da precipitação nas três sub-regiões em estudo. Os resultados obtidos mostraram que em anos de El Niño, se as condições do Atlântico forem desfavoráveis (favoráveis), o impacto sobre as sub-regiões norte e leste são precipitações abaixo (em torno ou acima) da média no período chuvoso. O oposto se verifica em anos de La Niña. As simulações do ARPEGE conseguiram captar esses padrões, ou seja, GOGA reproduziu melhor a precipitação em anos concordantes (anomalias da TSM no Pacífico e Atlântico tropical norte com mesmo sinal) e AOGA em anos discordantes, nos quais o sinal são opostos nos dois oceanos acima. A exceção ocorreu na sub-região leste em que a simulação AOGA se apresentou melhor que GOGA, sugerindo que o Atlântico é quem domina a variabilidade da precipitação no leste em anos de La Niña. Para a sub-região centro/sul, verificou-se que as simulações não conseguiram reproduzir muito bem a precipitação observada durante os anos de El Niño/La Niña. Contudo, tem-se que os impactos na precipitação nessa região centro/sul são opostos aos que são visualizados sobre o leste e norte. Finalmente, pode-se dizer que o Atlântico é que, provavelmente, determina o comportamento das chuvas nas sub-regiões, talvez não o gradiente meridional da anomalia da TSM em si, mas as condições do Atlântico Tropical Sul.

Palavras-chaves: Precipitação no Nordeste do Brasil, Gradiente Meridional da TSM, El Niño/La Niña, MCGA ARPEGE

ABSTRACT

The impact of climatic events in the Pacific (mainly El Niño and La Niña) and in the tropical Atlantic (meridional gradient of the SST anomaly) on the Northeast Brazil (NEB) precipitation was analysed, more specifically on three climatic sub-regions (north, east and center/south), from the analysis of composites and creation of scenarios. The analysis included observed precipitation (*in situ* and satellite data), simulated precipitation for MCGA ARPEGE, beyond data gotten from NCEP reanalyses. The ARPEGE was run with two different configurations of the SST for the period 1948-1997: the first one, GOGA, was forced by observed SST on the Global Ocean; the second one, AOGA, was forced by observed SST on the Atlantic and climatic SST on the two other oceans. The model succeeded to represent the variability of the precipitation in the years of the events since the two types of simulation helped to identify the differentiated influence between the SST conditions over the Pacific and Atlantic on the precipitation variability in the three studied sub-regions. The results showed that during El Niño years, if the conditions of the Atlantic are unfavourable (favourable), the impact on the north and east sub-regions is a below (around or above) precipitation from average in the rainy season. The opposite was verified during La Niña years. The simulations of ARPEGE can capture these patterns that are GOGA better reproduce the precipitation for these years that SSTA in the Pacific and North Atlantic have the same signal and AOGA for the SSTA with different signals. The exception occurred in the sub-region east where AOGA was better than GOGA, suggesting that the Atlantic dominates the variability of the precipitation in the east of NEB during La Niña years. For the sub-region center/south it was noted that the simulations did not reproduce very well the precipitation during El Niño/La Niña years. Furthermore, the impact in that sub-region center/south is opposed to that of east and north sub-regions. It can be argued that the Atlantic determines with the strongest impact the rain behavior in the three NEB sub-regions. However that impact does not seem as well the consequence of the meridional gradient, as the direct SST anomaly situation in the southern tropical basin.

Keywords: Northeast Brazil precipitation, meridional gradient of SST, El Niño/La Niña, ARPEGE AGCM

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução	27
1.2 Objetivo Geral	32
1.3 Objetivos Específicos	32
1.4 Estrutura da Tese	33

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Circulação Geral nos Trópicos	34
2.2 Climatologia das Precipitações sobre o NEB	36
2.3 Variabilidade da TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico	38
2.3.1 Oceano Atlântico Tropical.....	38
2.3.2 Oceano Pacífico	43
2.3.2.1 El Niño – Oscilação Sul	43
2.3.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico	47
2.4 Influência do Pacífico Equatorial no Atlântico Tropical	49
2.5 Influência das ATSM dos Oceanos Tropicais nas Precipitações sobre o NEB.....	50

CAPÍTULO 3 – DADOS E METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo	53
3.2 Dados	55
3.2.1 Dados de Precipitação sobre o NEB	55
3.2.2 Dados de Variáveis Atmosféricas	56
3.2.3 Modelo ARPEGE	57
3.3 Metodologia	60
3.3.1 Seleção dos Eventos Climáticos Extremos sobre o Pacífico e Atlântico	60
3.2.2 Análise de composições	63

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Variação Anual	65
4.2 Variação Interanual	68
4.3 Características Sazonais da Atmosfera e Oceano	76
4.3.1 Composições associadas ao Evento El Niño	76
4.3.2 Composições associadas ao Evento La Niña.....	94
4.3.3 Composições associadas ao Gradiente Meridional Positivo	109
4.3.4 Composições associadas ao Gradiente Meridional Negativo	124
4.4 Eventos nos Oceanos Pacífico e Atlântico – Influência sobre a Precipitação do NEB	145
4.4.1 Anos de Eventos El Niño	145
4.4.2 Anos de Eventos La Niña	151
4.4.3 Anos com Gradiente Meridional Positivo	155
4.4.4 Anos com Gradiente Meridional Negativo	159

4.5 Cenários mensais do período chuvoso de cada sub-região em anos de eventos nos Oceanos	165
4.5.1 Sub-região Norte do NEB	167
4.5.1.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média	167
4.5.1.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média	171
4.5.1.3 Cenário La Niña associado à precipitação acima da média	174
4.5.1.4 Cenário La Niña associado à precipitação abaixo da média	177
4.5.2 Sub-região Leste do NEB	180
4.5.2.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média	180
4.5.2.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média	183
4.5.2.3 Cenário La Niña associado à precipitação acima da média	186
4.5.2.4 Cenário La Niña associado à precipitação abaixo da média	189
4.5.3 Sub-região Centro/Sul do NEB	192
4.5.3.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média	192
4.5.3.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média	195
4.5.3.3 Cenário Gradiente Meridional Positivo associado à precipitação acima da média	198
4.5.3.4 Cenário Gradiente Meridional Positivo associado à precipitação abaixo da média	201

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões	207
5.2 Considerações Finais	210
REFERÊNCIAS	212

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	- Alta da Bolívia
AOGA	- <i>Atlantic Ocean-Global Atmosphere</i>
ARPEGE	- <i>Action de Recherche Petites et Grandes Echelles</i>
AT	- Atlântico Tropical
ATN	- Atlântico Tropical Norte
ATS	- Atlântico Tropical Sul
ATSM	- Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar
APNM	- Anomalia da Pressão ao Nível Médio do Mar
CAMS	- <i>Climate Anomaly Monitoring System</i>
CCM	- Complexos Convectivos de Mesoescala
CDC	- <i>Climate Diagnostics Center</i>
CGA	- Circulação Geral da Atmosfera
CPC	- <i>Climate Prediction Center</i>
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DJF	- Dezembro, janeiro e fevereiro
ECMWF	- <i>European Center of Medium Range Weather Forecast</i>
EN	- El Niño
ENOS	- El Niño – Oscilação do Sul
FUNCEME	- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GISST	- <i>Global Sea Ice and Sea Surface Temperature</i>
GHCN2	- <i>Global Historical Climatology Network – versão 2</i>
GOGA	- <i>Global Ocean-Global Atmosphere</i>
GPCP	- <i>Global Precipitation Climatology Project</i>
GRADM	- Gradiente Meridional
GrADS	- <i>Grid Analysis and Display System</i>
HS	- Hemisfério Sul
HN	- Hemisfério Norte
IME	- Índice Multivariado do ENOS
IODP	- Índice da Oscilação Decadal do Pacífico
IOS	- Índice Oscilação do Sul
IPCC	- Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC - sigla em inglês do <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IRI	- <i>International Research Institute for Climate and Society</i>
JISAO	- <i>Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean</i>
JJA	- Junho, julho e agosto
LN	- La Niña
NAO	- <i>North Atlantic Oscillation</i>
MAM	- Março, abril e maio
MCGA	- Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
NCAR	- <i>National Centers for Atmospheric Research</i>
NCEP	- <i>National Centers for Environmental Predictions</i>
NEB	- Nordeste do Brasil
NOAA	- <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ODP	- Oscilação Decadal do Pacífico
OMJ	- Oscilação Madden-Julian
OS	- Oscilação Sul
POAs	- Perturbação Ondulatória no Campo dos Alísios

PRECL	- Reconstrução da precipitação sobre os continentes
PSA	- <i>Pacific South América</i>
PNA	- <i>Pacific North América</i>
PNM	- Pressão ao Nível Médio do Mar
SON	- Setembro, outubro e novembro
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	- Zona de Convergência da América do Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 - Mapa do Brasil com região Nordeste em destaque.....	28
Figura 2.1 - Circulação global idealizada no modelo de circulação de três células.....	35
Figura 2.2 - Esquema da circulação de Walker sobre a Bacia do Pacífico Equatorial.....	36
Figura 2.3 - Índice mensal do GRADM da TSM do Atlântico para o período de 1964-2007 calculados a partir de dados da TSM provenientes de navios de comércio e oceanográficos e bóias para as bacias norte e sul do Atlântico.....	41
Figura 2.4 - Circulação observada sobre o Oceano Pacífico Equatorial em anos de (a) El Niño; (b) Normais e (c) La Niña. Podem-se observar as regiões com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Inclinação da termoclina é notada pela seção na cor azul	44
Figura 2.5 - Regiões dos índices Niño que servem para monitorar o início e desenvolvimento do evento sobre o Pacífico.....	45
Figura 2.6 - Anomalias da TSM mensais sobre a região do Niño 3.4 (170°W/120°W –5°S/5°N) a partir de dados GISST para o período de 1948-1997. A linha vertical tracejada divide a série em dois períodos distintos, antes e depois de 1976. Os anos em vermelho correspondem aos 14 anos de El Niño e os em azul aos 13 anos de La Niña.....	46
Figura 2.7 - Série temporal do Índice Multivariado do ENOS	47
Figura 2.8 - Padrão das fases da Oscilação Decadal do Pacífico (a) fase quente e (b) fase fria	48
Figura 2.9 – Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico (IODP)	48
Figura 3.1 - Regime de precipitação sobre o Nordeste do Brasil com seus principais meses chuvosos: (12) Dezembro, (3) Março e (5) Maio.	53
Figura 3.2 - Subdivisões da região NEB: sub-região 1 (norte do NEB); sub-região 2 (leste do NEB); e sub-região 3 (centro-sul do NEB).....	54
Figura 3.3 - A região em negrito mostra a área do Oceano Atlântico utilizada como forçante no experimento AOGA. Nos demais oceanos, como mostrado, é utilizada a climatologia de TSM	59
Figura 3.4 – Série temporal do índice do GRADM calculado pela diferença entre as TSM média sobre a área no ATN (20°W-60°W, 5°N-28°N) menos a média da TSM na área do ATS (35°W-5°E, 5°N-20°S).....	63

Figura 4.1	– Ciclo anual da precipitação (mm/dia) para as duas simulações (GOGA e AOGA) do modelo ARPEGE, dados obtidos de reanálises do NCEP e dados observados do CPC e GPCP para todo o NEB.....	66
Figura 4.2	- Ciclo anual da precipitação em mm/dia para as três sub-regiões do NEB com os resultados das simulações GOGA e AOGA do modelo ARPEGE, dados de reanálises do NCEP, dados observados do CPC e GPCP. (a) sub-região 1 - norte; (b) sub-região 2 - leste e (c) sub-região 3 – centro/sul	67
Figura 4.3	- Série temporal mensal da precipitação (mm/dia) sobre todo o NEB com os dados do modelo ARPEGE para o período 1948-1997 para (a) simulação GOGA (referência) (b) simulação AOGA (teste).....	69
Figura 4.4	– Série temporal mensal da diferença da precipitação entre as simulações GOGA-AOGA do modelo ARPEGE para todo o NEB (1948-1997)	70
Figura 4.5	– Diferença da precipitação entre as duas simulações (GOGA-AOGA) do modelo ARPEGE para o período chuvoso de cada sub-região para a sub-região 1 (FMAM); sub-região 2 (AMJJ) e sub-região 3 (NDJF)	71
Figura 4.6	- Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA para o período chuvoso da sub-região 1 (FMAM). A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA	72
Figura 4.7	Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA para o período chuvoso da sub-região 2 (AMJJ). A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA.....	73
Figura 4.8	- Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA para o período chuvoso da sub-região 3 (NDJF). A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA	74
Figura 4.9	– Composições sazonais das ATSM (°C) em anos de eventos EN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0.2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	77
Figura 4.10	– Composições sazonais das APNM (hPa) em anos de eventos EN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0.2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	79

- Figura 4.11 – Composições sazonais da seção zonal de $(u, -\omega)$ média entre 0° e 10°S em anos de El Niño para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos EN), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB..... 82
- Figura 4.12 – Composições sazonais da seção meridional de $(v, -\omega)$ média entre 50°W e 34°W em anos de El Niño para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos EN), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB..... 84
- Figura 4.13 - Composições sazonais da circulação no nível de 850 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de EN (14 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.... 86
- Figura 4.14 - Composições sazonais da circulação no nível de 200 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de EN (14 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação ... 88
- Figura 4.15 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal (10^{-5}s^{-1}) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência (10^{-6}s^{-1}) (lado direito) no nível de 850 hPa para os anos de eventos EN para SON, DFJ, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 90
- Figura 4.16 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal (10^{-5}s^{-1}) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência (10^{-6}s^{-1}) (lado direito) no nível de 200 hPa para os anos de eventos EN para SON, DFJ, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 91
- Figura 4.17 - Composições sazonais das anomalias da precipitação com dados do CPC (mm/dia) em anos de eventos EN para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 93

Figura 4.18 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	95
Figura 4.19 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	97
Figura 4.20 – Composições sazonais da seção zonal de (u,- ω) média entre 0° e 10°S em anos de La Niña para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.....	99
Figura 4.21 – Composições sazonais da seção meridional de (v,- ω) média entre 50°W e 34°W em anos de La Niña para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.....	100
Figura 4.22 - Composições sazonais da circulação no nível de 850 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de LN (13 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.....	102
Figura 4.23 - Composições sazonais da circulação no nível de 200 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de LN (13 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.....	105
Figura 4.24 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de 850 hPa para os anos de eventos LN para SON, DFJ, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	106

- Figura 4.25 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de 200 hPa para os anos de eventos LN para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 107
- Figura 4.26 – Composições sazonais das anomalias da precipitação (mm/dia) observadas do CPC em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 108
- Figura 4.27 – Composições sazonais das ATSM ($^{\circ}C$) em anos com GRADM positivo para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 110
- Figura 4.28 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos com GRADM positivo para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 111
- Figura 4.29 – Composições sazonais da seção zonal de $(u, -\omega)$ média entre 0° e $10^{\circ}S$ em anos com GRADM positivo para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB..... 113
- Figura 4.30 – Compostos sazonais da seção meridional de $(v, -\omega)$ média entre $50^{\circ}W$ e $34^{\circ}W$ em anos com GRADM positivo para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB..... 115
- Figura 4.31 - Composições sazonais da circulação no nível de 850 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com GRADM positivo (10 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação..... 117

- Figura 4.32 - Composições sazonais da circulação no nível de 200 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com GRADM positivo (10 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação..... 119
- Figura 4.33 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de 850 hPa para os anos com GRADM positivo para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 121
- Figura 4.34 - Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de 200 hPa para os anos com GRADM positivo para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 122
- Figura 4.35 - Composições sazonais das anomalias da precipitação (mm/dia) observadas do CPC em anos com GRADM positivo para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 123
- Figura 4.36 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos com GRADM negativo para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 124
- Figura 4.37 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos com GRADM negativo para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 126
- Figura 4.38 – Compostos sazonais da seção zonal de (u,- ω) média entre 0° e 10°S em anos com GRADM negativo para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB..... 128

Figura 4.39	- Compostos sazonais da seção meridional de $(v, -\omega)$ média entre $50^{\circ}W$ e $34^{\circ}W$ em anos com GRADM negativo para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.....	130
Figura 4.40	- Compostos sazonais da circulação no nível de 850 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com GRADM negativo (09 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.....	132
Figura 4.41	- Composições sazonais da circulação no nível de 200 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com GRADM negativo (09 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.....	134
Figura 4.42	- Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de 850 hPa para os anos com GRADM negativo para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras	137
Figura 4.43	- Composições sazonais para a climatologia da divergência horizontal ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e anomalia da divergência ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de 200 hPa para os anos com GRADM negativo para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	138
Figura 4.44	- Composições sazonais das anomalias da precipitação (mm/dia) observadas do CPC em anos com GRADM negativo para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	139
Figura 4.45	Anomalia sazonal da TSM sobre a Região Niño 3.4 para 14 anos de evento El Niño. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano	146

Figura 4.46 - Anomalia sazonal da TSM sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para 14 anos de evento El Niño. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	146
Figura 4.47 - Anomalia sazonal da precipitação para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para anos de evento El Niño. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	147
Figura 4.48 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 1.....	149
Figura 4.49 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 2.....	150
Figura 4.50 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 3.....	150
Figura 4.51 - Anomalia sazonal da TSM sobre a Região Niño 3.4 para anos de evento La Niña. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	151
Figura 4.52 - Anomalia sazonal da TSM sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para anos de evento La Niña. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano	151
Figura 4.53 - Anomalia sazonal da Precipitação para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para anos de evento La Niña. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	152
Figura 4.54 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos de La Niña para a sub-região 1.....	153
Figura 4.55 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos de La Niña para a sub-região 2.....	154
Figura 4.56 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de La Niña para a sub-região 3	154
Figura 4.57 - Anomalia sazonal da TSM sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para anos com GRADM positivo. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	155
Figura 4.58 - Anomalia sazonal da TSM sobre a região Niño 3.4 para anos com GRADM positivo. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	155

Figura 4.59 - Anomalia sazonal da precipitação para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para 10 anos com GRADM positivo (gradiente para norte) sobre a bacia do Atlântico. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	156
Figura 4.60 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM positivo para a sub-região 1.....	158
Figura 4.61 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM positivo para a sub-região 2.....	158
Figura 4.62 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM positivo para a sub-região 3.....	159
Figura 4.63 - Anomalia sazonal da TSM sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para anos com GRADM negativo. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	160
Figura 4.64 - Anomalia sazonal da TSM sobre a Região Niño 3.4 para anos com GRADM negativo. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	160
Figura 4.65 - Anomalia sazonal da precipitação para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para 09 anos com GRADM negativo sobre a bacia do Atlântico. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.....	161
Figura 4.66 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 1.....	162
Figura 4.67 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 2	162
Figura 4.68 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 3.....	163
Figura 4.69 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	169

Figura 4.70 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	170
Figura 4.71 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a março. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	172
Figura 4.72 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	173
Figura 4.73 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de LN com precipitações acima da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	175
Figura 4.74 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de LN com precipitações acima da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	176
Figura 4.75 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de LN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	178

- Figura 4.76 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de LN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 1 (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 179
- Figura 4.77 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 181
- Figura 4.78 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 182
- Figura 4.79 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 184
- Figura 4.80 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 185
- Figura 4.81 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de LN com precipitações acima da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 187

Figura 4.82 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de LN com precipitações acima da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	188
Figura 4.83 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de LN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	190
Figura 4.84 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de LN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 2 (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	191
Figura 4.85 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.....	193
Figura 4.86 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações acima da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras	194
Figura 4.87 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras	196

- Figura 4.88 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de EN com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 197
- Figura 4.89 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de GRADM positivo com precipitações acima da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 199
- Figura 4.90 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de GRADM positivo com precipitações acima da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras 200
- Figura 4.91 – Composições mensais da anomalia da TSM (°C) em anos de GRADM positivo com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 202
- Figura 4.92 - Composições mensais da anomalia de precipitação (mm/dia) em anos de GRADM positivo com precipitações abaixo da média sobre a sub-região 3 (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras..... 203

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1 – Anos de El Niño e La Niña com sua devida classificação...	62
Tabela 3.2 – Anos com GRADM positivo e GRADM negativo	62
Tabela 4.1 - Classificação dos anos no(s) trimestre(s) chuvosos para cada sub-região de acordo com a precipitação e os eventos El Niño, La Niña, Gradiente meridional positivo e Gradiente meridional negativo	166

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, muito se discute sobre as mudanças que estão ocorrendo no clima em todo o globo e os impactos diretos e indiretos causados à humanidade e ao meio ambiente. Várias mudanças climáticas têm sido percebidas em regiões continentais e oceânicas, mudanças essas que podem ser notadas pelo aumento do nível dos oceanos globais, mudanças nos regimes de chuvas, aumento da temperatura média global, mudança na salinidade dos oceanos, mudança nos padrões de vento, aumento da intensidade de eventos extremos climáticos (furacões, tempestades tropicais, precipitações intensas causando inundações em muitas regiões, ondas de calor, seca ...), dentre outras (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC¹, 2007). Tudo isso tem despertado preocupações dentro e fora do meio científico, devido aos impactos causados por essas mudanças. Isto faz com que a comunidade científica trabalhe no sentido de buscar um melhor entendimento das mudanças naturais e antrópicas, que vêm ocorrendo no oceano e na atmosfera, bem como da interação entre esses dois sistemas e o impacto desses nas diversas regiões do globo.

Uma das regiões mais vulneráveis no Brasil, do ponto de vista social, de mudança do clima, segundo o IPCC (2007), é o Nordeste do Brasil (NEB) (Figura 1.1). Sendo assim, essa região necessita de muitas pesquisas que visem os mecanismos causadores ou inibidores da precipitação, tendo em vista que a região possui uma grande complexidade de características naturais e sociais. Dentre os muitos aspectos presentes nessa região, destacam-se temperaturas elevadas o ano inteiro (o que é característica das regiões tropicais) e períodos de secas longas, causadas pela escassez e má distribuição das chuvas, tanto em escala espacial quanto temporal. Períodos de secas causam prejuízos à população que, em sua grande maioria, vive da agricultura e pecuária de

Intergovernmental Panel on Climate Change

sobrevivência, além de transtornos nos recursos hídricos, economia, saúde, turismo, dentre outros.

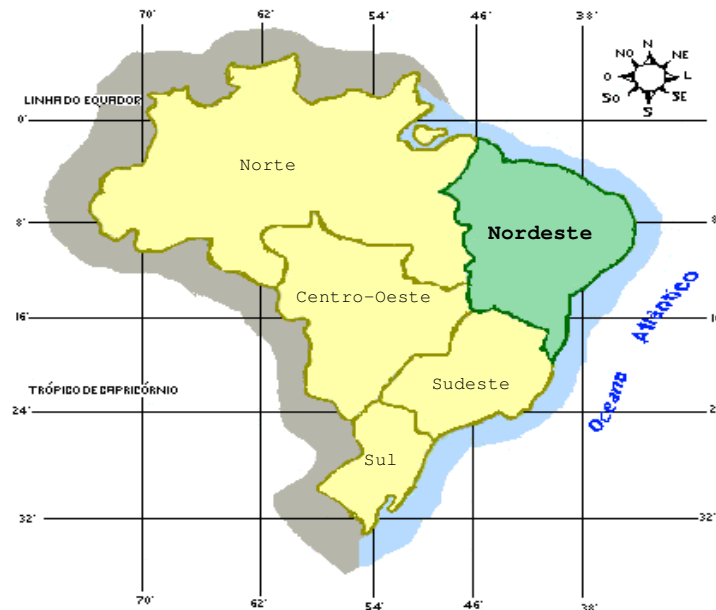


Figura 1.1 - Mapa do Brasil com região Nordeste em destaque.
Fonte: Rodriguez (1999)

Em sua extensa região, identificam-se três regimes básicos quanto à distribuição espacial das precipitações (NOBRE e MOLION, 1988), que varia desde o clima úmido com precipitações excedendo 2.000mm/ano, ao semi-árido com precipitações entre 300-500 mm/ano. No norte do NEB, os meses mais chuvosos estão entre fevereiro a maio; na sub-região sul tem-se o período chuvoso compreendido entre novembro e fevereiro e na costa leste, o período vai de abril a julho (MOLION e BERNARDO, 2002).

A existência desses regimes diferenciados para sub-regiões distintas sobre o NEB sugere que mais de um mecanismo seja responsável pela precipitação. Dentre os mecanismos de grande escala que influenciam a precipitação no NEB e que organizam a convecção em escala sinótica, os mais importantes são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistemas frontais, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e a Oscilação Madden-Julian (OMJ). Os mecanismos de mesoescala são as Perturbações Ondulatórias no campo dos ventos Alísios (POAs), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e as brisas marítimas e terrestres. As circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem os fenômenos de microescala (MOLION e

BERNARDO, 2002). Esses atuam em sub-regiões diferentes e se superpõem em algumas, nas mesmas ou em épocas diferentes.

Resultados de várias pesquisas evidenciaram que grande parte da variabilidade do clima sobre o NEB é modulada por padrões atmosféricos e oceânicos de grande escala que se processam (conjuntamente ou não) sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. O exemplo clássico de interação atmosfera/oceano é o fenômeno El Niño/Oscilação do Sul (ENOS). O El Niño (EN) é caracterizado pelo aquecimento anômalo da camada superficial e sub-superficial do Oceano Pacífico Central e Leste (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982). Condição oposta caracteriza eventos de La Niña (LN). A oscilação do Sul (OS) é uma variação anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea do EN, associada à mudança na circulação geral da atmosfera (ARAGÃO, 2004). Essa interação tem sido considerada uma das causas de variações climáticas sobre o NEB (RAO e HADA, 1990; ACEITUNO, 1988).

As condições de seca durante a estação chuvosa têm sido relacionadas com o evento EN. Essa conexão do EN com NEB ocorre através da circulação atmosférica, tal que a seca relacionada ao evento é atribuída a um deslocamento, para leste, da circulação de Walker, com movimentos ascendentes anômalos (aumento da convecção) sobre o Pacífico equatorial central e leste e movimentos descendentes (inibição da convecção) sobre o Atlântico Tropical (AT) e a área continental do NEB (HASTENRATH, 1976; KOUSKY *et al.*, 1984; KAYANO *et al.*, 1988; ROPELEWSKI e HALPERT, 1987, 1989; KILADIS e DIAZ, 1989; RAO e HADA, 1990). Padrões anômalos contrários da circulação atmosférica, Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e precipitação no NEB são observados em episódios de La Niña (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989; KAYANO e ANDREOLI, 2004).

Além da influência do oceano Pacífico, a variabilidade da TSM no Oceano Atlântico Tropical também apresenta sua importância e impacto sobre o clima da região NEB (MARKHAM e McLAIN, 1977; HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; ANDREOLI e KAYANO, 2004). O Atlântico é controlado por um gradiente meridional da TSM ou inter-hemisférico (GRADM), conhecido também como padrão de dipolo (MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991), associado, segundo Xie e Philander (1994), à troca vento-evaporação-TSM. Essa variabilidade ocorre em

escala interanual e decadal e está ligada ao deslocamento meridional da ZCIT, que é um dos principais mecanismos que provoca precipitação no norte e também sobre o leste do NEB.

Na ausência dos eventos sobre o Pacífico (EN ou LN), a precipitação no NEB se correlaciona mais fortemente com as anomalias de TSM (ATSM) do Atlântico Tropical Sul (ATS) que com as do Atlântico Tropical Norte (ATN) (SARAVANAN e CHANG, 2000). Alguns estudos, como os de Hastenrath e Heller (1977), Hastenrath (1978) e Moura e Shukla (1981), mostraram que, em anos de secas, as ATSM no AT apresentaram um padrão de GRADM positivo (ATSM positivas ao norte, e negativas ao sul do equador), para anos mais chuvosos esse padrão é invertido, GRADM negativo. As condições dinâmicas e termodinâmicas associados a esse GRADM interferem, de forma sensível, na posição e intensidade da ZCIT.

Para anos em que os oceanos Pacífico e Atlântico apresentam-se concordantes, ou seja, anos de EN e GRADM positivo ou LN e GRADM negativo, a relação entre as ATSM do AT e a precipitação do NEB é mais forte e as amplitudes das anomalias de precipitação são maiores e mais significativas, sendo observadas condições de seca nos anos de eventos EN e GRADM positivo e chuvas em torno ou maiores do que a média quanto se tem LN e GRADM negativo. Em anos discordantes (EN e GRADM negativo ou LN e GRADM positivo), esta relação é mais fraca, pois o AT age no sentido contrário ao evento no Pacífico, limitando ou, até mesmo, invertendo o sinal das anomalias de precipitação sobre o NEB (PEZZI e CAVALCANTI, 2001, GIANNINI *et al.*, 2004).

Assim, nem sempre condições de El Niño (La Niña) sobre o Pacífico são suficientes para determinar a condição seca (chuvosa) sobre o NEB. As correlações existentes entre EN e precipitação sobre o NEB são fracas (KANE, 1997). Existem, portanto, outras variabilidades, como, por exemplo, o GRADM que, relacionado ao El Niño, pode agir no sentido de acentuar os impactos causados por ele ou agir de forma contrária sobre as anomalias climáticas em diferentes regiões do planeta.

Vários modelos de previsão climática para o NEB, já operacionais, vêm sendo utilizados por diversos órgãos regionais, nacionais e internacionais, por meio dos quais

é possível elaborar previsões sobre a qualidade da estação chuvosa para a região (período compreendido de fevereiro a maio) com antecedência de três a seis meses. A confiabilidade dessas pode chegar a 80%, quando da ocorrência de eventos sobre o Atlântico (GRADM positivo e negativo) e no Pacífico (EN e LN). (MOURA *et al.*, 2000)

Entretanto, a maioria dos estudos tratou o NEB como um todo e, como dito anteriormente, essa região possui regimes de chuva diferenciados em três sub-regiões distintas, norte, leste e centro/sul, cada uma com o seu período de maiores precipitações e sistemas atuantes. Os impactos dos eventos extremos sobre o norte são bem conhecidos e discutidos na literatura. Porém, quando se trata do leste e centro/sul, os impactos ainda necessitam ser mais estudados.

Neste trabalho, utilizaram-se resultados de um Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) – ARPEGE², forçados por duas diferentes configurações da TSM. A primeira configuração, GOGA³, é forçada por TSM observadas sobre o oceano global. A segunda configuração, AOGA⁴, é forçada por TSM observadas sobre o Atlântico e TSM climatológicas sobre os outros oceanos. Uma comparação das respostas da precipitação sobre o NEB, fornecidas pelos dois experimentos, permite apreciar a importância das diferenças climáticas do Atlântico em relação às outras duas bacias oceânicas. Esse modelo é amplamente utilizado para regiões da Europa e também da África, e mostram resultados satisfatórios nos estudos sobre a variabilidade climática como podem ser vistos, por exemplo, nos trabalhos de Cassou (2001), Cassou e Terray (2001), Hoerling *et al.* (2006) e Hurrell *et al.* (2004).

Dessa maneira, torna-se de suma importância o conhecimento cada vez melhor do impacto da variabilidade dos oceanos, bem como os mecanismos que existem na interação entre eles, já que os mesmos são assinalados como os principais moduladores da grande variação interanual do clima sobre o NEB. E, sendo a precipitação, entre todas as variáveis climáticas, a que caracteriza melhor o clima de uma região na área tropical e, possivelmente, provoca um impacto mais direto e significativo na sociedade,

² *Action de Recherche Petites et Grandes Echelles*

³ *Global Ocean – Global Atmosphere*

⁴ *Atlantic Ocean – Global Atmosphere*

estando, mais diretamente, relacionada com as mudanças ocorridas nas superfícies dos oceanos, justifica-se a análise mais detalhada da influência desses oceanos na variabilidade da precipitação sobre três sub-regiões do NEB em escala de tempo sazonal e interanual.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal contribuir para o entendimento do impacto dos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre o clima, em especial na precipitação, do Nordeste do Brasil.

Baseado no objetivo exposto acima, tenta-se responder às seguintes questões:

A variabilidade da precipitação no período chuvoso de sub-regiões sobre o NEB está mais relacionada com o Oceano Pacífico ou Atlântico? Em que condições, a influência do Pacífico e/ou do Atlântico é mais importante?

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Procurou-se alcançar, especificamente, o seguinte:

- i) Analisar a habilidade do modelo ARPEGE em simular o ciclo anual e interanual da precipitação sobre o NEB e suas sub-regiões norte, leste e centro/sul;*
- ii) Avaliar as condições oceânicas e atmosféricas predominantes em anos de eventos fenômenos oceânicos sobre os oceanos Pacífico (El Niño e La Niña) e Atlântico (gradiente meridional positivo e negativo);*
- iii) Analisar a resposta da precipitação sobre as três sub-regiões aos eventos estabelecidos nos dois oceanos.*
- iv) Analisar cenários nos quais foi estabelecida a relação de cada evento no Pacífico e Atlântico com a qualidade da estação chuvosa para cada sub-região, verificando as*

condições favoráveis e desfavoráveis para a precipitação em comparação com as simulações do modelo (GOGA e AOGA).

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A organização da tese segue com uma fundamentação teórica (Capítulo 2) dos principais tópicos que serão de interesse na discussão dos resultados, tais como: Circulação Geral nos Trópicos; climatologia das precipitações sobre o NEB; variabilidades da TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico; influência do Pacífico Equatorial no Atlântico Tropical e a influência das ATSM dos oceanos tropicais nas precipitações sobre o NEB.

No capítulo 3, foram descritos a área de interesse, os dados utilizados e um breve detalhamento do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera, bem como das simulações utilizadas neste trabalho. Além disso, nesse capítulo, também consta a metodologia utilizada e a seleção dos eventos extremos para construção dos compostos.

As discussões foram apresentadas no Capítulo 4. Inicialmente, uma análise da variação anual e interanual com dados de precipitação observados e simulados pelo ARPEGE, tendo em vista que esse modelo ainda não foi utilizado na região em estudo. Em seguida, foi realizada uma revisão dos padrões atmosféricos através de várias variáveis para eventos climáticos extremos sobre o Atlântico e Pacífico. Posteriormente, foi examinada a influência desses eventos sobre a precipitação nas três sub-regiões sobre o NEB. E, por fim, foram estabelecidos cenários com relação a cada evento no Pacífico e Atlântico com a qualidade da estação chuvosa para cada sub-região. Nesses, examinaram-se as condições das ATSM sobre os oceanos, além de verificar a melhor simulação da precipitação (GOGA e AOGA) em todos os cenários em comparação à observada. Essas análises darão subsídios para interpretação das melhores condições (ou padrões) que são desfavoráveis ou favoráveis à precipitação em cada sub-região Leste, Norte e Centro/Sul do NEB.

Finalmente, no Capítulo 5, encontram-se as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise do comportamento das chuvas na Região Nordeste se reveste de enorme importância, devido à grande irregularidade apresentada em escala de tempo e espaço, não somente sob o enfoque climático, mas, também, pelas conseqüências de ordem econômica, social e cultural advindas. Diversos são os fatores que influenciam o comportamento da precipitação, um deles são as condições da TSM sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico e a interação desses com a atmosfera.

2.1 CIRCULAÇÃO GERAL NOS TRÓPICOS

O clima de uma região é determinado pela Circulação Geral da Atmosfera (CGA), que é gerada pelo desequilíbrio na radiação, na umidade, no momentum e na massa entre as baixas e as altas latitudes, além das características da superfície, da distribuição das superfícies continentais e oceânicas e das correntes oceânicas.

A região tropical apresenta variações interanuais marcantes no sistema oceano/atmosfera, representando um interesse especial na origem de anomalias climáticas. Sobre essa região de altas temperatura e umidade, duas circulações estão presentes, a célula meridional de Hadley e a célula zonal de Walker. Elas determinam grande parte do clima sobre as regiões tropicais.

A célula de Hadley resulta da diferença de aquecimento entre os trópicos e as latitudes médias, ocasionando a formação de uma circulação meridional. Essa circulação é definida com movimento ascendente de ar sobre as áreas equatoriais e proximidades, e movimento descendente sobre as latitudes subtropicais, cinturão de altas pressões subtropicais, de ambos os hemisférios, em torno de 30° (HASTENRATH, 1985; OORT e YIENGER, 1996; SOUZA e AMBRIZZI, 2002) – Figura 2.1. Essa célula pode ser explicada pelo princípio de que o ar quente sobe e o ar frio desce, e é

conhecida como célula termicamente direta, impulsionada pelo aquecimento solar diferencial. A circulação de Hadley mostra variações sazonais que são mais intensas no hemisfério de inverno e relativamente mais fracas no hemisfério de verão (NEWELL *et al.*, 1972). Associado ao gradiente meridional da TSM, há a formação de uma célula meridional atmosférica em que o ar ascende sobre a região da TSM mais quente, e desce sobre a região com TSM mais fria (WANG, 2002a; WANG, 2002b).

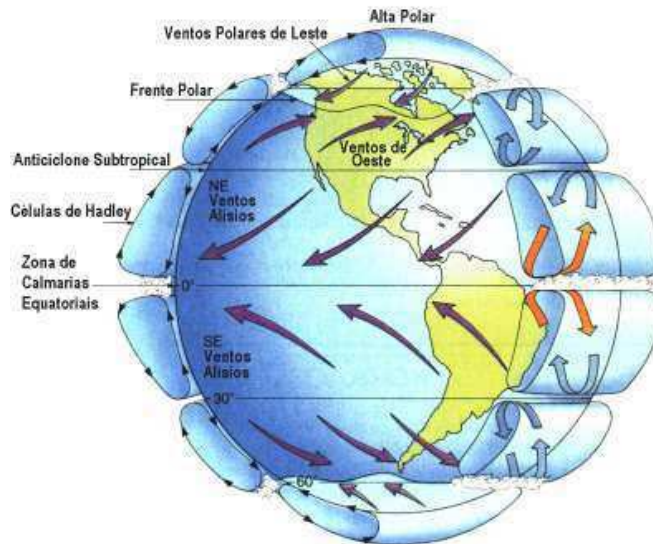


Figura 2.1 - Circulação global idealizada no modelo de circulação de três células.
Fonte: Grimm (2007)

Outra circulação impulsionada por contrastes térmicos é o sistema das células zonais de Walker que surgem ao longo do equador. Sobre o Pacífico, a célula de Walker é o resultado de uma gangorra de pressão à superfície entre os setores oeste e leste, ao longo da faixa equatorial da bacia do Oceano Pacífico Tropical (WALKER e BLISS, 1932; PHILANDER, 1990). Devido a essa gangorra, forma-se uma circulação zonal com movimentos ascendentes no setor oeste da bacia e movimentos descendentes no setor leste dessas (BJERKNES, 1969; PHILANDER, 1990) – Figura 2.2. O fenômeno oceano/atmosférico ENOS (VENEGAS *et al.*, 1997) está diretamente relacionado a essa circulação de Walker, que será descrito na seção 2.3.2.1.

O ENOS produz mudanças na circulação geral da atmosfera, que são relacionadas a variações de intensidade e/ou deslocamento da circulação atmosférica de grande escala no plano meridional e zonal, principalmente relacionada com as células de Walker e Hadley (KIDSON, 1975; KOUSKY *et al.*, 1984; WANG, 2002a).

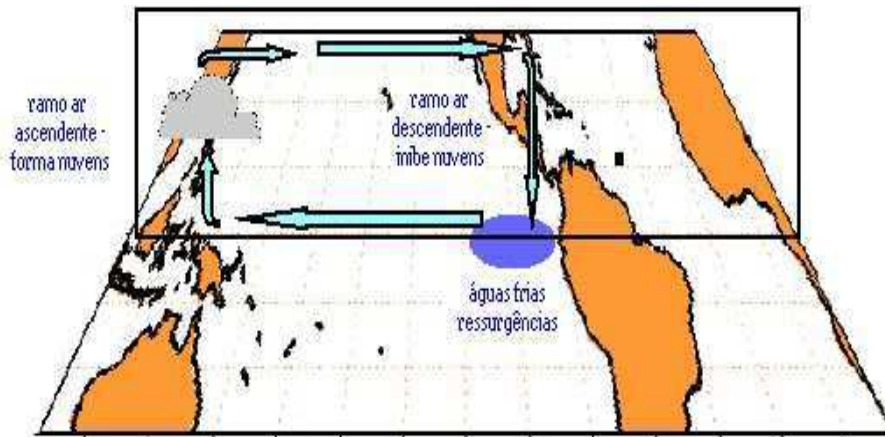


Figura 2.2 – Esquema da circulação de Walker sobre a Bacia do Pacífico Equatorial. Fonte: FUNCEME (2007)

Estudos revelaram que grande parte da variabilidade da precipitação sobre o Nordeste do Brasil é controlada pelas variações interanuais de intensidade e localização dos ramos ascendentes e descendentes das Células de Walker e Hadley, que tem uma ligação direta com a atividade convectiva (ALVES *et al.*, 2005).

2.2 CLIMATOLOGIA DAS PRECIPITAÇÕES SOBRE O NEB

O Nordeste do Brasil possui uma alta variabilidade espacial e temporal dos totais pluviométricos na região, onde se pode observar desde o clima semi-árido no interior da região, com precipitações anuais inferiores a 500 mm/ano, até o clima chuvoso encontrado na costa leste, com precipitações acumuladas excedendo 2000 mm (HASTENRATH e LAMB, 1977; KOUSKY, 1979).

Dentro dessa variabilidade, podem ser destacados três regimes básicos de precipitação quanto a sua distribuição espacial e temporal (STRANG, 1972; KOUSKY, 1979; MOURA e SHUKLA, 1981; KOUSKY e CHU, 1978; RAO *et al.*, 1993). Tais regimes são definidos como sub-regiões norte, leste e centro/sul.

A sub-região norte do NEB abrange os Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Centro-Oeste do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Inclui parte do semi-árido e apresenta o quadrimestre mais chuvoso entre os meses de fevereiro a maio, correspondendo a aproximadamente 80% da precipitação anual (ALVES e REPELLI,

1992), sendo que o mês mais chuvoso é março (STRANG, 1972). Os índices pluviométricos variam de 400 mm/ano no interior, a mais de 2.000 mm/ano sobre o litoral (MOLION e BERNARDO, 2002). Os principais mecanismos de precipitação são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), convecções locais, POAs e brisas marítimas e terrestres. Sendo que a ZCIT é o mecanismo mais importante na produção de precipitação no período chuvoso (MOLION e BERNARDO, 2002).

O leste do NEB, correspondendo à parte oriental dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, apresentam clima quente e úmido. O período mais chuvoso ocorre de abril a julho, correspondendo aproximadamente 60% da precipitação anual (RAO *et al.*, 1993), com pico de precipitação em maio (STRANG, 1972). Essa sub-região apresenta totais pluviométricos anuais variando de 200 (interior) a 1.200mm/ano (litoral) (SOUZA *et al.*, 1998). Os principais mecanismos produtores de precipitação são os sistemas frontais e as perturbações no campo dos alísios, associadas à convergência do fluxo de umidade dos ventos alísios na costa (MOLION e BERNARDO, 2002).

No verão, de novembro a fevereiro, a precipitação no leste também é bastante influenciada pelos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que são definidos como sistemas fechados de baixa pressão, de escala sinótica, que se formam na alta troposfera (ARAGÃO, 1976; KOUSKY e GAN, 1981; ALVES *et al.*, 1996; SILVA, 2002). Esse sistema apresenta vortacidade ciclônica intensa e quando o centro desse sistema encontra-se sobre o NEB, há inibição de precipitação. A precipitação associada ao VCAN encontra-se na borda oeste da vortacidade ciclônica (RAO *et al.*, 1993). Dessa forma, a atuação dos VCAS ocorre de forma muito irregular já que esses, na dependência de seu posicionamento, podem produzir tanto chuvas intensas como estiagens em qualquer área do NEB ou até mesmo em toda a região (ARAGÃO, 2004).

A concentração de chuvas ocorre nos meses de novembro a fevereiro, com pico de precipitação em dezembro para a sub-região centro/sul, que cobre praticamente toda a Bahia, norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo e as partes sul do Maranhão e Piauí, além do extremo sudoeste de Pernambuco (MOLION e BERNARDO, 2002). O regime pluviométrico varia de 600 mm/ano (interior) a mais de 3.000 mm/ano (litoral). O máximo no sul da região está associado à penetração de frentes frias vindas do sul

que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro (SATYAMURTI *et al.*, 1998) e a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) (MOLION e BERNARDO, 2002).

Essa enorme variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre o NEB está relacionada a processos de interação entre a superfície terrestre – suas condições de cobertura, relevo, localização relativa – a atmosfera e o oceano, envolvendo cada um sua dinâmica em diferentes escalas espaciais e temporais. A compreensão dos mecanismos responsáveis pela precipitação (e sua previsibilidade) pode auxiliar as medidas de mitigação dos efeitos de eventos extremos (secas e enchentes).

A seguir, descreve-se a variabilidade dos oceanos tropicais, especificamente o Pacífico e o Atlântico, bem como a interação desses com a atmosfera e seus impactos sobre a região NEB.

2.3 VARIABILIDADE DA TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO

Os oceanos constituem 71% da superfície terrestre. Devido a sua alta densidade e ao elevado calor específico da água, eles apresentam uma grande capacidade de armazenar e transportar grandes quantidades de calor. Por sua vez, a atmosfera é aquecida por baixo. Assim, configurações da TSM nos oceanos globais tornam-se as condições de contorno inferior mais importante para a atmosfera, sendo a chave para o entendimento da variabilidade e mudanças do sistema climático global.

2.3.1 OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL

Nos últimos anos, a comunidade científica voltou sua atenção ao Oceano Atlântico, que apresenta uma complexidade muito grande e que, durante muito tempo, foi considerado como secundário em relação ao Pacífico, já que este apresenta teleconexões bem definidas, que afetam todo o globo.

As variações em escalas interanuais e decadais, da TSM do Atlântico Tropical (AT) são consideradas como um dos fatores mais importantes no controle do clima das regiões que o limitam.

Embora as ATSM no AT sejam menores do que as do Pacífico Tropical, especialmente em anos de El Niño ou La Niña, vários estudos têm mostrado que as condições oceânicas e atmosféricas sobre a bacia do AT influenciam fortemente a variabilidade interanual do clima sobre as Américas (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; HASTENRATH, 1984; CHU, 1984; HASTENRATH, 1990; NOBRE e SHUKLA, 1996, SERVAIN *et al.*, 2000).

Dois modos principais da variabilidade oceânica de igual importância ($\pm 20\%$ para o modo meridional e $\pm 20\%$ para o modo equatorial) predominam no Atlântico Tropical (SERVAIN, 1991).

O primeiro modo, equatorial zonal, caracteriza-se por anomalias de mesmo sinal por toda a bacia, e apresenta um aquecimento ou resfriamento das águas superficiais no Atlântico Equatorial. Possui flutuações sazonais e interanuais, que oscilam entre 3 a 8 anos e é mais pronunciado no período de junho a agosto (ZEBIAK, 1993; CARTON e HUANG, 1994; ENFIELD e MAYER, 1997) com máxima ocorrência em Julho (ANDREOLI, 2002). É similar ao EN (ZEBIAK, 1993; RUIZ-BARRADAS *et al.*, 2000), referido por alguns como El Niño do Atlântico (Wang, 2002a). Esses eventos equatoriais quentes são mantidos por um processo de realimentação⁵, caracterizado pela propagação de oeste das anomalias acopladas oceano/atmosfera (HIRST, 1988; XIE *et al.*, 1999). Durante a fase quente, os ventos alísios do lado oeste na região equatorial se enfraquecem contribuindo para uma elevação anômala da TSM, principalmente na parte leste da Bacia. O oposto ocorre na fase fria.

O início da fase quente ou fria do modo equatorial pode ocorrer rapidamente tendo escalas de tempo de semanas para meses, devido à influência e propagação do vento forçado por ondas equatoriais de Rossby (ZEBIAK, 1993; SERVAIN *et al.*, 1998). Áreas costeiras adjacentes sentem o impacto da variação de temperatura do

⁵ ou *feedback*

oceano como mudanças na distribuição regional e na intensidade de precipitação (SERVAIN *et al.*, 1998). Nos eventos quentes sobre o AT, observaram-se impactos climáticos nas imediações do Golfo da Guiné, na região do NEB e na África, em especial no Sahel (CRAWFORD *et al.*, 1990; WAGNER e da SILVA, 1994).

O segundo modo, conhecido historicamente como dipolo (MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991; SERVAIN *et al.*, 1999), neste trabalho chamado de gradiente inter-hemisférico ou meridional da TSM (GRADM), envolve variações da TSM centradas na região dos alísios de nordeste e sudeste, em escalas de tempo sazonal, interanual e decadal (MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991). É mais freqüente durante o período de fevereiro a maio, com máxima ocorrência em março (ANDREOLI, 2002). Caracteriza-se por anomalias da TSM de sinais opostos nas bacias norte e sul do AT, gerando um gradiente térmico norte-sul e inter-hemisférico (WEARE, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991; SERVAIN *et al.*, 1999; HUANG e SHUKLA, 1997; TOURRE *et al.*, 1999). Embora as anomalias da TSM referentes a esse modo usualmente apresentem sinais opostos em cada hemisfério, o desenvolvimento dessas anomalias nem sempre é simultâneo (ENFIELD e MAYER, 1997; HUANG e SHUKLA, 1997; SERVAIN, 1991). Diversos estudos revelaram que as áreas ao norte e ao sul do Atlântico não estão relacionadas entre si, sendo consideradas independentes, governadas por processos dinâmicos locais em cada hemisfério (DOMMENGET e LATIF, 2000). A existência do GRADM, portanto, é questionável.

Estudos observacionais e de modelagem recentes questionam a variabilidade do Atlântico Tropical, especialmente a existência de um modo de “dipolo” (HOUGHTON e TOURRE, 1992; DOMMENGET e LATIF, 2000; MO e HÄKKINEN, 2001). Esses estudos realçaram o fato da correlação observada entre anomalias da TSM ao norte e sul do equador não serem fortemente negativa, como seria característico de um dipolo, mas próximo de zero.

Contudo, o interesse maior reside não no dipolo em si, mas na resposta atmosférica a esse gradiente, ou seja, no gradiente gerado no AT que, conseqüentemente, desloca a ZCIT mais para o norte ou o sul, provocando impactos na precipitação da região NEB.

Para identificar o gradiente meridional (GRADM), pode-se calcular um índice como sugerido por Servain (1991), que consiste na diferença entre as médias da TSM da área compreendida entre 20°W-60°W, 5°N-28°N, menos a média da área 5°E-35°W, 5°N-20°S. Os resultados encontrados por Servain (1991) mostraram que o sinal da TSM inter-hemisférico é marcante no AT onde tem uma estreita relação, ou condiciona o posicionamento da ZCIT. Porém, as ATSM são causadas pela variabilidade das altas subtropicais tanto em posição como em intensidade.

Na Figura 2.3, apresenta-se o índice GRADM para o período compreendido entre 1964 a 2007. Pode-se observar que a característica principal desse modo é uma variação lenta em escala decadal. O gradiente meridional da TSM é principalmente positivo para os períodos antes de 1970, 1976-1983, e depois de 1990, mas prevaleceram negativos durante 1971-1975 e 1984-1989 (WANG, 2002b; ANDREOLI, 2002). Após a década de 80 observa-se que o GRADM apresenta um sinal interanual (alta frequência) com uma tendência positiva do índice.

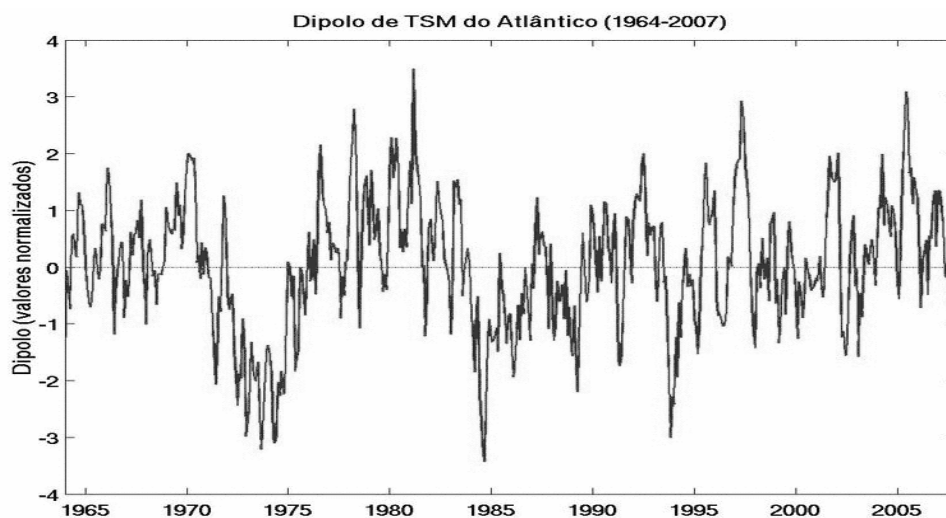


Figura 2.3 – Índice mensal do GRADM da TSM do Atlântico para o período de 1964-2007 calculados a partir de dados da TSM provenientes de navios de comércio e oceanográficos e bóias para as bacias norte e sul do Atlântico⁶.

Fonte: FUNCEME (2007)

Vários estudos observacionais e de modelagem têm sido realizados com o intuito de analisar os mecanismos que forçam o GRADM. Essa variabilidade parece ser mantida pelas anomalias de fluxos terra-ar através de uma realimentação vento-

⁶ Informação adicional sobre os dados e tratamento dos mesmos acesse o sitio http://www.funceme.br/DEMETS/pirata/dipolo/dipole_servain.gif

evaporação-TSM (XIE e PHILANDER, 1994). No mesmo sentido, Carton *et al.* (1996) mostraram que o principal mecanismo responsável pelas modificações na TSM do AT é a mudança na evaporação. Eles verificaram que padrões de variabilidade decadal de TSM são principalmente controlados pelas mudanças na velocidade do vento à superfície, confirmando os estudos anteriores.

Correlações entre os dois modos de variabilidade sobre o AT foram realizadas através de observações e simulações por Servain *et al.* (1999; 2000). Eles encontraram correlações durante o período de 1979 a 1993, entre os modos de dipolo e equatorial nas escalas de tempo interanual (1-2 anos) e decadal. Sugeriram que os dois modos são forçados pelo deslocamento da ZCIT. Não obstante, os autores argumentam que, para flutuações em torno de 2 a 4 anos, não existe correlação significativa entre esses modos e variações da ZCIT. Recomendaram que, nessa escala de variabilidade, o modo equatorial possa ser gerado por outros mecanismos, tais como os propostos por Zebiak (1993). Entretanto, estudos realizados por Murtugudde *et al.* (2001) mostraram que o modo dominante da variabilidade da TSM no AT mudou de configuração durante a década de 70, com a existência de um modo GRADM antes de 1976 e o modo equatorial após esta data.

Outra importante variação climática interanual sobre o Atlântico, só que em latitudes médias, é a Oscilação do Atlântico Norte⁷ (NAO) (HURRELL, 1995; 1996). A NAO é uma flutuação de grande escala de massas atmosféricas, com centros de ação próximos à baixa pressão da Islândia e alta subtropical dos Açores. Ela tem sido relacionada com a variabilidade do Atlântico Norte bem como do Atlântico Tropical (XIE e TANIMOTO, 1998; SUTTON *et al.*, 2000 e GIANNINI *et al.*, 2001).

Estudos, através de análises observacionais, como o de Sutton *et al.* (2000) e Liu *et al.* (2004), mostraram que anomalias da TSM do Atlântico tropical podem ser forçadas, externamente, pelo fenômeno ENOS (descrito na seção 2.3.2.1) e pela NAO.

Xie e Tanimoto (1998) sugeriram que a variabilidade extratropical força a variabilidade nos trópicos, através da variabilidade da alta dos Açores. Esse é um tópico

⁷ North Atlantic Oscillation

bastante interessante e ainda não compreendido totalmente. Entretanto, Déqué e Servain (1989) enfatizaram a importância da circulação atmosférica sobre as latitudes médias do Atlântico Norte nas TSM do Atlântico Tropical. Eles sugeriram uma relação direta entre estas duas regiões. Enquanto a circulação de leste é intensificada (enfraquecida) no Atlântico Norte Extratropical, anomalias da TSM negativas (positivas) tendem a se desenvolver nos trópicos.

A ligação da variabilidade do Atlântico Tropical e a NAO em alguns estudos, está relacionada à mudança na circulação de Hadley (RODWELL *et al.*, 1999; ROBERTSON *et al.*, 2000; WANG, 2002b). Uma anomalia da TSM positiva ao norte do equador (que também pode ser induzida durante a fase quente do ENOS) resulta em anomalias de ventos cruzando o equador. Durante essa fase, a ZCIT é deslocada para norte, produzindo condições de secas sobre o NEB e condições chuvosas sobre o Sub-Sahara na África. Mudanças na intensidade e posição da convecção tropical também podem afetar a posição e a intensidade da NAO (HURRELL *et al.*, 2006).

As pesquisas acima citadas mostraram a variabilidade do AT, evidenciando que o modo equatorial e meridional estão relacionados entre si em escalas de tempo interanual e decadal e também se relacionam com o clima global, em específico, provocam impactos sobre o clima do NEB. Com isso, tornam-se cada vez mais importante estudar a variabilidade do Oceano Atlântico para distinguir os efeitos locais e remotos no NEB e, conseqüentemente, seus impactos nos continentes adjacentes.

2.3.2 OCEANO PACÍFICO

2.3.2.1 El Niño – Oscilação Sul

No Pacífico, o modo de variabilidade dominante é o fenômeno ENOS, El Niño – Oscilação Sul, com uma componente oceânica e outra atmosférica. Na sua componente oceânica, caracteriza-se pelo aquecimento (resfriamento) das anomalias da TSM no Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste - El Niño (La Niña). A componente atmosférica do ENOS está acoplada dinamicamente ao Índice de Oscilação Sul (IOS), que é definido pela diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central

(Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin). O IOS apresenta valores negativos em anos de El Niño e positivos em anos de La Niña. Portanto, valores positivos significam resfriamento do Pacífico e os negativos, aquecimento.

Atualmente, é sabido que o ENOS deflagra mudanças na Circulação Geral da Atmosfera, resultando impactos climáticos sobre todo o globo. Essas mudanças, durante a fase quente do ENOS (Figura 2.4 (a)), apresentam as seguintes características: as ATSM são positivas e os ventos Alísios estão enfraquecidos no Pacífico equatorial central e leste, a termoclina (fronteira entre a água quente superficial e a água fria do fundo) fica mais rasa no lado oeste e mais profunda no lado leste do Pacífico Tropical. A convecção enfraquece no lado oeste e aumenta no Pacífico equatorial central e leste, deslocando a zona convectiva na Indonésia para o Leste, que induz uma modificação global nas células de Walker-Hadley, em comparação com os anos normais (Figura 2.4 (b)). Em episódios de La Niña (LN), as características anômalas da ATSM, ventos, convecção e profundidade da termoclina são inversas (Figura 2.4 (c)).

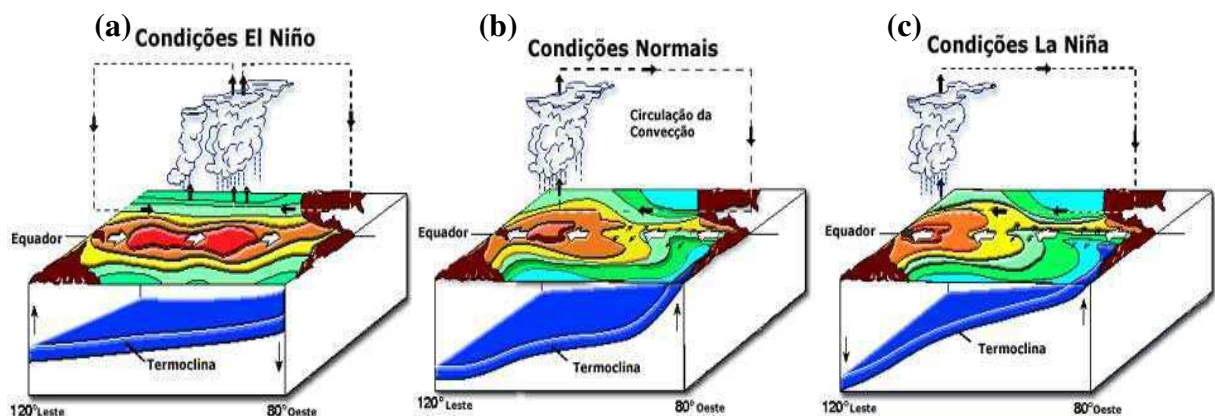


Figura 2.4 – Circulação observada sobre o Oceano Pacífico Equatorial em anos de (a) El Niño; (b) Normais e (c) La Niña. Podem se observar as regiões com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Inclinação da termoclina é notada pela seção na cor azul.

Fonte: CPTEC (2008)

Em períodos de ocorrência do fenômeno ENOS, vários mecanismos da Circulação Geral sobre o Atlântico Sul são afetados, como por exemplo, variações na posição do anticiclone subtropical na direção norte-sul e leste-oeste e modificação nas células de Hadley e Walker. (VENEGAS *et al.*, 1997)

O El Niño tem sido quantificado em termos de índices simples, correspondendo ao tempo quando as anomalias de temperatura excedem certo valor. Trenberth e Stepaniak (2001) sugeriram que, para uma ótima caracterização da evolução dos eventos El Niño ou La Niña, sejam utilizados pelo menos dois índices. Na região do Niño 3.4 (Figura 2.5) valores excedendo 0.4°C e persistindo seis meses ou mais, já é uma condição indicativa de El Niño. Segundo Trenberth (1997), são bastante suficientes para produzirem impactos perceptíveis em países próximos do Pacífico.

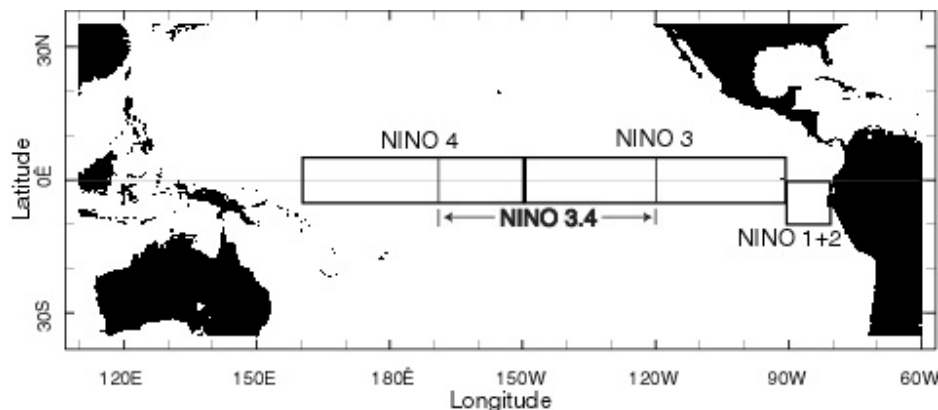


Figura 2.5 - Regiões dos índices Niño que servem para monitorar o início e desenvolvimento do evento sobre o Pacífico.

Fonte: IRI (2007)

Eventos EN e LN desenvolvem-se tipicamente entre abril e junho, embora existam variações consideráveis entre eles. Os maiores valores (positivos ou negativos) do índice Niño 3.4 tendem a ocorrer entre dezembro e fevereiro (fase madura).

A evolução temporal do índice oceânico Niño 3.4, é mostrada na Figura 2.6. Observa-se, então, que o período de 1948-1976 foi caracterizado por frequência maior de eventos frios. De 1976-1997, predominaram eventos El Niño intensos, como os de 1982/83 e 1997/98. O fenômeno ENOS é uma oscilação irregular, tanto na frequência como na amplitude. O período de recorrência varia entre 3 e 7 anos, com um máximo de energia espectral em torno de 4 anos (WANG e PICAUT, 2004; CASSOU, 2001). Além disso, suas características são moduladas em escala decadal e multidecadal (ENFIELD e CID-SERRANO, 1991; MOKHOV *et al.*, 2000).

Uma característica marcou os eventos quentes e periódicos que aparecem no fim do período de 1948-1997, em particular após o ano de 1976/77, e esses parecem que estão intrínsecos, em modificações na termoclina (GUILDERTSON e SCHRAG, 1998),

às mudanças abruptas que aconteceram no clima sobre o Pacífico Tropical depois dessa época (TRENBERTH, 1990; TRENBERTH e HOAR, 1996; ZANG *et al.*, 1997) e no contexto mais global no aquecimento do planeta (TERRAY e CASSOU, 2000).

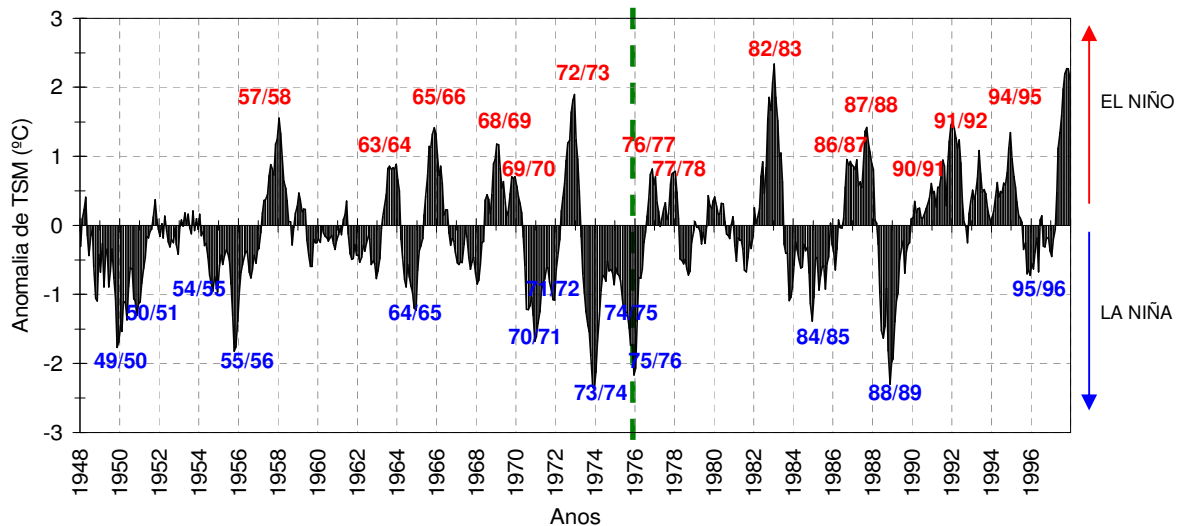


Figura 2.6 - Anomalias da TSM mensais sobre a região do Niño 3.4 (170°W/120°W – 5°S/5°N) a partir de dados GISST para o período de 1948-1997. A linha vertical tracejada divide a série em dois períodos distintos, antes e depois de 1976. Os anos em vermelho correspondem aos 14 anos de El Niño e os em azul aos 13 anos de La Niña.

As anomalias positivas da TSM durante eventos El Niño entre 1950 e 1976, desenvolveram-se, primeiro, ao longo da costa da América do Sul e, depois, se propagaram para oeste (RASMUSSON e CARPENTER, 1982). Os El Niño entre 1976 e 1998 iniciaram-se no Pacífico Equatorial Central Oeste, o aquecimento no litoral aconteceu na primavera boreal subsequente ao ano de El Niño, em vez da primavera boreal do ano do El Niño (WANG, 1995; WANG e AN, 2002). Porque o início (gênese) dos eventos El Niño foram diferentes nas últimas cinco décadas ainda não é completamente entendido. Alguns autores (SILVA, 2006; GARCIA e KAYANO, 2008) sugeriram que pode ser devido a variabilidades de baixa frequência, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

O Índice Multivariado do ENOS (IME), descrito e elaborado por Wolter e Timlin (1993), é um índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o fenômeno, oscilam entre valores positivos para a fase quente, o El Niño, e negativos para a fase fria, a La Niña. Em sua composição, o índice, é composto pelas variáveis pressão ao nível do mar, componentes zonal e meridional do vento em superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar em superfície e

indicador de nebulosidade. Analisando este índice (Figura 2.7) também se observa a predominância de eventos LN no período de 1950 a 1976, em contraste com a alta frequência de eventos severos de EN entre 1977 e 1998. Sobre esse índice, Hanley *et al.* (2003) mostraram que ele teve um desempenho razoável nos 43 anos estudados, mas apresentou tendência de superestimar os eventos ENOS.

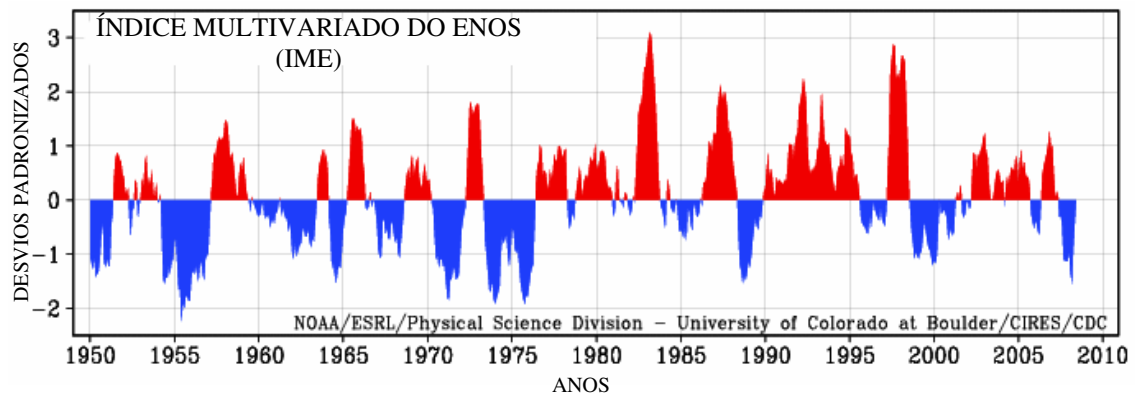


Figura 2.7 - Série temporal do Índice Multivariado do ENOS
Fonte: NOAA (2008)

2.3.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico

Desde o final da década de 90, vários estudos mostraram a existência de um padrão dominante de variabilidade climática de baixa frequência sobre o Oceano Pacífico. A esse regime oscilatório de grande escala, Mantua *et al.* (1997) deram o nome de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). As configurações globais da TSM, da Pressão ao nível do mar (PNM) e dos ventos associados a esse modo e ao ENOS são similares (MANTUA *et al.*, 1997; ZHANG *et al.*, 1997; GARREAUD e BATTISTI, 1999; MESTAS-NUÑEZ e ENFIELD, 2001), porém a configuração da TSM para o ODP é menos confinada na área equatorial do Pacífico Leste e apresenta estruturas marcantes no Pacífico Norte (ZHANG *et al.*, 1997) e variações mais longas (MANTUA *et al.*, 1997) persistindo por 50 a 60 anos.

Da mesma forma que o ENOS, existem duas fases da ODP. A fase fria (negativa) é caracterizada por anomalias da TSM negativas no Pacífico Tropical e positivas no Pacífico extratropical norte e sul (Figura 2.8 (b)). A fase quente apresenta configuração contrária (Figura 2.8 (a)). Segundo Mantua *et al.* (1997), a última fase fria ocorreu no período compreendido entre 1948-1976 e a fase quente se estendeu de 1976-1998.

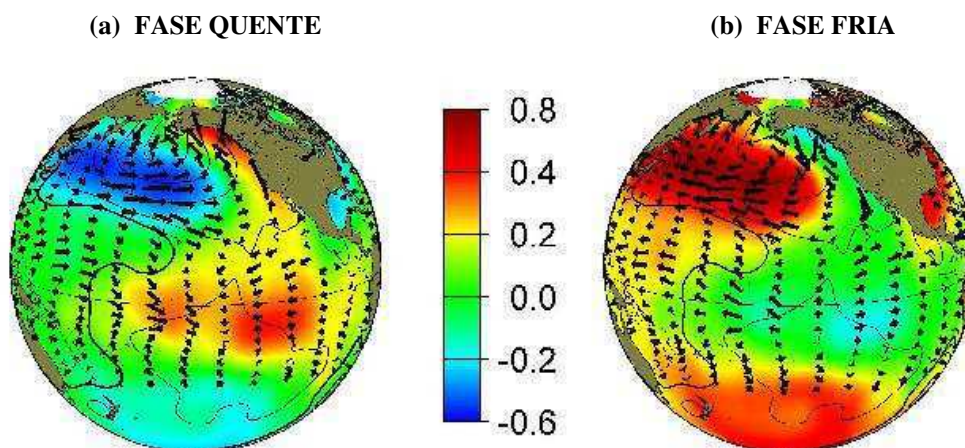


Figura 2.8 – Padrão das fases da Oscilação Decadal do Pacífico (a) fase quente e (b) fase fria.
Fonte: JISAO (2007)

A intensidade e fase dessa oscilação é medida utilizando um índice definido por Mantua *et al.* (1997), Índice de Oscilação Decadal do Pacífico (IODP) (Figura 2.9). Esse é baseado na componente principal do primeiro modo da análise de funções ortogonais empíricas das ATSM ao norte de 20°N no Pacífico. Quando esse índice é positivo, ou regime quente, prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico tropical leste e águas mais frias que o normal no Pacífico extratropical; para IODP negativo, o padrão da TSM apresenta configuração inversa.

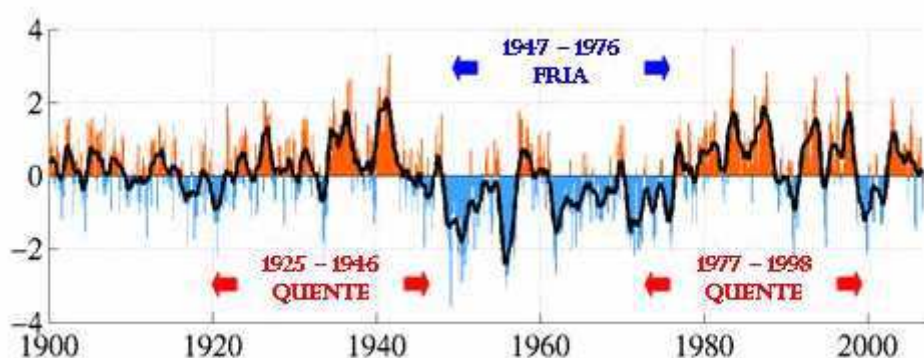


Figura 2.9 – Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico (IODP)
Fonte: JISAO (2007)

Embora existam evidências e vários mecanismos tenham sido propostos para explicar a ODP, ainda não existe teoria definitiva que explique sua geração e seu desenvolvimento, tampouco seus impactos sobre o clima e sua interação com os trópicos e latitudes altas.

Investigações a respeito das relações existentes entre a precipitação no norte do NEB com as ATSM e PNM em escala decadal foram realizadas por Kayano e Andreoli (2004). As análises das correlações lineares entre o índice de precipitação e as anomalias de TSM mostraram que a variabilidade de precipitação no NEB para a escala decadal relaciona-se ao modo associado à ODP e ao modo GRADM.

Salvador (2006) relacionou a ODP com a precipitação na Costa Leste do NEB. Os resultados indicaram um aumento nos totais médios anuais de precipitação na fase quente da ODP (1977-1998) com relação à fase fria (1947-1976).

Atualmente, vem se discutindo muito essa variabilidade. Estudos, por exemplo, de Molion (2005), mostraram que, quando a ODP esteve em sua fase quente, a temperatura média global aumentou e houve uma maior frequência de eventos El Niño e vice-versa. Isso é só um indicativo que leva a comunidade científica a investigar como se origina, como se desenvolve e os impactos causados por essa oscilação.

2.4 INFLUÊNCIA DO PACÍFICO EQUATORIAL NO ATLÂNTICO TROPICAL

Na região tropical, os Oceanos Pacífico e Atlântico possuem algumas características climatológicas em comum, a termoclina com pouca profundidade do lado leste em relação ao lado oeste, a língua de águas frias no lado leste e a presença de ventos Alísios de nordeste e sudeste convergindo para formar a ZCIT. Porém, enquanto o Pacífico é dominado pelo modo ENOS, o Atlântico é controlado por mudanças no gradiente de TSM inter-hemisférico, associado ao “feedback” vento-evaporação-TSM (XIE e PHILANDER, 1994). Esses oceanos, de alguma maneira, interagem entre si, através de teleconexões e diversos autores ressaltaram essas conexões (MOURA e SHUKLA, 1981; ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; ACEITUNO, 1988; NOBRE e SHUKLA, 1996; MO e HÄKKINEN, 2001; PAEGLE e MO, 2002; MARSHALL *et al.*, 2001).

Segundo Liu *et al.* (2004), aproximadamente metade da variabilidade da TSM no AT em escala interanual é gerada por forçantes remotas, com o ENOS e a NAO (SARAVANAN e CHANG, 2000; SUTTON *et al.*, 2000; SUTTON *et al.*, 2001;

HUANG *et al.*, 2002; CHANG *et al.*, 2003). Delecluse *et al.* (1994) mostraram que o evento quente sobre o AT em 1984 foi desencadeado pelo evento El Niño intenso no ano anterior. E os mesmos resultados foram encontrados por Elliott *et al.* (2001) e Curtis *et al.* (2001) para o evento quente sobre o AT em 1988.

Estudos realizados por Handoh *et al.* (2006 a,b) sobre a ligação entre os dois oceanos mostraram que os eventos ATN associados ao ENOS apresentaram uma resposta passiva, via trem de ondas Pacífico América do Norte (PNA)⁸, concordante também com os estudos de Lau e Nash (1996), que induz as anomalias da TSM sobre o ATN através de mudanças dos ventos à superfície e fluxo de calor latente. Isso ocorre 4 meses após o ENOS (ENFIELD e MAYER, 1997; PENLAND e MATROSOVA, 1998; GIANNINI *et al.*, 2001; MÉLICE e SERVAIN, 2003; REIS, 2006). Já os eventos ATN independentes do ENOS pareceram, também, ter sido induzidos por um trem de ondas extratropical, a NAO. Enquanto o ATS ocorrendo em conjunto com o ENOS mostrou uma preferência para o verão austral e ambos pareceram forçados por um trem de ondas atmosféricas provenientes do Pacífico central tropical via América do Sul, o padrão Pacífico América do Sul (PSA)⁹ (MO e HÄKKINEN, 2001). Além disso, o ENOS induz modificações na circulação de Walker através de uma onda atmosférica de Kelvin equatorial (SUTTON *et al.*, 2000).

2.5 INFLUÊNCIA DAS ATSM DOS OCEANOS TROPICAIS NAS PRECIPITAÇÕES SOBRE O NEB

Cada vez mais estudiosos tentam aprimorar a compreensão dos mecanismos que causam anomalias no clima da região NEB. A influência dos oceanos tropicais e sua interação com a atmosfera é, sem dúvida, o ponto inicial para entender os mecanismos relacionados às mudanças que ocorrem na precipitação sobre a região em estudo.

Em princípio, os estudos eram limitados a cada oceano e seus impactos sobre a precipitação no NEB. Por exemplo, a distribuição de chuvas sobre o NEB em resposta ao fenômeno ENOS é intra-regional e bastante variada, restringindo-se apenas a alguns

⁸ *Pacific North America*

⁹ *Pacific South America*

períodos (ANDREOLI *et al.*, 2004). A conexão do ENOS com as precipitações no NEB ocorre através da circulação atmosférica tal que a seca relacionada ao El Niño é atribuída a um deslocamento para leste da circulação de Walker com movimentos ascendentes anômalos (aumento da convecção) sobre o Pacífico Equatorial central e leste e movimentos descendentes (inibição da convecção) sobre o AT e o norte da América do Sul (HASTENRATH, 1976; KILADIS e DIAZ, 1989; KAYANO *et al.*, 1988; RAO e HADA, 1990). Padrões anômalos contrários da circulação atmosférica e precipitação sobre o NEB são observados em episódios de La Niña (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989; KAYANO e ANDREOLI, 2004).

Os EN associados às anomalias de precipitação negativas apresentam maior impacto em março/abril/maio (MAM - estação chuvosa no norte e pré-estação no leste do NEB), principalmente se a fase madura do fenômeno coincidir com as estações de verão (dezembro/janeiro/fevereiro - DJF) e/ou outono no Hemisfério Sul (ALVES e REPELLI, 1992). Por outro lado, as LN associadas à precipitação acima das normais possuem maior impacto em junho/julho/agosto (JJA), estação chuvosa no leste do NEB (REIS, 2006).

A ligação entre as anomalias da TSM sobre o AT e a precipitação sobre o NEB foi analisada por Markham e McLain (1977) e Hastenrath e Heller (1977) e, posteriormente, Moura e Shukla (1981) e Servain e Seva (1987). Os estudos concluíram que anomalias positivas da TSM sobre o Atlântico tropical sul e negativas no norte geram maior precipitação sobre o NEB e a situação inversa gera anos de precipitação abaixo da média climatológica. Os resultados mostraram, também, que durante o evento com seca no NEB, a alta subtropical do Atlântico Norte é enfraquecida pelas baixas pressões geradas nas áreas de anomalias positivas da TSM. A alta subtropical do Atlântico Sul é intensificada e se expande para noroeste, deslocando e resultando em alísios de sudeste mais fortes, e de nordeste mais fracos. A ZCIT se posiciona ao norte e reduz, dessa maneira, a precipitação sobre o norte da região.

Entretanto, o estado em que se encontra o Atlântico Tropical durante o período de desenvolvimento do ENOS também pode condicionar a evolução da conexão com a precipitação sobre o NEB (GIANNINI *et al.*, 2004). Afinal, os oceanos agem conjuntamente. Os resultados de Giannini *et al.* (2004), bem como os de Pezzi e

Cavalcanti (2001) mostraram que, quando o ENOS em sua fase inicial ocorre concomitantemente com um GRADM da TSM (positivo/negativo) consistente com o evento El Niño/La Niña, ou seja, o Atlântico Norte apresenta o mesmo sinal positivo/negativo que o Pacífico, as anomalias de precipitação no NEB apresentam condições de precipitações abaixo/acima do normal, além de serem maiores e mais significativas. Em anos contrastantes, ou seja, El Niño/La Niña com gradiente de ATSM para sul/norte, essa relação é mais fraca, pois o Atlântico Tropical atua no sentido contrário ao ENOS, limitando ou até invertendo o sinal das anomalias de precipitação, apresentando chuvas acima/abaixo da climatologia (PEZZI e CAVALCANTI, 2001; ANDREOLI e KAYANO, 2007). Esses resultados mostram que a condição do Atlântico, sobretudo, a bacia sul desse oceano, se reveste de grande importância para um melhor entendimento da variabilidade da precipitação sobre a região NEB.

Na ausência do fenômeno El Niño, as correlações entre a ATSM e precipitação são significativamente mais fracas no Atlântico Tropical Norte e mais fortes no Atlântico Tropical Sul. Isto sugere que a variabilidade da TSM do Oceano Atlântico Tropical é mais provável de se caracterizar por apresentar um gradiente inter-hemisférico da ATSM (SARAVANAN e CHANG, 2000). Lucena (2001) mostrou que um aumento da TSM sobre o Atlântico Sul causa um impacto positivo na precipitação sobre o Estado da Paraíba, geralmente no leste do Estado, regiões costeiras banhadas pelo oceano, resultado confirmado por Giannini *et al.* (2004), que mostraram a importância do Atlântico Sul na variabilidade de precipitação sobre o NEB.

Sumarizando, o GRADM sobre o Atlântico Tropical parece ter maior influência nas precipitações sobre o NEB (CHANG *et al.*, 1997; SOUZA *et al.*, 1998), embora eventos extremos do fenômeno ENOS possam dominar em alguns casos (FOLLAND *et al.*, 2001; MÉLICE e SERVAIN, 2003). Ademais, independente do ENOS, o impacto que o AT causa na variabilidade sobre o NEB é mais relevante no ATS. O desenvolvimento e a persistência das ATSM no ATS durante a fase madura do ENOS são cruciais para o desenvolvimento das teleconexões associadas ao evento (ANDREOLI e KAYANO, 2007) e, conseqüentemente, para o impacto causado por essas conexões entre os oceanos na precipitação do NEB.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A região em estudo é o Nordeste do Brasil (NEB), que está situada na zona tropical, entre os meridianos de 35° e 47°W e os paralelos de 1° e 18°S, ocupa uma área de 1,5 milhões de km², sendo a região mais subdividida politicamente do País, com nove Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Baseado em três regimes básicos quanto à distribuição espacial da precipitação (Figura 3.1) proposto por Marques *et al.* (1983), o NEB foi subdividido em retângulos que tenta reproduzir essas sub-regiões (Figura 3.2). Isso foi realizado para se observar maiores detalhes da variabilidade climática e influência dos fenômenos em escalas locais e remotas, já que nessas sub-regiões o período chuvoso, foco do nosso estudo, ocorre em períodos distintos, sugerindo que mais de um mecanismo de circulação geral seja responsável por essas precipitações.

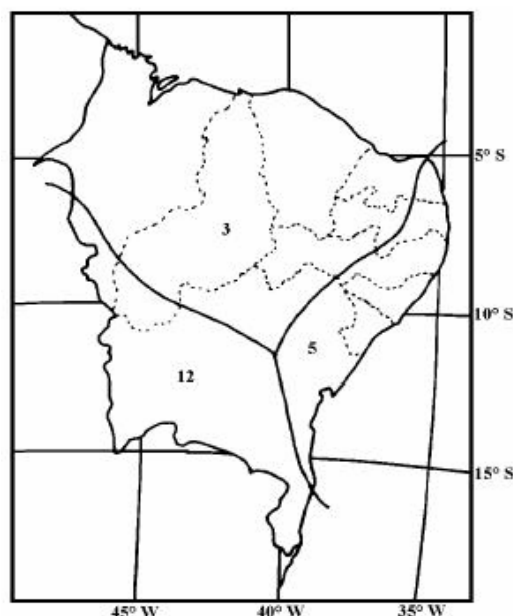


Figura 3.1 – Regime de precipitação sobre o Nordeste do Brasil com seus principais meses chuvosos: (12) Dezembro, (3) Março e (5) Maio.

Fonte: Adaptada de Marques *et al.* (1983).

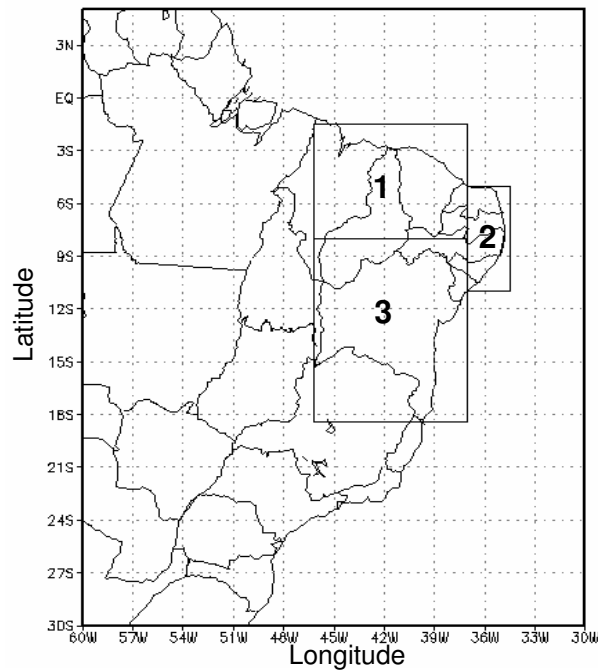


Figura 3.2 - Subdivisões da região NEB: sub-região 1 (norte do NEB); sub-região 2 (leste do NEB); e sub-região 3 (centro-sul do NEB).

As sub-regiões são definidas, praticamente, da seguinte maneira:

- Sub-região 1 (entre 1,5°S e 8°S e 37°W e 46,2°W) – abrange o norte do NEB, a principal estação chuvosa ocorre de fevereiro a maio – FMAM (MOLION e BERNARDO, 2002). Tem a ZCIT como o principal mecanismo produtor de chuvas, durante os meses de março e abril (UVO, 1989; NOBRE e SHUKLA, 1996; MOLION e BERNARDO, 2002), além da POAs e convecção local. A sub-região é caracterizada por um regime pluviométrico que varia de 400 mm/ano no interior, a mais de 2.000 mm/ano no litoral (NOBRE e MOLION, 1988);

- Sub-região 2 (entre 5°S e 11°S e 34,5°W e 37°W) – leste do NEB, o seu período mais chuvoso está compreendido entre os meses de abril a julho (AMJJ), e está relacionado à maior atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente, possuindo um total pluviométrico variando de 600 a 3.000 mm/ano (NOBRE e MOLION, 1988); e

- Sub-região 3 (entre 8°S e 18,4°S e 37°S e 46,2°W) - região centro/sul do NEB, tem entre novembro a fevereiro (NDJF) o período mais chuvoso (MOLION e BERNARDO, 2002). O principal mecanismo de precipitação é a estacionariedade dos sistemas frontais

alimentados pela umidade proveniente do ATS, que definem a ZCAS, sistemas pré-frontais, convecção local e brisas mar e terra (MOLION e BERNARDO, 2002). Possui um regime pluviométrico que varia de 600 mm/ano no interior, a mais de 3.000 mm/ano no litoral (NOBRE e MOLION, 1988).

3.2 DADOS

3.2.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO SOBRE O NEB

Vários dados de precipitação foram utilizados neste trabalho com a intenção, primeiramente, de comprovar ou validar como os dados de precipitação estão sendo simulados pelo modelo ARPEGE sobre o NEB como um todo e também sobre as três sub-regiões.

Foram utilizados dados mensais de precipitação provenientes do projeto denominado Reanálises¹ do NCEP²/NCAR³. Para maiores detalhes desses dados, ver Kalnay *et al.* (1996). Os dados estão definidos numa resolução de ponto de grade com 2.5°x 2.5°, compreendidos para o período 1948-1998, obtidos no endereço <<http://www.cdc.noaa.gov/>>.

Além desses dados de reanálises, dados de precipitação mensal combinando dados de satélites e dados de pluviômetros, obtidos através do GPCP⁴ 2ª Versão (ADLER *et al.*, 2003), foram também utilizados. Esses estão disponíveis no período de 1979 a maio de 2006, distribuídos numa grade de 2.5° latitude x 2.5° longitude distribuídos entre os paralelos 88.75°N - 88.75°S e os meridianos 1.25°E - 358.75°E, dados provenientes do sitio <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data/gpcp.html>>

Segundo o trabalho de Chen *et al.* (2002), os dados de precipitação mensal do GPCP foram amplamente aplicados em análise de clima (CURTIS e ADLER, 2000), verificações de modelos numéricos (STEPHENSON *et al.*, 1998; JANOWIAK *et al.*,

¹ *reanalysis*

² *National Centers for Environmental Predictions*

³ *National Centers for Atmospheric Research*

⁴ *Global Precipitation Climatology Project*

1998; DAI *et al.*, 2001), pesquisas hidrológicas (TRENBERTH e GUILLEMOTT, 1998) e outras investigações (YANG *et al.*, 1999). Porém, como eles utilizam estimativas derivadas de observações de satélite, as suas análises, não estão disponíveis para o período antes dos anos setenta.

Utilizaram-se, também, dados conhecidos como reconstrução da precipitação sobre os continentes (PRECL). Esses dados mensais de precipitação distribuídos numa grade de 2.5° de latitude e longitude para o período de 1948 a 2000 foram obtidos pela interpolação de dados observados de pluviômetros de 17.000 coletadas na Rede Global Histórica Climatológica – 2ª versão (GHCN2)⁵ e pelo Sistema de Monitoramento de Anomalias Climáticas (CAMS)⁶. Esses dados são disponibilizados pelo CPC⁷ da NOAA⁸, obtidos através do sítio <<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>>. Posteriormente, esses dados serão referenciados por CPC. Maiores detalhes sobre esses ver Chen *et al.* (2002).

3.2.2 DADOS DE VARIÁVEIS ATMOSFÉRICAS

Dados médios mensais da velocidade vertical (ω), das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, também foram utilizados para analisar a atmosfera sobre a região do NEB e sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico em anos de eventos extremos, tais como El Niño, La Niña e anos com Gradiente Meridional positivo e negativo configurados na Bacia do Atlântico.

Esses dados foram obtidos das reanálises do NCAR/NCEP (KALNAY *et al.*, 1996), para os níveis padrões de pressão atmosférica de 1000 a 100 hPa, definidos para uma resolução horizontal de 2.5°x 2.5° de latitude e longitude, para o período compreendido entre 1948-1998. Foram obtidos a partir do sítio <<http://www.cdc.noaa.gov/>>.

A qualidade desses dados foi testada em muitos estudos de variabilidade climática tanto nos trópicos como nos subtropicais do Hemisfério Sul em escalas intrasazonais (NOGUÉS-PEAGLE e MO, 1997; KILADIS e WEIKMAN, 1992;

⁵ *Global Historical Climatology Network*

⁶ *Climate Anomaly Monitoring System*

⁷ *Climate Prediction Center*

⁸ *National Oceanic and Atmospheric Administration*

LIEBMANN *et al.*, 1999; ROBERTSON e MECHOSO, 2000), interanual e interdecadal (GARRAUD e BATTISTI, 1999).

3.2.3 DADOS DO MODELO ARPEGE

Utilizaram-se resultados de simulações do modelo de circulação geral ARPEGE-Climat desenvolvido conjuntamente por Météo-France e o Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF)⁹ forçado com diferentes configurações da TSM para o período de 1948 – 1997 (50 anos). Dequé *et al.* (1994) descreveram as características gerais do modelo.

A versão do modelo espectral utiliza dois níveis de tempo em um esquema semi-lagrangiano com discretização de tempo semi-implícita das equações. A configuração padrão da versão climática emprega um truncamento horizontal triangular T63. Fluxos diabáticos e termos não lineares são calculados numa grade gaussiana com 2.8° na latitude e 2.8° na longitude (2.8° x 2.8°). A vertical é discretizada com 31 níveis, sendo 20 níveis na troposfera, utilizando uma coordenada vertical híbrida progressiva, estendendo-se do chão até 34 Km (7,35 hPa). O passo de tempo para essa resolução do modelo e a discretização no tempo é de 30 minutos.

O modelo ARPEGE inclui todas as parametrizações atmosféricas básicas, assim como conhecimentos dos processos da superfície terrestre através do modelo ISBA (DOUVILLE, 1998). A convecção profunda é representada por um esquema de fluxo de massa com detranhamento como proposto por Bougeault (1985). A formação de nuvem estratiforme e a convecção rasa são avaliadas através do método estatístico descrito em Ricard e Royer (1993): o esquema de difusão vertical da precipitação na nuvem segue as propriedades turbulentas para estimativa da distribuição estatística da água em cada ponto de grade. A convecção leva em conta a dependência vertical do processo de entranhamento do ar (TERRAY, 1998) e a condição de fechamento é baseada no critério de convergência de umidade. O pacote radiativo segue o esquema de Fouquart e Morcrette (MORCRETTE, 1990). A parametrização da radiação de ondas longas inclui o efeito dos gases CH₄, N₂O e CFC₁₁₋₁₂, além de CO₂, O₃ e H₂O. Parametrizações da

⁹ *European Center of Medium Range Weather Forecast*

camada limite e a turbulência estão baseadas nos coeficientes de trocas verticais calculados como função do número de Richardson local e de acordo com o método de Louis *et al.* (1982).

Um experimento para os primeiros 60 anos foi realizado com os ciclos climatológico anual prescrito da TSM global média mensal e da distribuição água e gelo no mar. As TSM e a distribuição de água e gelo climatológicas foram calculadas a partir da média dos dados reconstruídos do GISST¹⁰ (RAYNER *et al.*, 1997), são eles: GISST 2.3 para 1947-1982 e o GISST 3.0 para 1983-1998.

Maiores detalhes sobre o pacote físico do modelo pode ser encontrado em Cassou e Terray (2001). A climatologia das variáveis da simulação GOGA é minuciosamente descrita em Cassou e Terray (2001), quando os autores compararam as variáveis com as reanálises do NCEP.

Serão utilizados dois tipos de experimentos a partir do ARPEGE, descritos a seguir. O experimento GOGA (Oceano Global – Atmosfera Global) é uma média do conjunto de 8 simulações atmosféricas, forçado por TSM globais observadas e extensão de gelo-mar. Já o experimento AOGA (Oceano Atlântico – Atmosfera Global) é uma média do conjunto de 4 simulações atmosféricas que foi executado com as mesmas TSM, exceto que a forçante é especificada apenas sobre o Atlântico acima de 45°S, ou seja, só com o campo da TSM observadas sobre o Atlântico e a climatologia nos outros oceanos (ver Figura 3.3). O período de integração para os dois tipos de simulações são exatamente os mesmos Janeiro-1947 a Março de 1998. Os parâmetros contidos nesses dois experimentos são: tensão do vento (direção x e y), pressão ao nível médio do mar (PNM), precipitação, temperatura da superfície do mar, geopotencial em 500 e 200 hPa. Entretanto, neste trabalho, utilizamos apenas a precipitação e a PNM.

¹⁰ *Global Sea Ice and Sea Surface Temperature*

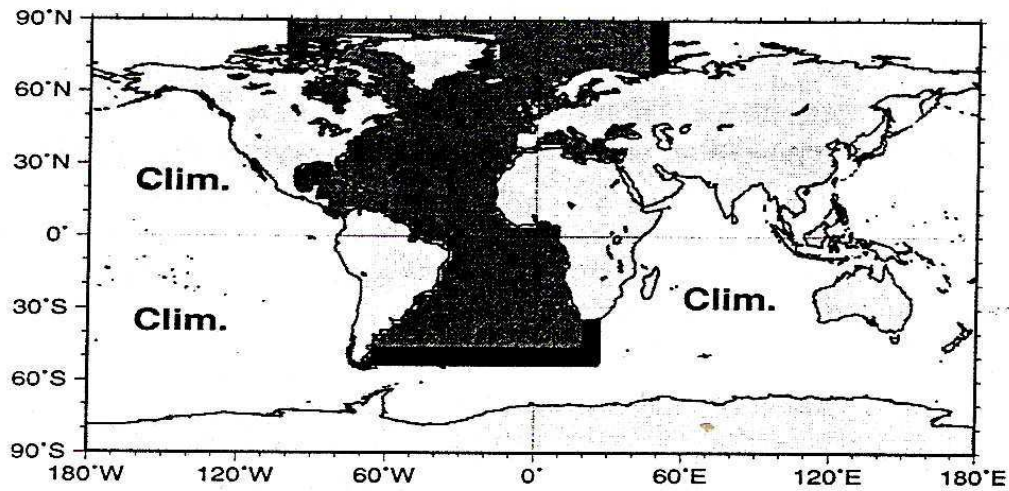
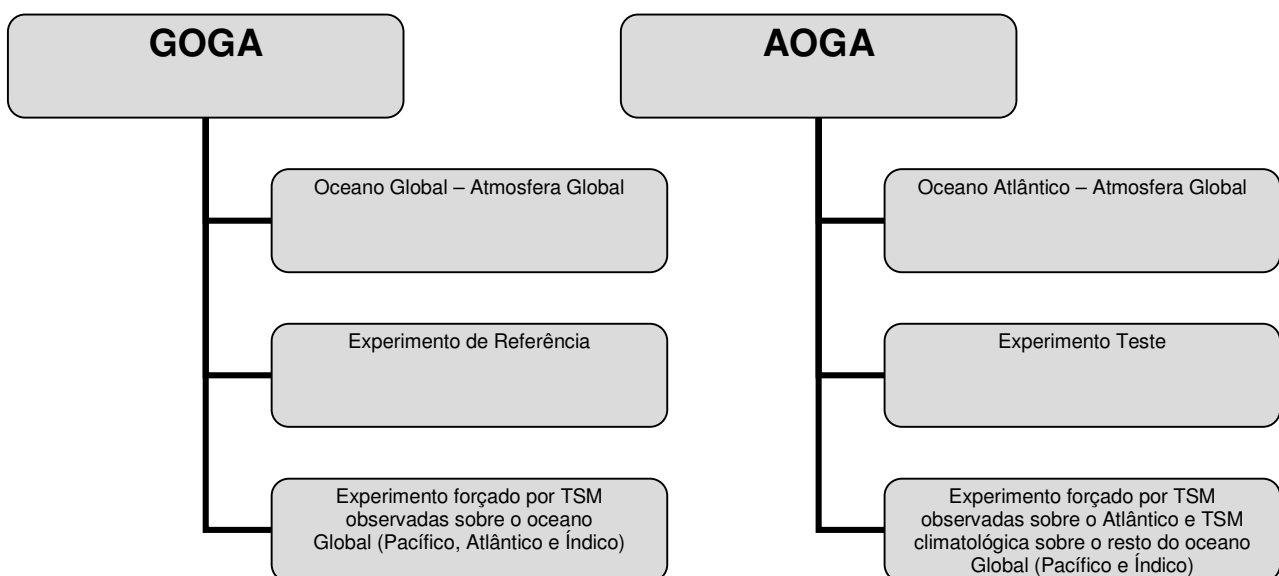


Figura 3.3 - A região em negrito mostra a área do Oceano Atlântico utilizada como forçante no experimento AOGA. Nos demais oceanos, como mostrado, é utilizada a climatologia de TSM.

Fonte: Cassou (2001).

O organograma abaixo mostra, resumidamente, os 2 grupos de simulações realizadas com o ARPEGE usando média de multi- simulações:



A análise da diferença entre essas duas simulações, ou a comparação entre elas, deverá permitir um entendimento melhor da ligação climática Pacífico-Atlântico, como também o conhecimento do impacto relativo entre essas duas regiões oceânicas e a precipitação sobre o NEB.

3.3 METODOLOGIA

A variação interanual da precipitação sobre o NEB é marcadamente influenciada por modos de variabilidades presentes nos oceanos Tropicais Pacífico e Atlântico. O estudo da variabilidade climática é focado a partir de séries temporais de precipitação mensal, na escala de tempo sazonal e interanual, e do diagnóstico e avaliação das variáveis climáticas observadas associadas às variações dos oceanos Pacífico (El Niño - EN e La Niña- LN) e Atlântico (Gradiente Meridional - GRADM positivo e negativo) que será discutida no Capítulo 4. Foi calculada a climatologia mensal baseada no período compreendido entre 1948-1997, 50 anos de dados, e as anomalias foram obtidas subtraindo a climatologia mensal para cada dado mensal individual. As anomalias permitem averiguar as mudanças ocorridas no clima sobre o NEB, em relação à climatologia, em especial estudar essas mudanças sobre a precipitação do NEB, nos anos extremos.

3.3.1 SELEÇÃO DOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE O PACÍFICO E O ATLÂNTICO

A região da TSM do Pacífico equatorial considerada como representativa da intensidade dos eventos ENOS será a Niño 3.4 (Figura 2.6), por possuir temperaturas médias superiores às da região Niño 3, estar próxima da piscina quente e principais centros de convecção do Pacífico equatorial. Além do mais, é o índice mais difundido operacionalmente para fins de monitoramento e previsão dos eventos ENOS e suas teleconexões (TRENBERTH, 1997). Da mesma forma, segundo Hanley *et al.* (2003), os índices de OS e Niño 3.4 e Niño 4 são igualmente sensíveis aos eventos de EN e melhores para caracterizá-los do que outros.

Os anos de El Niño e La Niña foram selecionados tendo como base a relação do CPC/NOAA¹¹ e se baseiam num limiar de +/- 0.5°C para o Índice Niño (média móvel de 3 meses das anomalias do ERSST.v2 SST na região do Niño 3.4) para o período de 1971-2007. A Tabela 3.1 mostra os 14 anos de EN e os 13 anos de eventos LN. Os anos de EN/LN também podem ser observados na Figura 2.7 do Capítulo 2.

¹¹ disponível no sitio

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

A classificação dos episódios nas categorias fraco, moderado e forte foi realizada também com base nas informações contidas no sitio¹² do CPC/NOAA. Os episódios quentes baseiam-se no trabalho de Rasmusson e Carpenter (1982), enquanto a fonte dos episódios frios é Ropelewski e Halpert (1989).

Por outro lado, os anos correspondentes aos anos com GRADM positivo ou negativo foram escolhidos com base no cálculo do índice proposto por Servain (1991) que consiste na diferença entre as médias da TSM na área delimitada na bacia norte do Atlântico por 60°W-20°W, 5°N-28°N, menos a área na bacia sul 35°W-5°E, 20°S-5°N. Os dados para realização desse cálculo foram os dados do GISST (dados de entrada do modelo ARPEGE).

Foram considerados anos de ocorrência do GRADM positivo aqueles anos em que o índice apresentou valor acima de 0,5°C e negativo os valores abaixo, durante pelo menos dois meses consecutivos entre os meses de janeiro a junho.

Na Tabela 3.2, apresentou-se a relação dos anos correspondentes à seleção dos 10 episódios com GRADM positivo e 09 com GRADM negativo sobre o Oceano Atlântico. Esses anos com GRADM positivo ou negativo também podem ser observados na Figura 3.4, em que se tem a série temporal do índice calculado com base nos dados do GISST, os anos dos eventos estão indicados.

¹² Disponível em

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1877-present.shtml>

Tabela 3.1 – Anos de El Niño e La Niña com sua devida classificação.

Fonte: CPC/NOAA (2006)

EL NIÑO		LA NIÑA	
ANOS	CLASSIFICAÇÃO	ANOS	CLASSIFICAÇÃO
1957/1958	Forte	1949/1950	Forte
1963/1964	Fraco	1950/1951	Forte
1965/1966	Moderado	1954/1955	Forte
1968/1969	Moderado	1955/1956	Forte
1969/1970	Moderado	1964/1965	Moderado
1972/1973	Forte	1970/1971	Moderado
1976/1977	Fraco	1971/1972	Moderado
1977/1978	Fraco	1973/1974	Forte
1982/1983	Forte	1974/1975	Forte
1986/1987	Moderado	1975/1976	Forte
1987/1988	Moderado	1984/1985	Fraco
1990/1991	Forte	1988/1989	Forte
1991/1992	Forte	1995/1996	Fraco
1994/1995	Moderado		

Tabela 3.2 – Anos com GRADM positivo e GRADM negativo *

GRADM POSITIVO	GRADM NEGATIVO
ANOS	ANOS
1951 ***	1971 ***
1956 ***	1973 **
1958 **	1974 ***
1966 **	1975 ***
1970 **	1984
1978 **	1985 ***
1980	1986
1981	1989 ***
1983 **	1994
1997	

* Classificação de eventos com base no índice GRADM (SERVAIN, 1991), em que valores acima (abaixo) de 0,5°C durante pelo menos dois meses consecutivos entre os meses de janeiro a junho referem-se à GRADM positivo (GRADM negativo)

** referem-se aos anos em que ocorreram coincidentes com eventos El Niño

*** referem-se aos anos em que ocorreram coincidentes com eventos La Niña

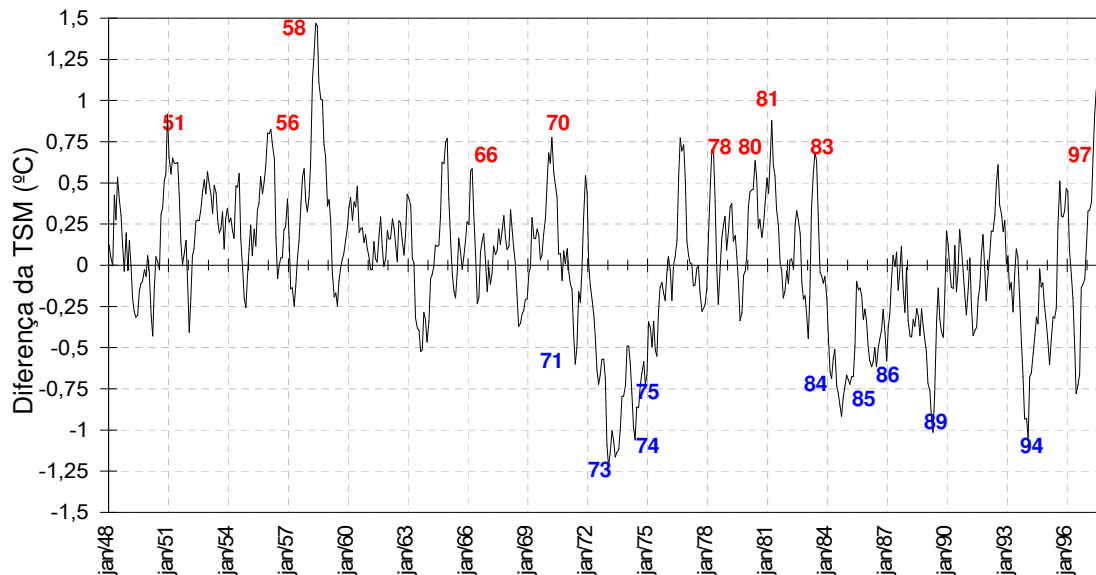


Figura 3.4 – Série temporal do índice do GRADM calculado pela diferença entre as TSM média sobre a área no ATN (20°W-60°W, 5°N-28°N) menos a média da TSM na área do ATS (35°W-5°E, 5°N-20°S).

3.3.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÕES

A técnica estatística conhecida como análise de casos compostos (composições) foi utilizada para se fazer uma revisão das características atmosféricas e oceânicas observadas durante a manifestação dos eventos de El Niño e La Niña sobre o Pacífico Tropical, podendo verificar, assim, o comportamento da atmosfera. Essa técnica constitui-se numa ferramenta bastante utilizada nas análises e identificação dos padrões médios e variações associadas a um determinado fenômeno climático. Para isso, utilizaram-se os dados do modelo ARPEGE, do NCEP e do GPCP (vide seção 3.2).

Embora a região tropical esteja compreendida entre aproximadamente 23,5° S e 23,5° N, os gráficos foram gerados na área compreendida até 30° S e 30° N com o intuito de se ter uma visão mais ampla da configuração das variáveis estudadas. Entretanto, as exceções foram para as figuras de precipitação, que foram feitas sobre a região NEB e para as figuras da PNM, para a qual foi utilizada a área entre 60° de latitude norte e sul, com a finalidade de visualizar as altas subtropicais semi-estacionárias.

A célula de Walker foi analisada calculando-se a média zonal da componente u (zonal) do vento, compreendida entre 5°N e 5°S, bem como a velocidade vertical (ω). O perfil meridional foi construído a partir da composição dos vetores da componente u do vento e ω multiplicado por (-10^3) para a área compreendida entre 180°W a 20°E, na qual se pode visualizar as modificações dessa célula, tanto sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico quanto sobre a região em estudo.

Para a representação da célula de Hadley sobre a área, foi feito o mesmo procedimento descrito acima, contudo foi utilizada a média para a área 34°W-50°W (área sobre o NEB) da componente v (meridional) do vento e de ω . O perfil foi gerado da mesma forma que para a célula de Walker.

A divergência horizontal foi calculada, utilizando a função intrínseca do GrADS $hdivg(uexpr,vexpr)$, que usa as componentes zonal ($uexpr$) e meridional do vento ($vexpr$) do conjunto dos dados de reanálises do NCEP. Essa divergência foi elaborada para os níveis de 850 hPa e 200 hPa. A divergência é dada por valores positivos e a convergência por negativos.

A circulação nos baixos e altos níveis foi gerada a partir dos vetores u e v do vento, com a configuração de linhas de correntes. A partir dessas figuras poder-se-á verificar, em baixos níveis o deslocamento e intensidade das altas subtropicais. Em altos níveis, serão visualizados os movimentos ciclônicos e anticiclônicos existentes sobre toda a área da figura, com principal atenção às anomalias desses movimentos sobre a região NEB que poderá inibir ou contribuir para a formação de convecção.

A visualização de todos os campos gerados foi feita utilizando o *software Grid Analysis and Display System* (GrADS), conforme Doty (1992). Apesar da simplicidade dessa ferramenta, ela auxilia extraordinariamente o desenvolvimento prático e avançado de pesquisas atmosféricas e oceânicas. Informações, detalhes, bem como *download* do GrADS, veja o site <<http://www.iges.org/grads/>>.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIAÇÃO ANUAL

Inicialmente, o estudo foi realizado para toda a região do Nordeste do Brasil (NEB). Identificou-se o ciclo anual para a região acima citada a partir das duas simulações do modelo ARPEGE (AOGA, GOGA), dos dados de precipitação provenientes de reanálise do NCEP, dos dados observados do NOAA/CPC e do GPCP (dados observados e de satélite). Observa-se, na Figura 4.1, que o ciclo anual a partir das duas simulações é bem parecido, isto porque a climatologia da precipitação não é muito dependente das TSM e, também, quando se calculam médias mensais para os 50 anos de dados das simulações, as diferenças existentes na precipitação não são tão sensíveis em longo prazo. Uma diferença maior é notada de novembro a maio superestimando a precipitação e introduz erros de fase. Comparando-se o ciclo anual do modelo e os demais do NOAA/CPC e GPCP, vê-se que o modelo conseguiu representar bem o ciclo anual, contudo, apresenta algumas dificuldades com relação à amplitude, sobreestimando a precipitação, e desloca em 1 mês o período seco da região (mínimo de precipitação).

Além disso, na Figura 4.1, nota-se que o ciclo anual da precipitação com os dados do CPC e GPCP (ambos dados de precipitação observada) encontram-se bem próximos um do outro. Contudo, percebe-se que a curva com os dados do GPCP para o NEB bem como para as sub-regiões (Figura 4.2) apresentou amplitudes um pouco maiores do que as curvas de precipitação geradas com os dados do CPC. As diferenças devem advir das diferentes metodologias aplicadas em cada conjunto de dados. Nesse mesmo contexto, as curvas geradas com os dados de precipitação provenientes de reanálises (NCEP) mostraram-se bem distintas dos dados observados (CPC e GPCP). A precipitação com os dados do NCEP para todo o NEB, bem como para as sub-regiões apresentou-se sobreestimada. As deficiências apresentadas pela reanálise, bem como pelas simulações em reproduzir as anomalias de precipitação corretamente são

consistentes com vários resultados discutidos na literatura. Trabalhos, como os de Hoerling *et al.* (1995) e Hoerling e Kumar (1997), mostraram que parte da variabilidade interanual é difícil de ser prevista em experimentos forçados apenas pela TSM, como é o caso do ARPEGE, pois esses são deficientes em reproduzir as anomalias do escoamento zonal observadas em latitudes médias em eventos EN e em simular corretamente as ondas estacionárias anômalas.

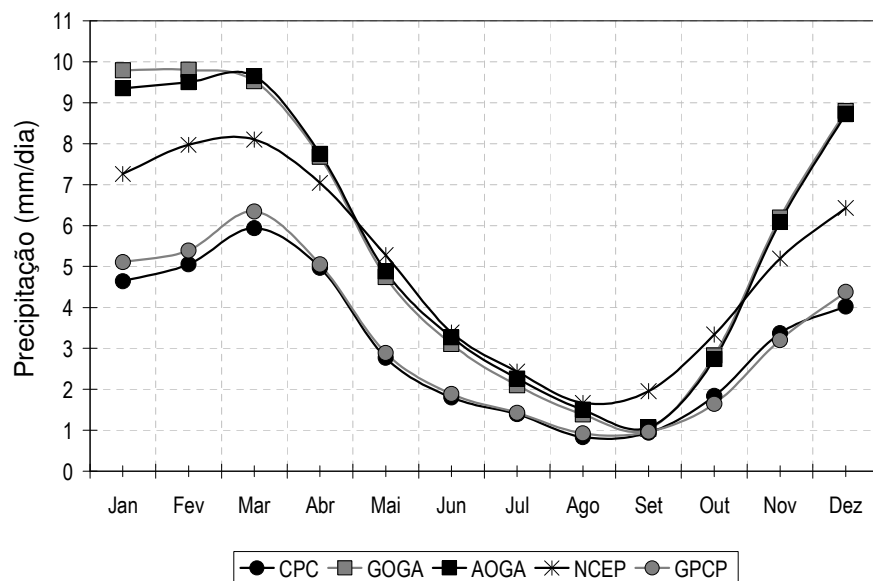


Figura 4.1 – **Ciclo anual da precipitação** (mm/dia) para as duas simulações (GOGA e AOGA) do modelo ARPEGE, dados obtidos de reanálises do NCEP e dados observados do CPC e GPCP para todo o NEB.

Com o intuito de observar maiores detalhes sobre a região NEB, ela foi dividida em três sub-regiões (seção 3.1). Com relação ao ciclo anual para cada sub-região, mostrados na Figura 4.2, percebe-se que o modelo ARPEGE consegue reproduzir razoavelmente a estação chuvosa para a sub-região 1 (norte), não sobreestimando muito a precipitação, e o erro maior apresentado foi no deslocamento em dois meses da estação seca. Os maiores erros foram encontrados para a sub-região 2 (leste) em que o modelo apresenta um erro de fase, antecipando o período chuvoso de AMJ para FMA (ver Figura 4.2 (b)), além de apresentar uma precipitação sobreestimada bastante discrepante no período chuvoso. Para o centro/sul (sub-região 3), têm-se os maiores problemas em relação à amplitude, sobreestimando em muito os valores na estação chuvosa de dezembro a março.

Como discutido anteriormente na Figura 4.1, as duas simulações, GOGA e AOGA, também apresentaram ciclos anuais praticamente idênticos para as três sub-regiões, o que não está correto climaticamente.

Com relação às comparações dos dados observados do CPC e GPCP e com os dados de reanálise, servem as mesmas explicações dadas anteriormente na discussão da Figura 4.1.

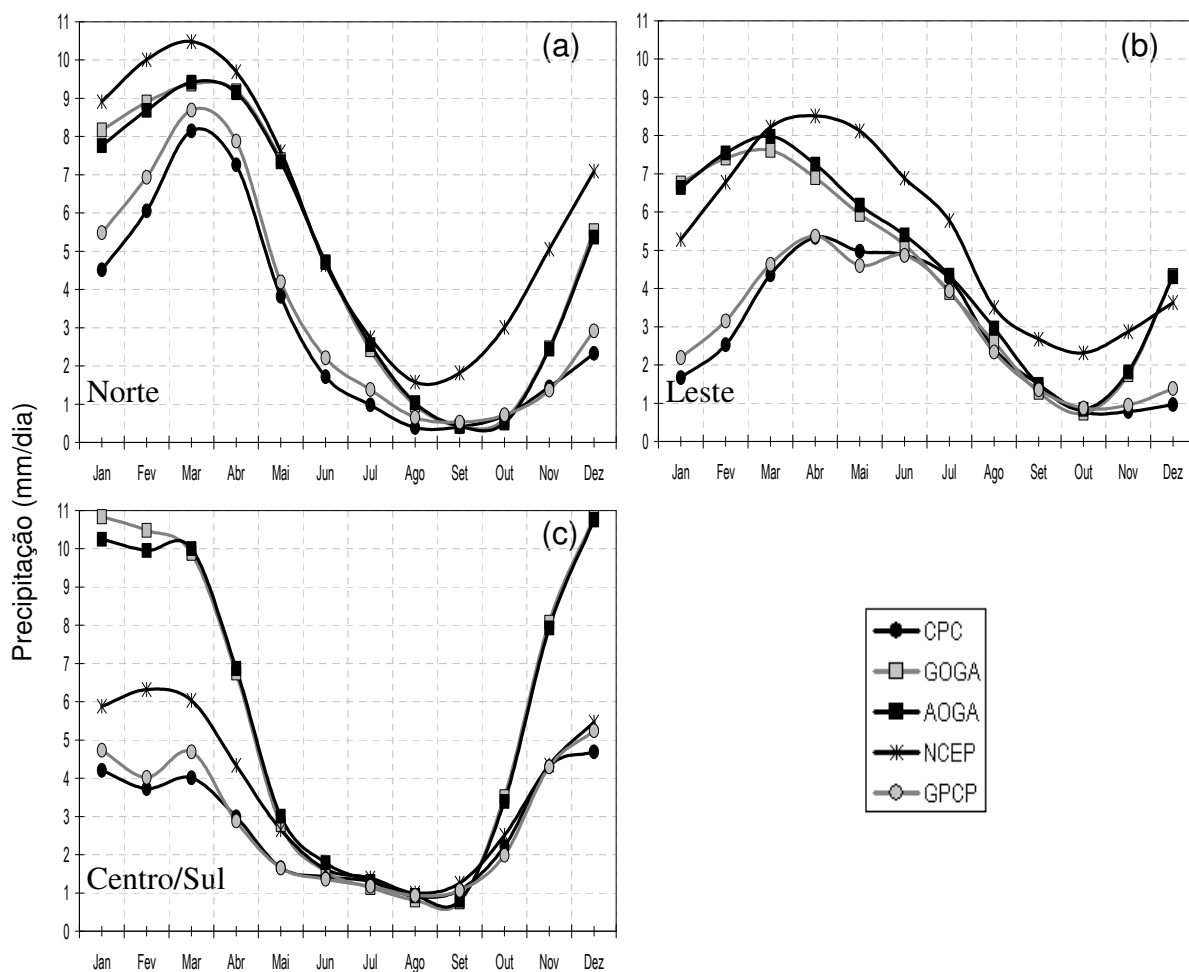


Figura 4.2 - Ciclo anual da precipitação em mm/dia para as três sub-regiões do NEB com os resultados das simulações GOGA e AOGA do modelo ARPEGE, dados de reanálises do NCEP, dados observados do CPC e GPCP. (a) sub-região 1 - norte; (b) sub-região 2 - leste e (c) sub-região 3 – centro/sul.

RESUMO DA SEÇÃO 4.1.

Sumarizando, vê-se que o modelo ARPEGE conseguiu, aproximadamente, reproduzir o ciclo anual para o NEB como um todo, as melhores simulações da precipitação em comparação com os dados observados (CPC e GPCP) foram encontradas para a sub-região 1 (norte) e as piores para o leste do NEB (sub-região 2). Para a sub-região 3, a simulação conseguiu representar os períodos chuvosos e secos porém a precipitação é bastante sobreestimada.

Um ponto importante é que os resultados obtidos pelas duas simulações, GOGA e AOGA, mostraram que o modelo ARPEGE não foi sensível às diferenças da TSM. Não houve diferença significativa quando o modelo foi forçado por TSM observadas, em escala anual, no Atlântico (AOGA).

4.2 VARIAÇÃO INTERANUAL

Observa-se que a série temporal da precipitação interanual de GOGA (Figura 4.3a) para o NEB mostra uma pequena tendência de diminuição das chuvas, que pode estar relacionada ao aumento de eventos El Niño após a década de 70, relatado na seção 2.2.2. Isto está de acordo com vários estudos que indicaram a relação do evento EN com precipitação abaixo da média climatológica sobre o NEB (HASTENRATH, 1976; KOUSKY *et al.*, 1984; KAYANO *et al.*, 1988; KILADIS e DIAZ, 1989; RAO e HADA, 1990). A série temporal da precipitação interanual para AOGA (Figura 4.3b) apresentou, ao contrário, uma leve tendência, de aumento das chuvas sobre o NEB, o que está correto, se for lembrado que, nessa simulação (TSM climatológica sobre o Pacífico e Índico e observada apenas sobre o Atlântico), excluem-se os eventos extremos do ENOS. Em consequência, têm-se precipitações simuladas superestimada.

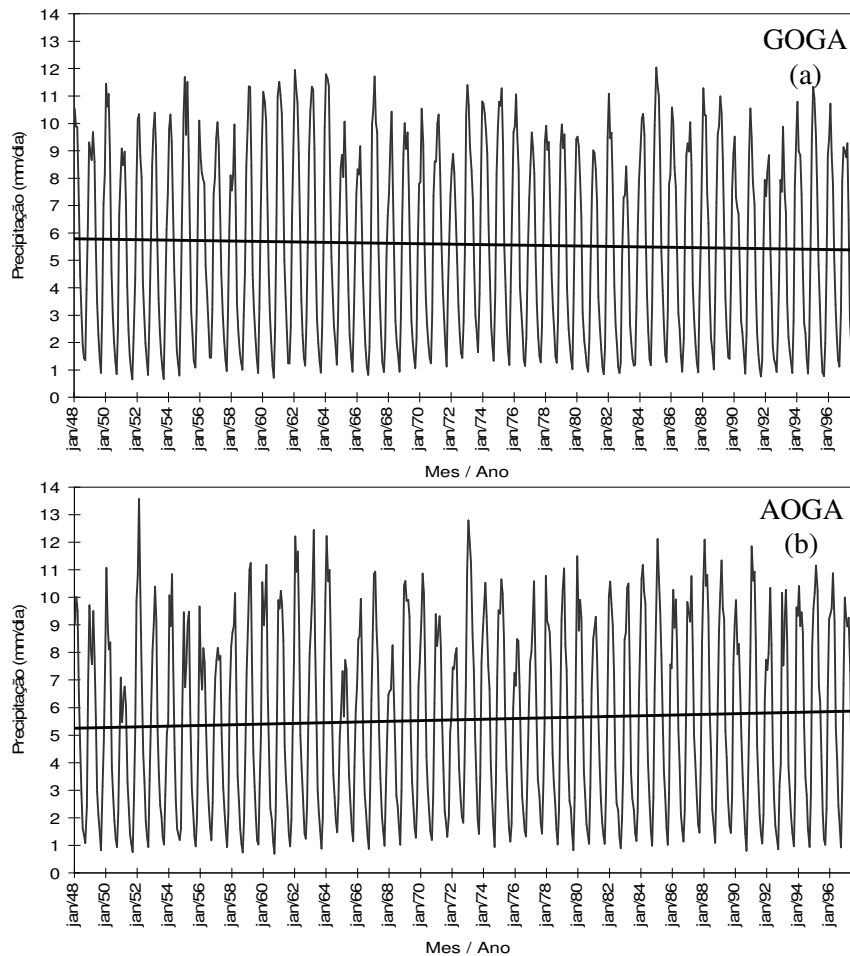


Figura 4.3 - **Série temporal mensal da precipitação** (mm/dia) sobre todo o NEB com os dados do modelo ARPEGE para o período 1948-1997 para (a) simulação GOGA (referência) (b) simulação AOGA (teste).

Na Figura 4.4, apresenta-se a série temporal mensal da diferença da precipitação entre as simulações do ARPEGE. Destaca-se o fato de que, quando se calcula a diferença entre as simulações, pode-se inferir a relação da precipitação nos anos de eventos extremos sobre o Pacífico, já que é retirada a climatologia. Observa-se que existem dois períodos distintos, antes e depois de 1976, ano em que ocorreu mudança da ODP para a fase positiva, isto é, aumento da TSM no Pacífico Tropical (MANTUA *et al*, 1997).

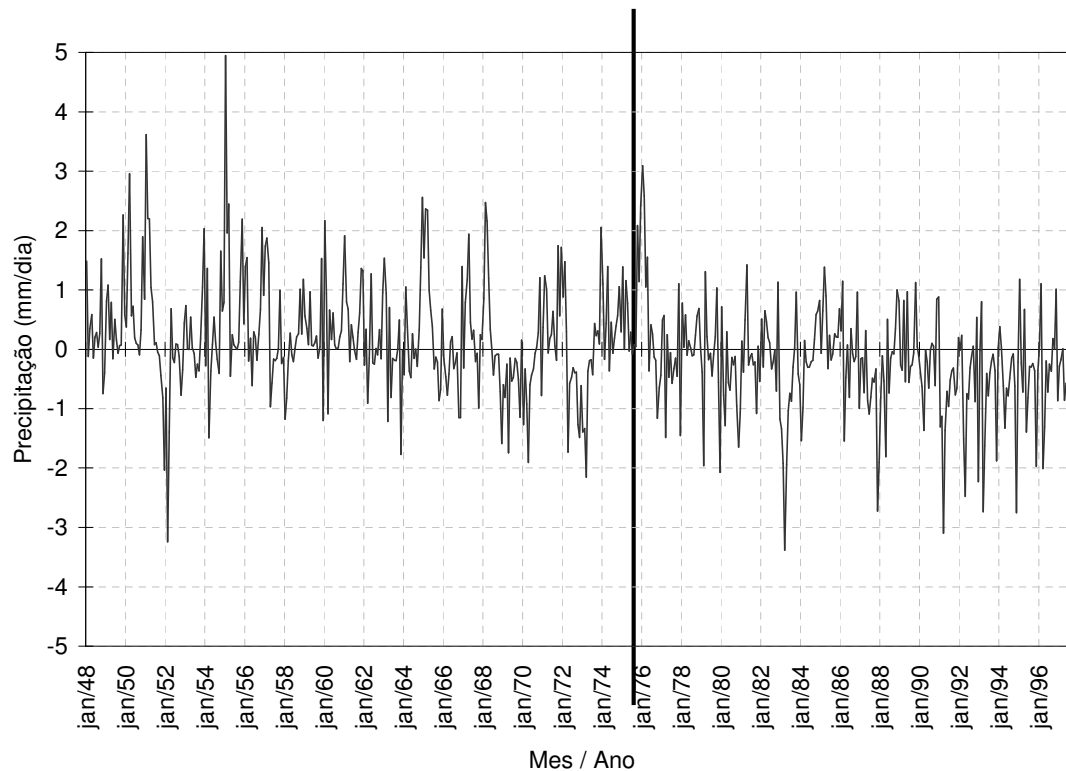


Figura 4.4 – **Série temporal mensal da diferença da precipitação** entre as simulações **GOGA-AOGA** do modelo ARPEGE para todo o NEB (1948-1997).

No período antes de 1976, a diferença da precipitação entre as simulações apresentou sinal predominantemente positivo, o que sugere que GOGA é mais significativa que AOGA, e está de acordo com o que foi observado nesse período, anos com mais evento La Niña e, conseqüentemente, precipitações variando do normal a ligeiramente acima, no geral. Após 1976, pode-se explicar a diminuição de chuvas na região pelo fato de ocorrência de maior número de eventos El Niño (vide Figura 2.6). No entanto, é bom esclarecer que esta é uma análise superficial, pois o impacto do fenômeno ENOS sobre o NEB existe e é bastante relevante, contudo ele não atua sozinho. Uma análise mais detalhada levando em consideração a variabilidade do Oceano Atlântico, que é uma fonte de umidade indispensável à precipitação sobre toda a região, seria de grande valia e poderia mostrar o real impacto da atuação do Pacífico sobre a mesma região.

A diferença da precipitação simulada nos dois experimentos do modelo (Figura 4.5) mostrou grande variabilidade da precipitação sobre as sub-regiões indicando, assim, que os eventos sobre o Pacífico atuam de maneiras diferentes sobre as mesmas. Por exemplo, nota-se claramente nas sub-regiões 2 e 3 uma pequena tendência a

diminuição das chuvas após a década de 70, o que está de acordo com as maiores frequências de EN após esta data.

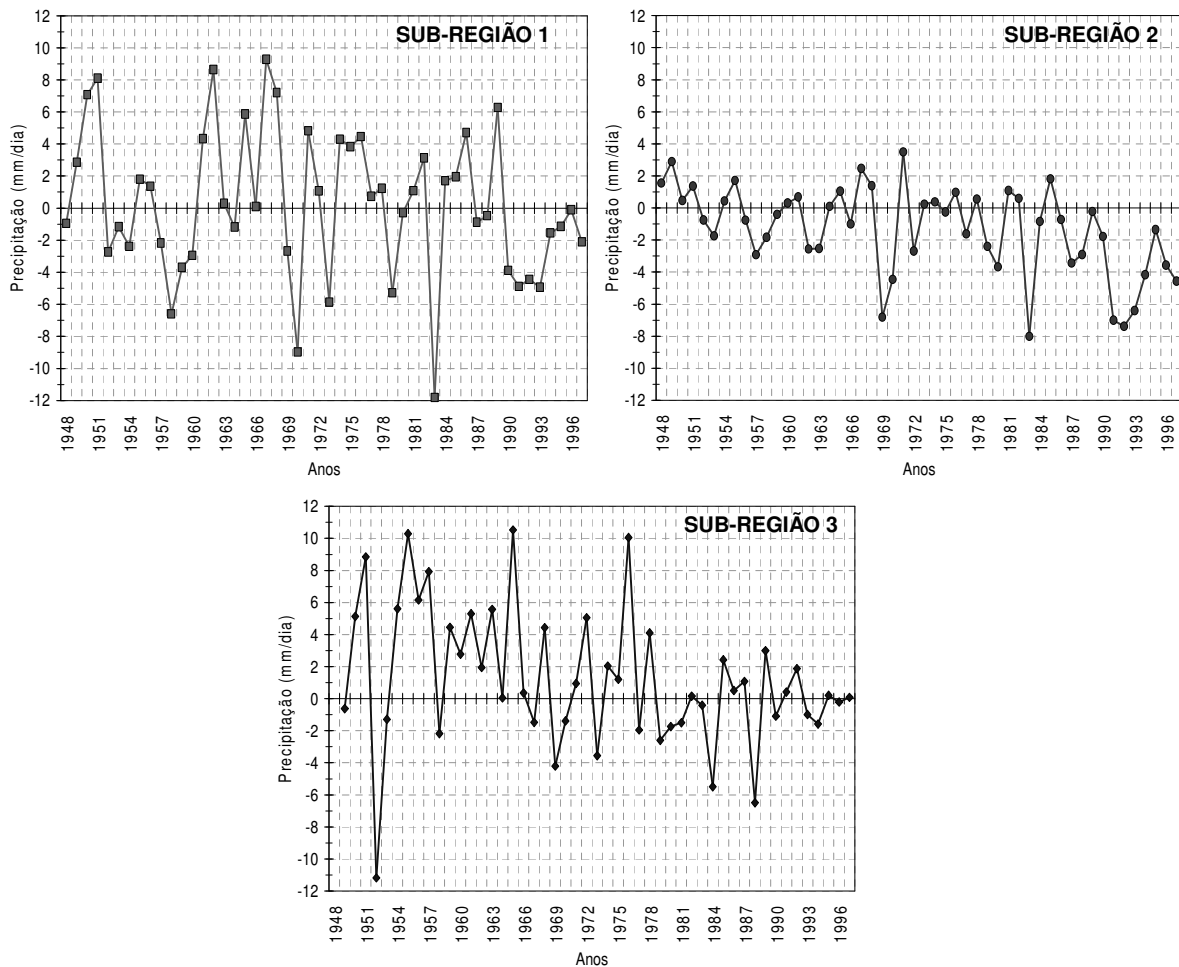


Figura 4.5 – **Diferença da precipitação** entre as duas simulações (GOGA-AOGA) do modelo ARPEGE para o período chuvoso de cada sub-região para a **sub-região 1 (FMAM); sub-região 2 (AMJJ) e sub-região 3 (NDJF)**.

As figuras, a seguir, foram elaboradas com o intuito de verificar o comportamento interanual da precipitação, bem como verificar como o modelo conseguiu captar essa variabilidade nas três sub-regiões em estudo. Na Figura 4.6, tem-se a série temporal das anomalias de precipitação do CPC e das simulações do modelo (GOGA e AOGA) para a sub-região 1. Um aumento de chuvas é observado nos dados do CPC (Figura 4.6a) no final do período 1948-1976. Entretanto, essa tendência não é observada após 1976. Nesse último, foram observados períodos maiores de secas e chuvas em relação ao período anterior. As anomalias de precipitação geradas pela simulação GOGA (Figura 4.6a) conseguiram reproduzir de forma razoável a variável,

conseguindo captar os períodos secos e chuvosos, contudo podem se verificar algumas discrepâncias na magnitude e evolução temporal em determinados anos.

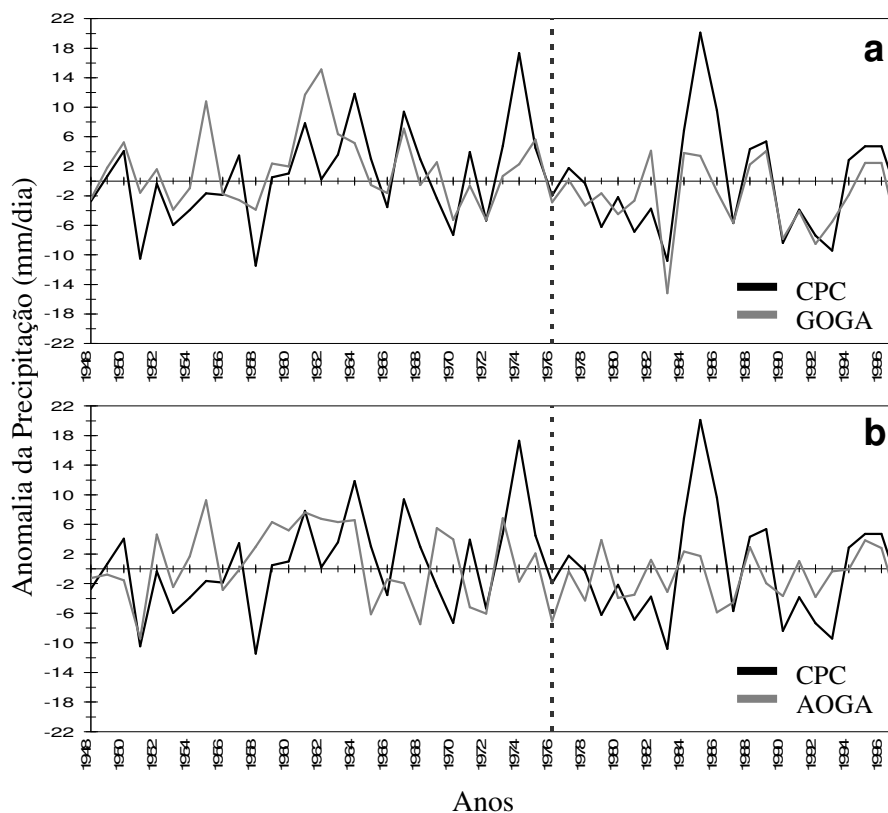


Figura 4.6 - **Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA** para o período chuvoso da **sub-região 1 (FMAM)**. A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA.

As anomalias de precipitação a partir da simulação AOGA estão mostradas na Figura 4.6b. Tem-se que os sinais das anomalias são reproduzidos com certa coerência em alguns anos como, por exemplo, 1951, 1966, 1987, 1995, indicando que o Atlântico tem sua parcela de contribuição nas chuvas da sub-região. Porém foi verificado que, na maioria dos anos, como por exemplo, 58, 67, 68, 70, as anomalias de precipitação entre as do CPC e AOGA, foram inversas, podendo ser um indicativo de que a contribuição, predominante, foi do Pacífico. Se comparar as Figuras 4.6 a e b para essa sub-região, é verificado que, em geral, a variação interanual é representada melhor pela simulação GOGA.

A análise das anomalias de precipitações da sub-região 2 (Figura 4.7) com os dados do CPC, da mesma forma que para a sub-região 1, também demonstrou uma pequena tendência a aumento da precipitação apenas no período antes de 1976.

Comparando o período após 1976 nas sub-regiões 1 e 2 (Figura 4.6a e 4.7a), têm-se que a sucessão de períodos secos e chuvosos sobre cada sub-região, praticamente, ocorreu nos mesmos anos, sendo que os menores valores das anomalias são verificados na sub-região 2.

As anomalias geradas pela simulação GOGA (Figura 4.7a) foram coerentes com as do CPC nos períodos antes de 1954 e após 1969. No período compreendido entre essas duas datas (1954-1969), pode ser verificado que nenhuma das duas simulações conseguiram captar a anomalia da precipitação, a exceção ocorre apenas para os anos de 1958 e 1959, em que as duas conseguem reproduzir a anomalia (Figura 4.7a e 4.7b). A simulação AOGA mostrou a contribuição do Atlântico para essa sub-região em alguns anos isolados.

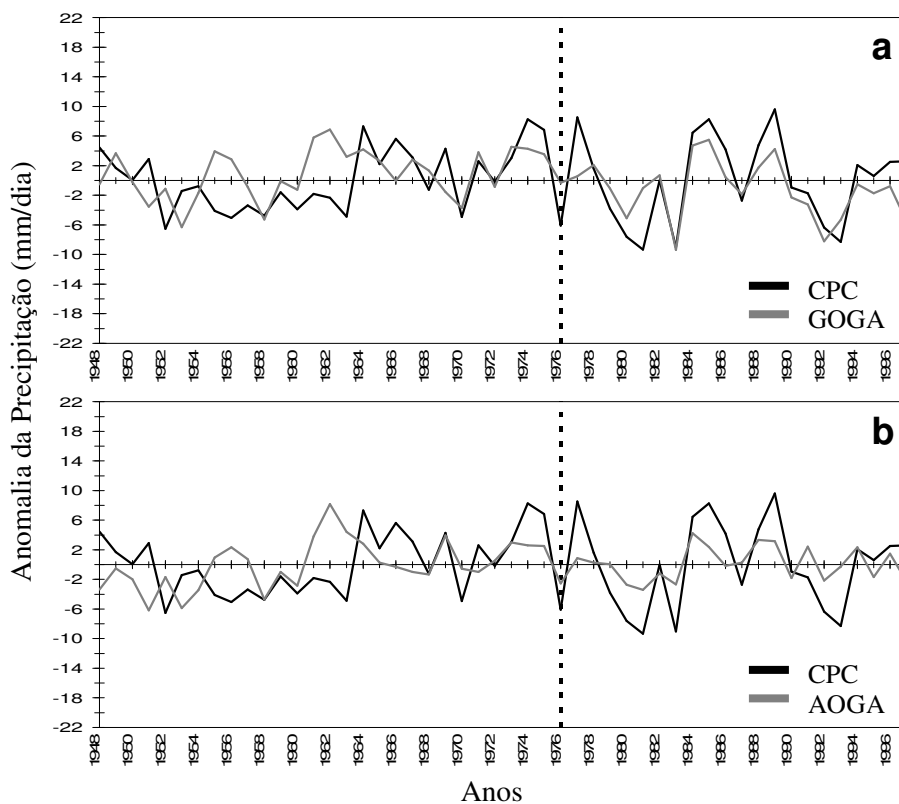


Figura 4.7 - **Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA** para o período chuvoso da **sub-região 2 (AMJJ)**. A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA.

No Centro/Sul do NEB (sub-região 3) não há indícios de aumento da precipitação no período 1948 a 1976 (Figura 4.8a) como ocorreram nas sub-regiões norte e leste. No entanto, após 1976, essa sub-região, diferentemente das outras, mostrou uma tendência de decréscimo mais acentuada da precipitação (Figura 4.8a). As anomalias de precipitação geradas pelo modelo, tanto na simulação GOGA quanto na AOGA, apresentaram alguns erros cruciais em reproduzir as anomalias. Por exemplo, nas Figuras 4.8a e 4.8b, anomalias da simulação GOGA e AOGA, nos anos de 1961, 1962, 1968, 1989, 1992, 1994, 1995, foram opostas às do CPC.

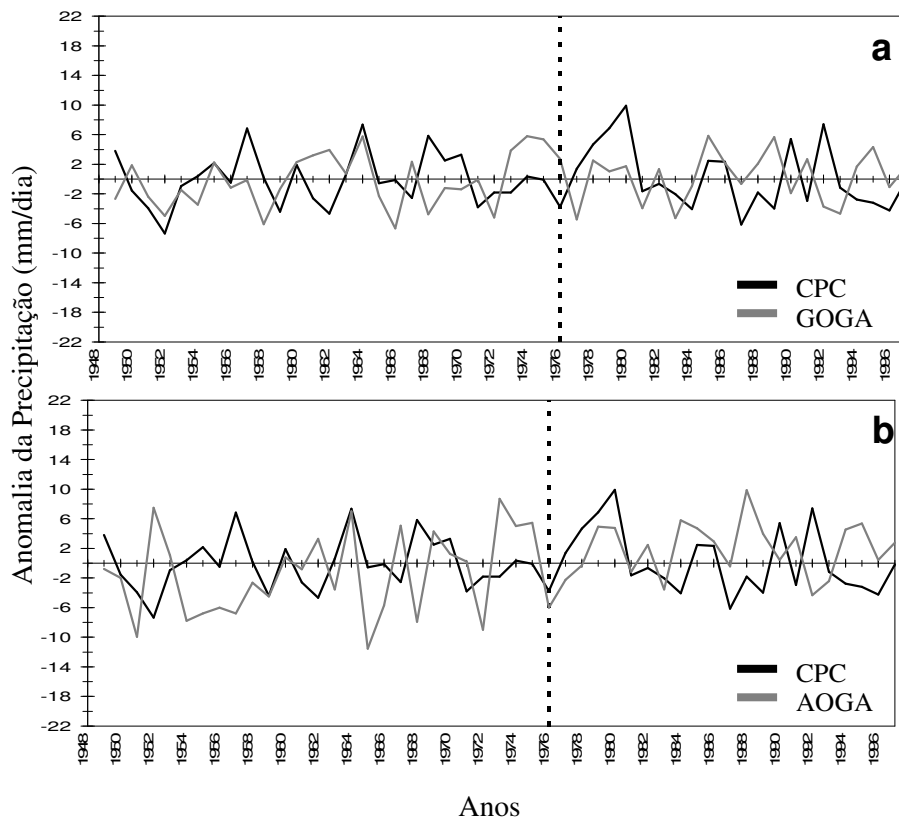


Figura 4.8 - **Anomalias da precipitação do CPC e das simulações GOGA e AOGA** para o período chuvoso da **sub-região 3 (NDJF)**. A linha pontilhada na vertical divide a série em dois períodos, antes e depois de 1976. (a) anomalia da precipitação do CPC e GOGA; (b) anomalia da precipitação do CPC e AOGA.

RESUMO DA SEÇÃO 4.2

Em resumo, o modelo ARPEGE conseguiu reproduzir com certa coerência as variações interanuais para o período chuvoso de cada sub-região.

É verificada uma pequena tendência de aumento da precipitação no período de 1948-1976 para as sub-regiões Norte e Leste do NEB, que pode estar relacionada ao maior número de eventos La Niña neste período. No período após 1976 não foi constatada nenhuma tendência para essas duas sub-regiões. Contudo, foram observadas oscilações entre períodos secos e chuvosos, maiores do que para o período antes de 1976. Maior amplitude da precipitação na fase quente da ODP.

Nota-se que as maiores discrepâncias das precipitações geradas pelo modelo e as observadas foram registradas na sub-região 3 (Centro/Sul) que pode estar relacionada ao tamanho da área selecionada para compor essa sub-região, pois nela está inserida mais de um regime de chuvas. Além disso, tem-se nessa sub-região a atuação da ZCAS que é extremamente variável de ano para ano. Nessa sub-região nota-se uma tendência negativa para o segundo período que pode estar relacionada aos eventos El Niño.

Concluiu-se que os dados de precipitação, simulados pelo modelo ARPEGE, podem ser utilizados com uma margem de confiabilidade. Notou-se que os dois tipos de simulações podem indicar a contribuição de cada oceano. Portanto, nas seções posteriores, pretende-se realizar estudos mais detalhados sobre os impactos dos eventos extremos em cada oceano na precipitação do NEB.

4.3 CARACTERÍSTICAS SAZONAIS DA ATMOSFERA E OCEANO

A ocorrência de fenômenos extremos nos oceanos e as interações desses com a atmosfera provocam modificações na Circulação Geral da Atmosfera. Essas modificações desencadeiam mudanças climáticas, tais como secas, enchentes, aumento da temperatura, dentre outras, em várias regiões do mundo. Foram elaboradas composições das variáveis TSM, PNM, circulação em 200 e 850 hPa, divergência horizontal em 200 e 850 hPa, precipitação observada do CPC e as circulações zonal e meridional (Walker e Hadley) com a finalidade de verificar os padrões que predominaram na atmosfera bem como nos oceanos durante anos de eventos extremos no Oceano Pacífico (EN e LN) e no Atlântico (GRADM positivo e negativo).

As composições foram construídas para média de três meses sendo divididos de acordo com as estações do ano: setembro-outubro-novembro (SON), dezembro-janeiro-fevereiro (DJF), março-abril-maio (MAM) e junho-julho-agosto (JJA). Essas composições foram construídas para 14 anos de eventos EN, 13 anos de LN, 10 anos com GRADM positivo e 9 anos com GRADM negativo, selecionados no período de 1948-1997.

4.3.1 COMPOSIÇÕES ASSOCIADAS AO EVENTO EL NIÑO

Na Figura 4.9, mostram-se os campos das composições sazonais das anomalias de TSM (ATSM) em anos de eventos EN. Observam-se ATSM positivas sobre o Pacífico Equatorial relacionadas ao aquecimento das águas superficiais desse oceano, o que é característico do evento. A exceção ocorre no trimestre JJA.

No trimestre SON (Figura 4.9a), o fenômeno esteve bem configurado, tal qual descrito na literatura, estando em sua fase de desenvolvimento e, no trimestre seguinte (DJF), atinge sua fase madura (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; WANG, 2002a), pois, já no trimestre posterior (MAM), as anomalias da TSM sobre o Pacífico apresentam valores menores. Essas ATSM positivas encontram-se confinadas, aproximadamente, entre os paralelos de 20°N e 20°S, são circundadas por pequenos núcleos de anomalias negativas.

Nota-se que, no outono do Hemisfério Sul (HS) – MAM (Figura 4.9c), o fenômeno EN já se encontra em fase de dissipação, contudo ainda podem-se observar ATSM positivas na região equatorial e no Pacífico central com valores um pouco maiores que as áreas adjacentes.

Nos meses JJA (Figura 4.9d), pode ser observado um núcleo de ATSM negativas desenvolvendo-se na região do equador centrada na longitude 130°W e, em torno desse, tem-se, em geral, TSM em torno da média climatológica e núcleos de anomalias positivas, porém fracas, ao sul e ao norte.

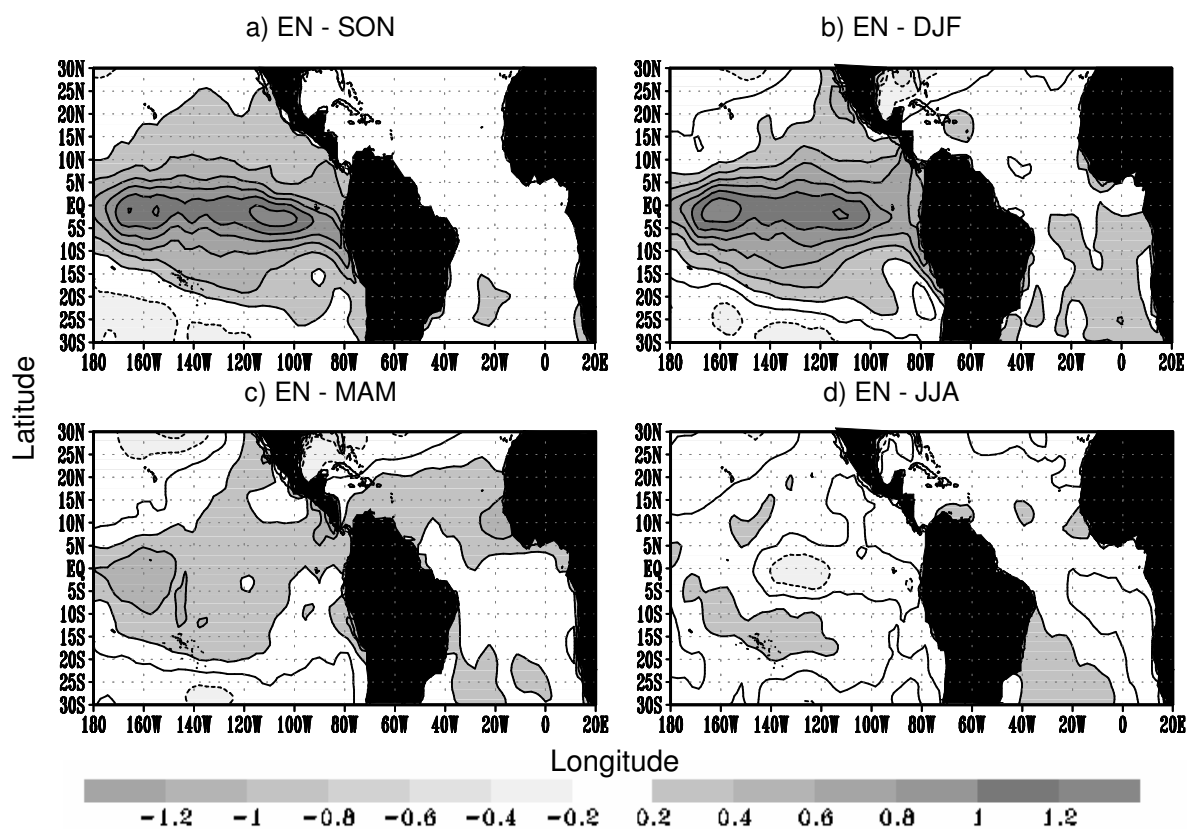


Figura 4.9 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos de eventos EN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Referindo-se ao Oceano Atlântico, na fase de desenvolvimento do EN (SON), não são observadas ATSM expressivas no AT, conforme mencionado, também, por Andreoli e Kayano (2007). Nesses anos de EN, observa-se que ATSM positivas somente surgiram a partir do trimestre DJF no ATS (Figura 4.9b) e um pequeno núcleo positivo no ATN próximo à região do Caribe.

No trimestre seguinte (MAM), conforme estudos anteriores (ENFIELD e MAYER, 1997; SARAVANAN e CHANG, 2000), pode-se observar a relação entre o EN e o ATN que ocorre, normalmente, 4 a 5 meses após a fase madura do EN. Esses casos são conhecidos como EN canônico e podem ser visualizados na Figura 4.9c, em que o ATN apresenta anomalias com mesmo sinal do evento sobre o Pacífico (configuração mostrada em vários trabalhos, por exemplo, Andreoli e Kayano, 2007). Verifica-se que essas anomalias positivas encontram-se na faixa compreendida entre 5°N e 20°N com núcleo mais intenso na Costa Africana em torno de 10°N. Ainda nesse trimestre (MAM), no ATS, observa-se a existência de uma banda com anomalias positivas na direção noroeste-sudeste na Costa Brasileira, aumentando sua extensão no trimestre seguinte (JJA).

As anomalias no ATN em JJA – inverno no HS (Figura 4.9d) - já se apresentaram com intensidades menores, sendo verificados apenas núcleos pequenos e isolados de anomalias positivas sobre a latitude de 15°N aproximadamente.

Analisando as composições das Anomalias da Pressão ao Nível Médio do Mar (APNM) para o trimestre SON, na Figura 4.10a, verifica-se a redução da pressão sobre o Oceano Pacífico Tropical, mais precisamente na região equatorial, associada ao aumento da TSM (Figura 4.9a). Observam-se, além disso, nesse trimestre, centros de anomalias positivas localizados na longitude de 180° W e nas latitudes de 25°S e 30°N, aproximadamente. Outro centro de APNM positivas bastante intensas é visualizado nas latitudes subtropicais centrado em 120°W e 60°S. Na região subtropical no HN verifica-se um centro de APNM negativas centradas em 170°W e 50°N.

Nota-se que esses núcleos de anomalias positivas e negativas no trimestre seguinte (DJF – Figura 4.10b) encontraram-se mais intensos e expandiram-se longitudinalmente abrangendo uma área maior, com exceção do núcleo positivo localizado na região subtropical do HS que diminuiu um pouco e deslocou-se para nordeste.

Verifica-se que, em MAM, na região do Pacífico Equatorial, as APNM diminuíram de intensidade e apresentaram valores em torno da climatologia, sugerindo que o evento EN encontra-se em fase de desintensificação, o que está de acordo com as

ATSM (Figura 4.9). Observa-se, ao mesmo tempo, aumento das anomalias positivas em torno de 30°S e 20°N. Na região subtropical, houve intensificação das anomalias negativas.

Em JJA, podem ser verificadas no Pacífico Equatorial, anomalias em torno da média climatológica. APNM positivas no HS, visualizadas no trimestre anterior, na região em torno de 20°S-50°S, continuaram e expandiram latitudinalmente.

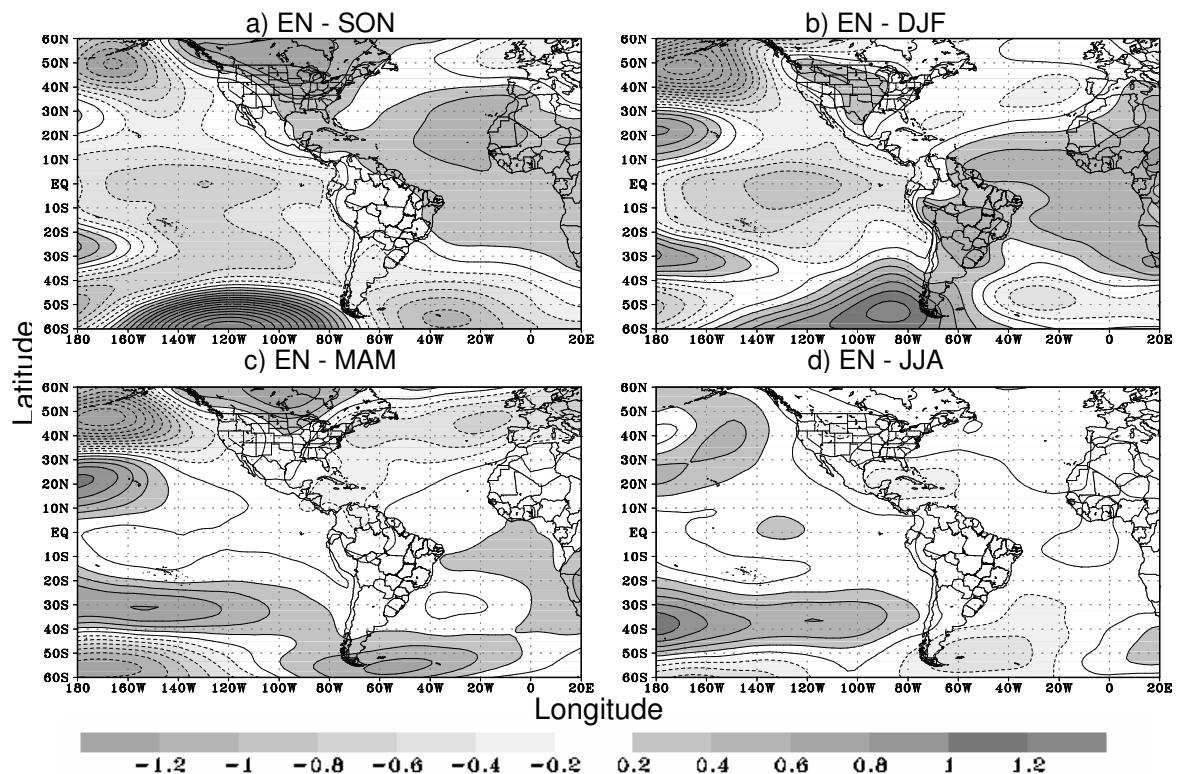


Figura 4.10 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos de eventos EN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Por outro lado, no Oceano Atlântico, observam-se, na primavera do HS (SON – Figura 4.10a), APNM positivas na região tropical. Ao norte e sul desta, verificam-se anomalias negativas. Esse núcleo de APNM negativas na região subtropical no HS encontra-se em paralela com anomalias positivas no Oceano Pacífico.

Durante o trimestre DJF, persistiram anomalias positivas sobre a região equatorial, contudo essa área foi reduzida, e essas se apresentam com intensidade um pouco maior que o trimestre anterior. Também pode-se notar que as APNM negativas

no HN encontram-se mais intensas que em SON, com núcleos entre as latitudes de 30°N e 50°N. Essas regiões de APNM negativas estão associadas ao aquecimento da TSM no trimestre seguinte no HN, conforme visualizado na Figura 4.9c. As anomalias negativas na região subtropical no HS diminuem a intensidade e deslocam-se, tal qual a alta no Oceano Pacífico, para nordeste. Esse padrão de altas na região subtropical também foi observado em outros estudos, como os de Handoh *et al.* (2006a e 2006b) e Mo e Häkkinen (2001).

Observa-se, em MAM, uma diminuição das anomalias sobre o AT, apresentando-se com valores climatológicos. No HS, na Costa Africana, verificam-se apenas anomalias positivas, configuração observada no trabalho de Ferreira e Alves (2003). Também foi notada, no HS, APNM positiva nos subtrópicos. No HN observa-se a intensificação das anomalias negativas visualizadas no trimestre anterior, abrangendo toda a área compreendida entre 20 e 60°N.

No inverno do HS (JJA – Figura 4.10d), observa-se que, praticamente, todo o Atlântico apresentou valores de APNM em torno da média climatológica, com exceção de dois núcleos de anomalias negativas, um localizado no Atlântico subpolar e outro na região do Caribe.

A célula de Walker, que é modificada em anos de eventos ENOS (KOUSKY *et al.*, 1984; WANG, 2002a; GARCIA e KAYANO, 2008), pode ser visualizada na Figura 4.11. Nessa figura, pode-se observar a circulação zonal média para 50 anos (1948-1997), representada pelas setas na cor azul, além das modificações ocorridas na célula em anos de EN, através das composições para 14 anos de eventos selecionados, com setas em vermelho.

No trimestre SON, Figura 4.11a (fase de desenvolvimento do evento no Pacífico), observa-se que há uma diminuição dos movimentos descendentes em baixos níveis no Pacífico leste e central (em torno de 150°W). No Pacífico Central, foi observada uma mudança na circulação que, em média, apresentou movimentos descendentes, e que nas composições dos anos de EN (setas vermelhas) já podem visualizar movimentos ascendentes que são mais intensos no Pacífico, a oeste de 150°W. Notam-se ainda nessa figura, três regiões de intensos movimentos ascendentes, uma em

torno de 65°W , outra em torno de 20°E , e nos baixos níveis ao lado da costa oeste da América do Sul (aproximadamente 80°W). Esses movimentos, provavelmente, estão associados, respectivamente, às fontes de calor sobre a Amazônia e África (regiões de florestas tropicais e alta convecção) e ao aquecimento das TSM na região do Nino 1+2, que, durante anos de EN, apresenta região com TSM elevadas.

Na fase madura do evento (DJF - Figura 4.11b), são observadas as maiores modificações na célula de Walker. Verifica-se que a célula encontrou-se confinada nos níveis acima de 700 hPa e deslocou-se para leste, ou seja, os movimentos ascendentes ocorreram no Pacífico central. Nos baixos níveis, nota-se o movimento ascendente associado com o aquecimento da baixa atmosfera, resultado da elevação da TSM. Os movimentos ascendentes que foram mais intensos sobre o NEB (setas em azul), nesse período (verão), devido ao maior aquecimento da superfície, apresentam-se um pouco reduzidos (setas em vermelho) em anos de eventos EN, devido, provavelmente, às mudanças que ocorrem nessa célula.

No trimestre MAM (Figura 4.11c), a célula tende aos seus padrões climatológicos. Contudo, pode ser observada, na costa oeste da América do Sul, diminuição dos movimentos descendentes e um aumento no Pacífico central leste. Verificam-se, sobre a região do NEB e Amazônia, movimentos ascendentes intensos, porém esse comportamento também é apresentado no campo médio (setas azuis).

No inverno do HS - JJA, nota-se um pequeno aumento dos movimentos ascendentes sobre o NEB. No Pacífico central, é verificada a diminuição dos movimentos ascendentes, que pode estar relacionada com o resfriamento das águas equatoriais nesse período (Figura 4.9d). Nesse trimestre, a célula de Walker mostrou-se bem configurada em todos os níveis da atmosfera.

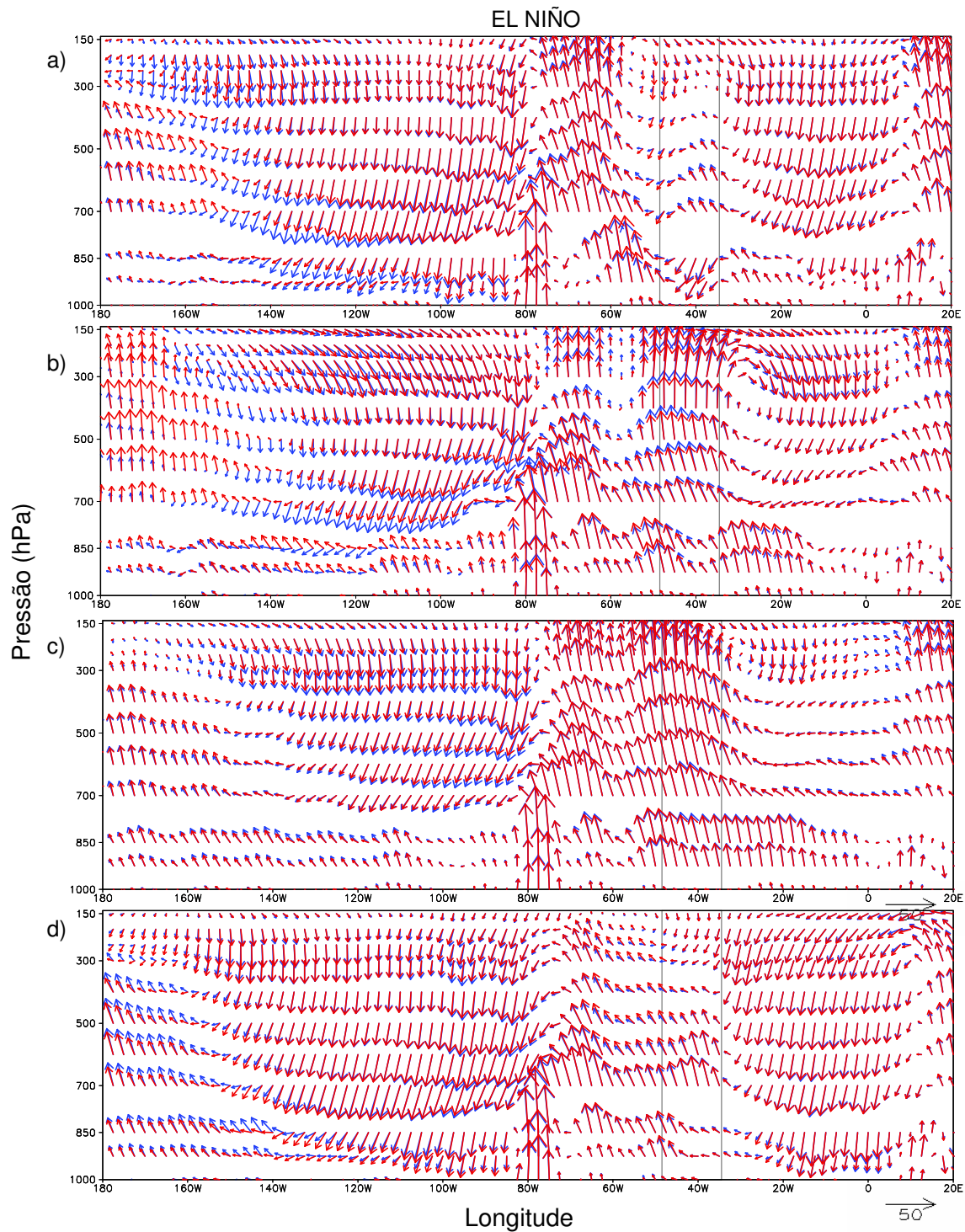


Figura 4.11 – Composições sazonais da seção zonal de $(u, -\omega)$ média entre 0° e 10°S em anos de **El Niño** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos EN), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

A Figura 4.12 mostra as composições sazonais para a célula de Hadley em anos de eventos EN. No trimestre SON (Figura 4.12a), observa-se que essa circulação em termos climatológicos (setas azuis) apresentou movimentos ascendentes em baixos níveis em praticamente todo o HS, com intensidade maior entre as latitudes de 10°S e 5°S. No HN, são observados movimentos ascendentes nos níveis acima de 700 hPa na região, compreendidas entre o equador e 10°N, aproximadamente, e movimentos descendentes acima de 10°N. Nos compostos de eventos EN (setas vermelhas), foi verificado que, em geral, toda a circulação foi desintensificada.

No trimestre seguinte - DJF (Figura 4.12b), época de maior aquecimento da região tropical, verifica-se que essa célula esteve mais definida e com movimentos mais intensos que o trimestre anterior. As composições para os anos de EN, nesse trimestre, mostraram uma pequena intensificação dos movimentos descendentes no HN entre 10°N e 30°N e uma pequena redução dos movimentos ascendentes sobre a região equatorial.

As maiores diferenças entre a climatologia e a composição, encontradas na célula de Hadley, foram no trimestre MAM. É interessante ressaltar que, no NEB, essa célula apresentou maior intensidade nesse trimestre, enquanto, a célula de Walker se deu no trimestre DJF. Esse é o principal trimestre das chuvas para a região norte e o período pré-chuvoso para o leste. Observa-se que houve uma redução de todos os movimentos da célula, ou seja, diminuição dos movimentos ascendentes sobre a região equatorial (5°S e 5°N) inibindo a formação de nuvens sobre o leste do NEB e a redução dos movimentos descendentes no HN (Figura 4.12c). Em geral, nos anos de eventos EN, a célula de Hadley ficou menos intensa nesse trimestre.

Em JJA, a célula (Figura 4.12d) apresentou movimentos ascendentes no HN até a latitude de 10°N. No HS, em praticamente toda a extensão, visualizam-se movimentos descendentes, com exceção da pequena região entre 7,5°S e o equador, que apresentou movimentos ascendentes em níveis mais baixos que nas composições de EN (setas vermelhas). Em linhas gerais, os movimentos dessa célula no trimestre JJA apresentaram, em sua maior parte, os padrões climatológicos.

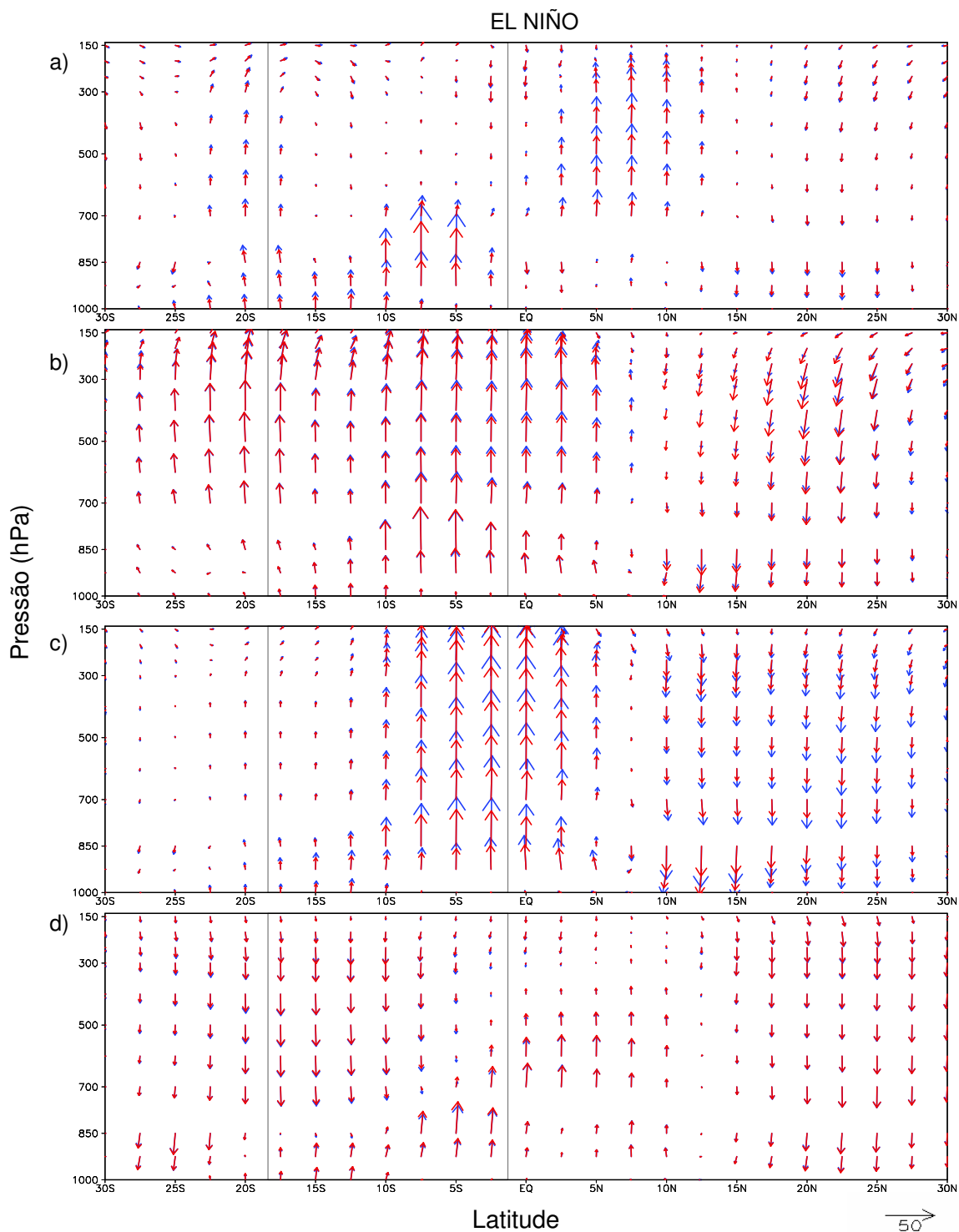


Figura 4.12 – Composições sazonais da **seção meridional de $(v, -\omega)$** média entre 50°W e 34°W em anos de **El Niño** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos EN), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

As composições da circulação em baixos níveis (850 hPa) mostraram que são bastantes similares com a climatologia.

As circulações anômalas em baixos níveis nos anos de eventos EN (em relação à climatologia) apresentaram algumas circulações anômalas interessantes.

O que pode ser observado, no trimestre SON (Figura 4.13a), são anomalias anticiclônicas, uma sobre a África, que gera um escoamento anômalo no sentido nordeste-sudoeste, e outra na América do Sul.

Em DJF (Figura 4.13b), a circulação anômala sobre a América do Sul desintensifica. Observa-se uma anomalia anticiclônica no ATS que sugere uma intensificação da alta subtropical do Atlântico Sul, bem como pode ser observado que houve um deslocamento para norte do centro dessa alta. Visualiza-se, também, uma circulação ciclônica anômala ao norte da América do Sul.

A circulação sobre a América do Sul ainda continua com intensidade pequena em MAM, porém foi observado que em JJA, ela volta a intensificar-se.

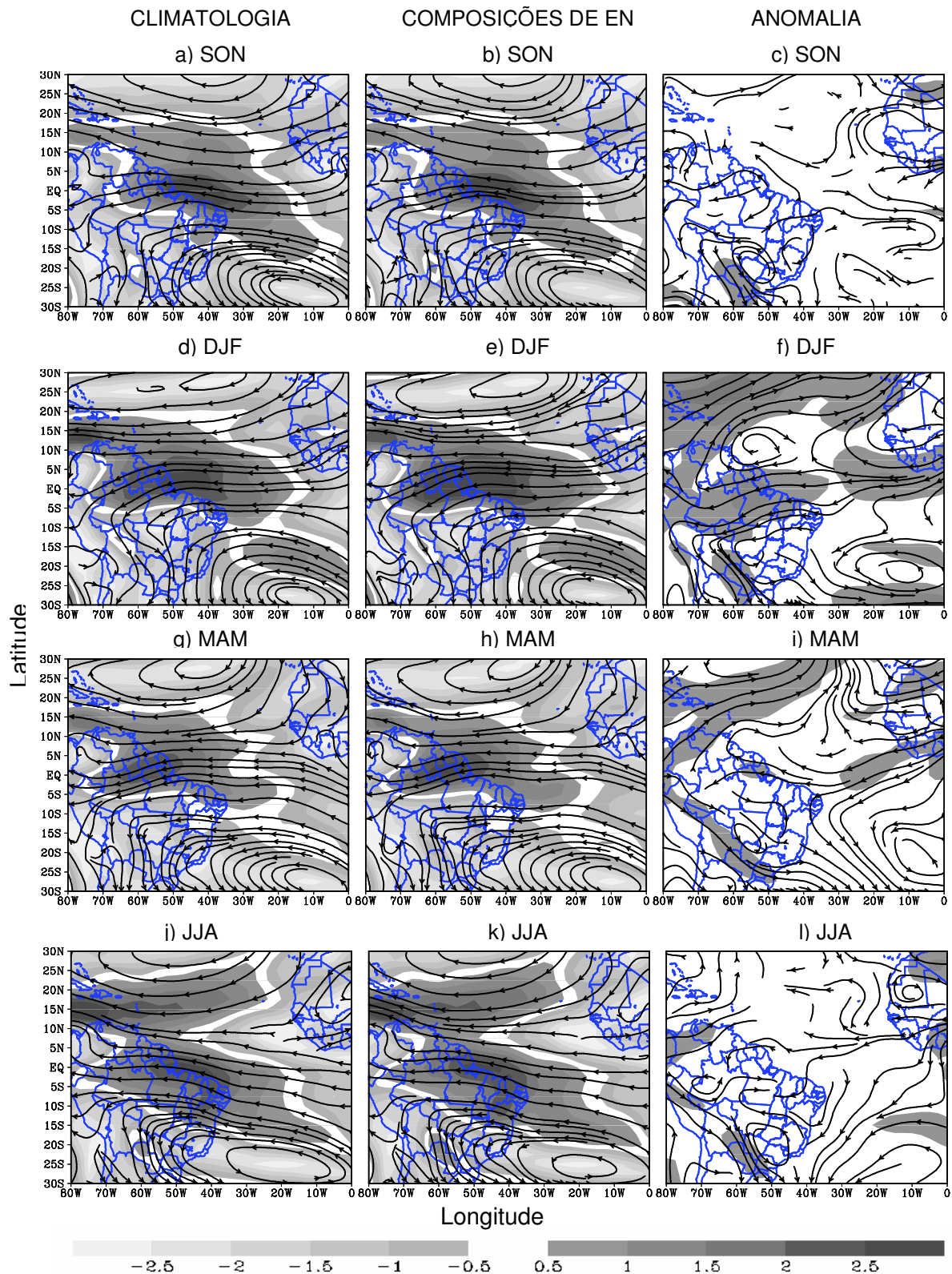


Figura 4.13 - Composições sazonais da **circulação** no nível de **850 hPa**. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de EN (14 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

As composições sazonais da circulação no nível de 200 hPa (Figura 4.14 – figuras centrais) em anos de EN, mostram que, no trimestre SON, a Alta da Bolívia (AB) encontrou-se em sua posição climatológica (Figura 4.14a – climatologia), entretanto desintensificada. Em consequência disso, pode ser observado que o cavado sobre a região NEB, visualizado na climatologia (Figura 4.14a), apresentou-se com menor intensidade.

No trimestre seguinte (DJF), a AB deslocou-se para sul (Figuras 4.14d e 4.14e), isso pode ser notado, tanto na climatologia quanto nos compostos de EN. Esse padrão favorece a intensificação do cavado do Nordeste. Em MAM, a AB volta para sua posição mais ao norte, conforme climatologia. Nesse trimestre, também, observa-se que houve o desaparecimento do cavado do NEB e o escoamento encontra-se mais zonal.

Em JJA, na climatologia (Figura 4.14j), verifica-se a mudança no sentido do escoamento que, na região equatorial, foi de leste para oeste. A AB não está mais definida. Como em anos de eventos EN, nesse período, o fenômeno já não está mais configurado (salvo algumas exceções) e o composto mostra, no geral, padrões climatológicos.

As diferenças entre os dois campos (composições de EN menos a climatologia) mostraram circulações anômalas que surgem durante os eventos EN (Figura 4.14 - lado direito). Na Figura 4.14c, anomalias da circulação em SON mostram um escoamento anômalo de oeste para leste na região equatorial, apresentando ao sul uma baixa anômala subdividida em dois núcleos.

No trimestre seguinte (DJF), observa-se que o escoamento de oeste para leste se intensificou sobre a área de 5°N e 10°S, gerando duas baixas anômalas intensas, de cada lado do equador. Em MAM (Figura 4.14i), ainda, pode-se verificar o escoamento anômalo bem como as duas circulações ciclônicas anômalas, entretanto, com menor intensidade em relação ao período anterior. No trimestre JJA, observa-se uma mudança total das anomalias visualizadas no trimestre MAM, ou seja, é visualizada uma circulação anômala sobre o equador, na costa norte do Brasil.

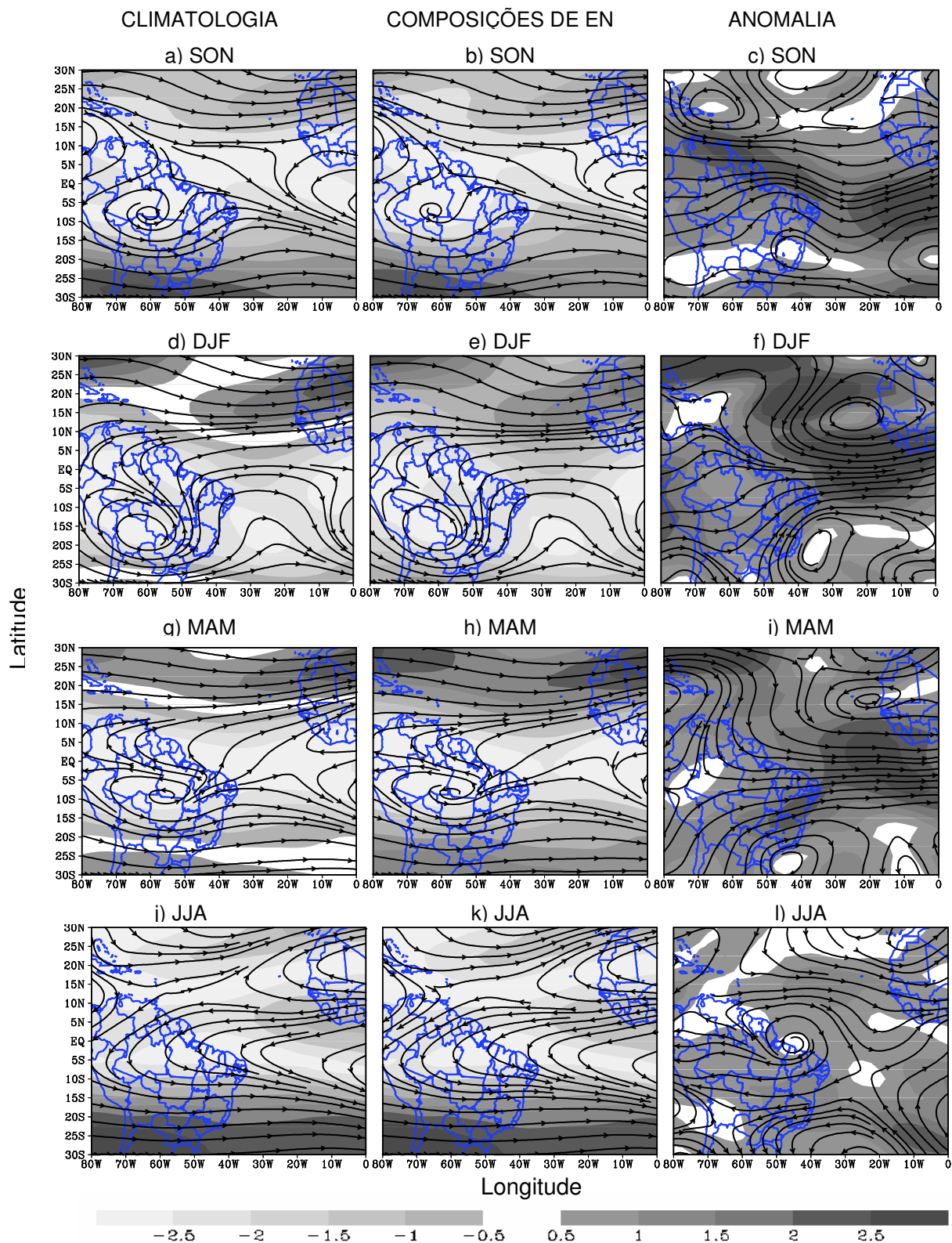


Figura 4.14 - Composições sazonais da **circulação** no nível de **200 hPa**. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de EN (14 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

A análise das composições de divergência limitar-se-á às anomalias observadas basicamente sobre a região NEB, embora tenham sido observados vários núcleos de anomalias distribuídos em toda a extensão das Figuras 4.15 e 4.16.

A climatologia da divergência horizontal de massa em baixos níveis - 850 hPa foi mostrada na Figura 4.15 (lado esquerdo). Sobre todo o leste do NEB, verifica-se divergência em todos os trimestres, com maiores intensidades no inverno e primavera no HS (JJA e SON, respectivamente). Na região central do Brasil, observa-se convergência de massa mais intensa nos meses mais quentes, ou seja, primavera e verão (SON e DJF).

Com relação às anomalias do trimestre SON nas composições de EN em baixos níveis (Figura 4.15b), observa-se convergência anômala sobre, praticamente, todo o NEB, com exceção do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão, indicando que os movimentos descendentes de larga escala, observados na climatologia (figura 4.15a), prevaleceram sobre todo o leste, porém com intensidade diminuída. Nos Estados citados anteriormente, nota-se, em geral, que a convergência observada na climatologia, em anos de EN foi reduzida.

No verão do HS (DJF – Figura 4.15d), nota-se uma divergência anômala em todo o NEB, sugerindo que a convergência do fluxo de massa sobre o NEB foi reduzida ou até revertida, inibindo a formação de nuvens. Nos meses de MAM, continua a observar divergência anômala no NEB. Contudo, em relação ao trimestre anterior, elas são reduzidas, apresentando intensidades maiores sobre o norte e leste do NEB.

Em JJA, observou-se que a divergência, vista na climatologia, foi diminuída em anos de EN sobre o leste e sul do NEB. Sobre o norte do NEB, a convergência esteve mais intensa (Figura 4.15h).

No nível de 200 hPa (Figura 4.16, lado esquerdo), os padrões climatológicos da divergência mostraram um padrão coerente com os apresentados em baixos níveis, isso devido aos princípios fundamentais da continuidade de massa, segundo os quais onde há convergência em baixos níveis, observa-se divergência em altitude, e vice-versa.

Apresentaram, também, consistência com a circulação mostrada anteriormente (Figura 4.14).

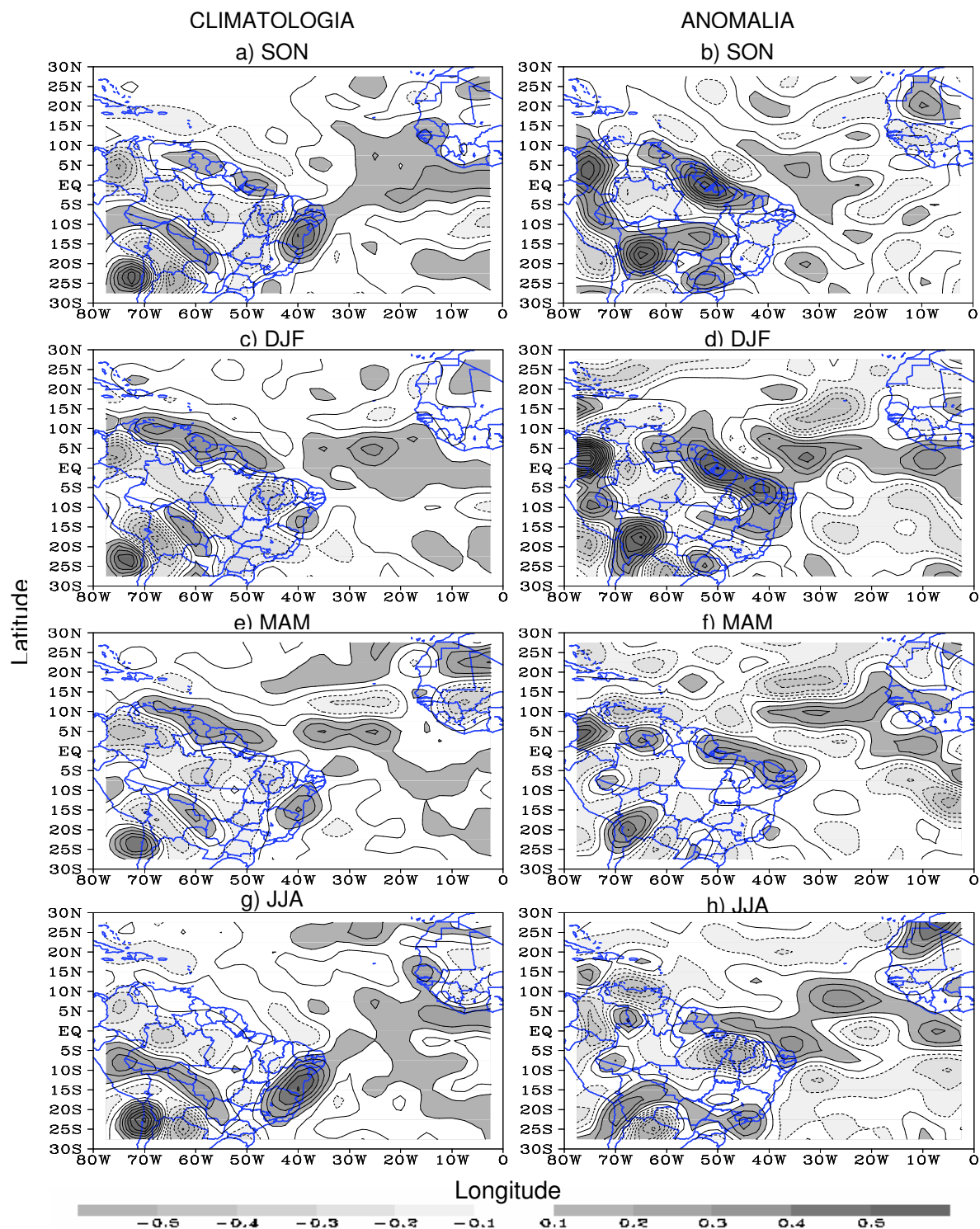


Figura 4.15 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de **850 hPa** para os anos de eventos EN para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

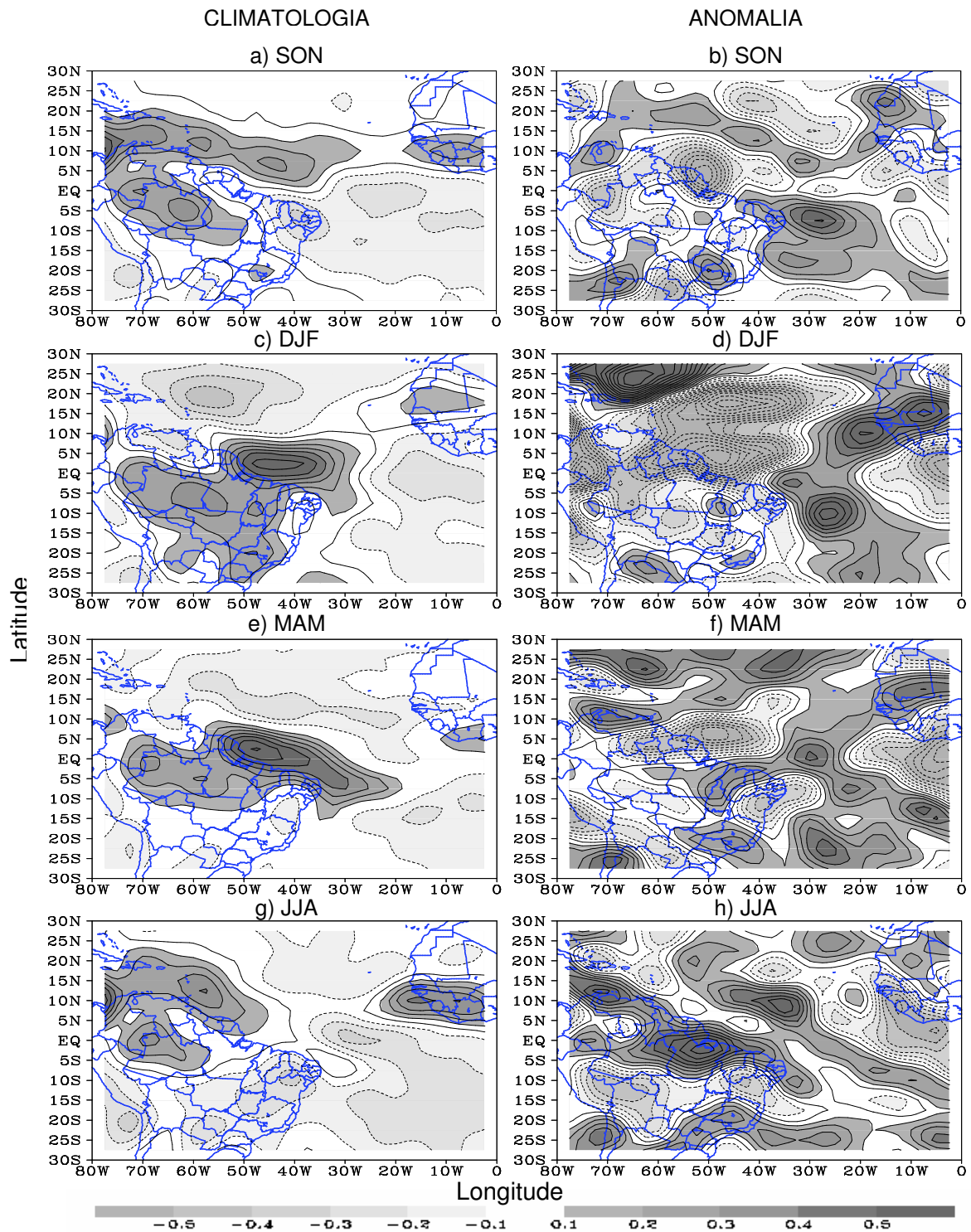


Figura 4.16 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de **200 hPa** para os anos de eventos **EN** para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Com relação à climatologia, verifica-se, no trimestre SON (Figura 4.16a), convergência sobre todo o NEB, associada ao cavado sobre a região, e divergência sobre a região da Amazônia relacionada com a AB.

No trimestre posterior - DJF (Figura 4.16c), observa-se que a área divergente se expandiu abrangendo praticamente todo o Brasil, que também pode ser visualizada no campo da circulação, através da expansão da AB.

Em MAM, nota-se que a região de divergência permaneceu sobre o norte e leste do NEB. Tem-se sobre o Estado da Bahia e Minas Gerais, nesse trimestre, um núcleo de convergência. No inverno do HS (Figura 4.16d – JJA), verifica-se que a convergência dominou todo o NEB, incluindo o Centro-Oeste.

Na Figura 4.16 (lado direito), mostram-se as anomalias em altos níveis (200 hPa) nos anos de EN. Observa-se, no trimestre SON, divergência anômala sobre toda a costa do NEB, diminuindo a convergência que é visualizada na média climatológica. Convergência anômala foi verificada na parte oeste da Bahia e sul do Piauí e Maranhão.

No NEB, no trimestre DJF (Figura 4.16d), observam-se anomalias negativas, convergência, em praticamente toda a região. Nos meses da estação chuvosa no norte e pré-chuvosa no leste (MAM), nota-se uma anomalia positiva sobre o Maranhão, norte do Piauí e Ceará que reforça os movimentos divergentes, visualizados na climatologia. Sobre o leste e centro/sul são observadas anomalias negativas que intensificam os movimentos ascendentes sobre a Bahia e diminuem os movimentos descendentes climatológicos existentes sobre os Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

No trimestre seguinte (JJA), é observado que a convergência, sobre o NEB (Figura 4.16g), diminuiu sobre praticamente todo o NEB, a exceção foi observada na Bahia, sul do Piauí e Maranhão, em que a convergência foi intensificada.

Na Figura 4.17 são apresentados os campos das anomalias de precipitação entre a composição dos eventos EN e a climatologia (1948-1997), obtidos do conjunto de dados CPC.

A precipitação no Centro/Sul do NEB, em anos de evento EN, apresentou anomalias positivas (chuvas acima da média) no trimestre DJF, estação chuvosa para a região (Figura 4.17b).

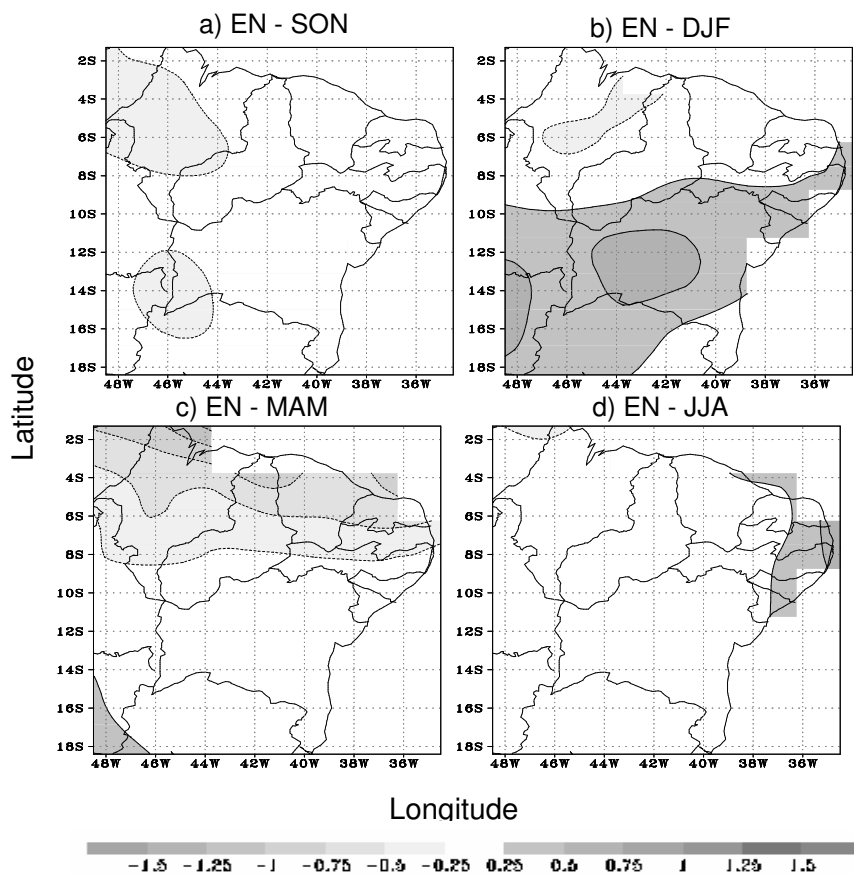


Figura 4.17 - Composições sazonais das **anomalias da precipitação** com dados do CPC (mm/dia) em anos de eventos **EN** para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Sobre a região Norte, tal qual assinalado por Andreoli e Kayano (2007), verifica-se o déficit da precipitação no período MAM (Figura 4.17c). Essas anomalias podem estar associadas à influencia do EN sobre as ATSM no ATN através de uma “ponte atmosférica” semelhante ao padrão de teleconexão Pacífico-América do Norte PNA¹ gerando um aquecimento no ATN (Handoh *et al.* 2006a), que, por conseguinte, geram um GRADM positivo que desloca a ZCIT para sua posição mais ao norte, como discutido por Nobre e Shukla (1996).

¹ Pacific-North American

A região leste é influenciada nos períodos DJF, MAM e JJA, apresentando oscilações entre anomalias negativas e positivas. Entretanto, verifica-se que essas anomalias não estão definidas para toda a região uniformemente.

4.3.2 COMPOSIÇÕES ASSOCIADAS AO EVENTO LA NIÑA

As composições das ATSM para os 13 anos de eventos LN são mostrados na Figura 4.18. Observam-se anomalias negativas no Pacífico Equatorial no trimestre SON, mostrando o evento LN configurado. Essas ATSM negativas ficaram confinadas na faixa compreendida entre 25°N e 20°S e são cercadas ao norte e ao sul por anomalias positivas.

No trimestre DJF, as anomalias negativas permaneceram na mesma área. Porém, nota-se que as regiões de máximas anomalias encontram-se deslocadas para o Pacífico Central, que antes estavam próximas à costa do Peru.

No outono do HS - MAM (Figura 4.18c), as anomalias apareceram em forma de um “v” deitado e nota-se o desenvolvimento de um pequeno núcleo de ATSM positiva próximo à costa oeste da América do Sul.

Em JJA, ainda sobre o Pacífico, permaneceu o mesmo padrão do trimestre anterior, contudo, observa-se que o núcleo próximo à costa no trimestre MAM intensificou um pouco e surge outro núcleo de anomalias positivas também na região equatorial em torno de 120°W.

Em relação ao Oceano Atlântico, o padrão da ATSM nos meses de SON (Figura 4.18a) encontrou-se em torno da climatologia na região equatorial. Acima de 15°N bem como abaixo de 15°S observam-se núcleos de anomalias negativas com pouca intensidade. Um núcleo de anomalia pequena positiva pode ser visualizado na costa da África.

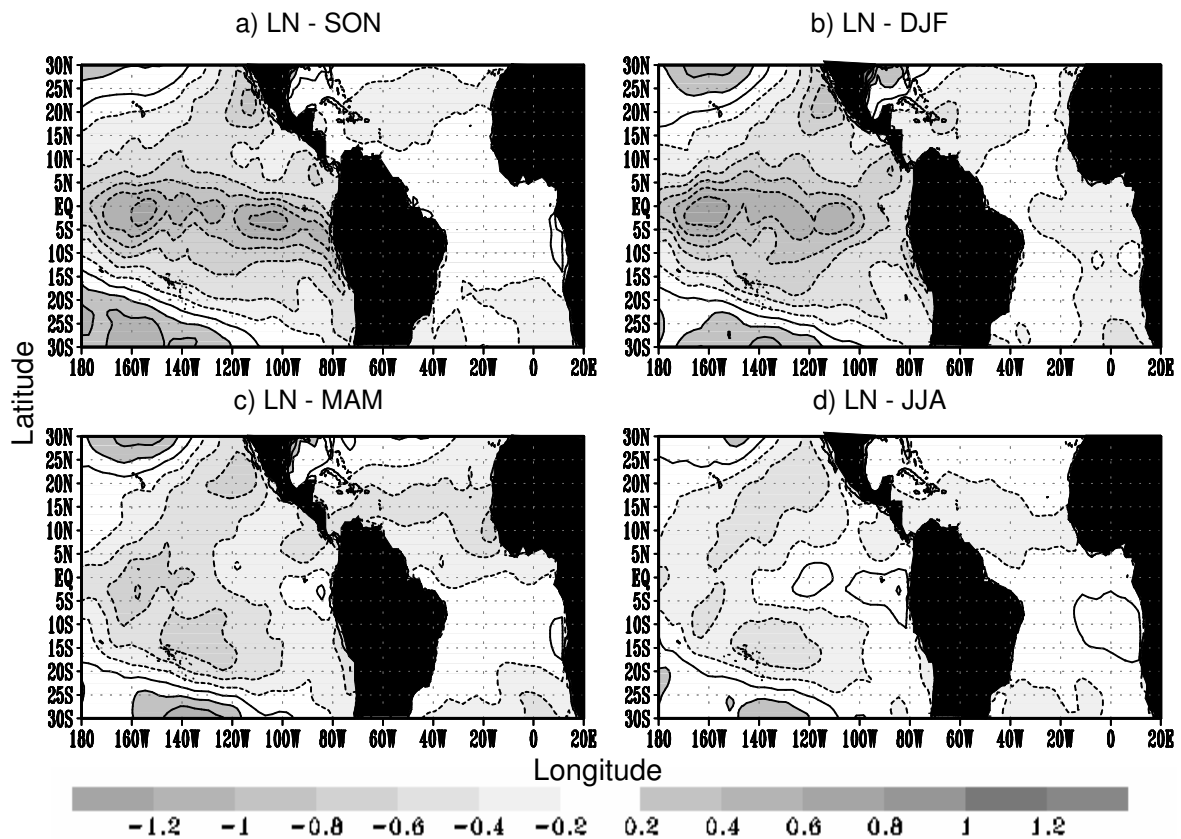


Figura 4.18 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

No trimestre seguinte (DJF), visualiza-se no ATN, o desenvolvimento das anomalias negativas contidas nessa área no trimestre anterior, apresentando maiores valores na região do Caribe. No ATS, nesse trimestre, observam-se anomalias negativas próximas à costa da África. No entanto, ainda, verifica-se a região com anomalia positiva bem pequena em torno de aproximadamente 12°S.

Durante MAM, observa-se, ao norte do equador, o desenvolvimento da área de anomalias negativas que abrangem toda a extensão zonal no ATN, Figura 4.18c (também mostrado por Andreoli e Kayano, 2007; Ferreira e Alves, 2003). As anomalias negativas na costa Africana diminuíram na costa e ficaram restritas ao sul de 25° S. Além disso, observa-se um núcleo pequeno de anomalia positiva em torno de 15° S na costa da África.

Em JJA pode ser notada a diminuição das anomalias no ATN, bem como, no ATS. Observa-se, neste trimestre, o aumento e deslocamento para noroeste da área de anomalias positivas na costa Africana.

As composições para as APNM (Figura 4.19), na estação da primavera do HS (SON), mostraram que o padrão são anomalias positivas sobre as regiões em que houve o resfriamento das águas sobre o Pacífico (Figura 4.18a), ou seja, toda a área tropical, só sendo observadas anomalias negativas situadas em 180°W nas latitudes de 30°S e 30°N . Outro núcleo de anomalias negativas bastante intensas é verificado nos subtrópicos, centrado em 120°W e 60°S .

O mesmo padrão visualizado na faixa tropical continua no trimestre seguinte, DJF. Nota-se que a região de baixa pressão situada nas latitudes médias no Pacífico, nos meses SON, expandiu-se e deslocou-se para nordeste em DJF.

Observa-se, em MAM, o enfraquecimento das APNM sobre o Pacífico Tropical, encontrando-se com valores em torno da média climatológica. Todavia, há um aumento da área das baixas pressões na latitude de 30°S . A baixa pressão nos subtrópicos continua sua trajetória para leste. No inverno do HS (JJA), os mesmos padrões do trimestre anterior continuaram a serem observados.

Observa-se, sobre o Atlântico Tropical nos três primeiros trimestres, que as APNM possuem valores negativos com maior intensidade no período DJF. Nas latitudes médias do Oceano Atlântico, nota-se, em SON valores da APNM positivas. Essas pressões mais altas sobre o ATS (ATN) diminuem (aumentam) no trimestre posterior, MAM.

Em MAM (Figura 4.19c), observa-se que o ATS apresenta APNM negativas em toda a sua extensão (por exemplo, Ferreira e Alves, 2003). Sobre o ATN, observa-se que o núcleo de anomalias positivas diminuiu sua intensidade, e se subdividiu em três áreas que no trimestre JJA diminuem de intensidade, porém, ainda podem ser observadas pressões acima da média.

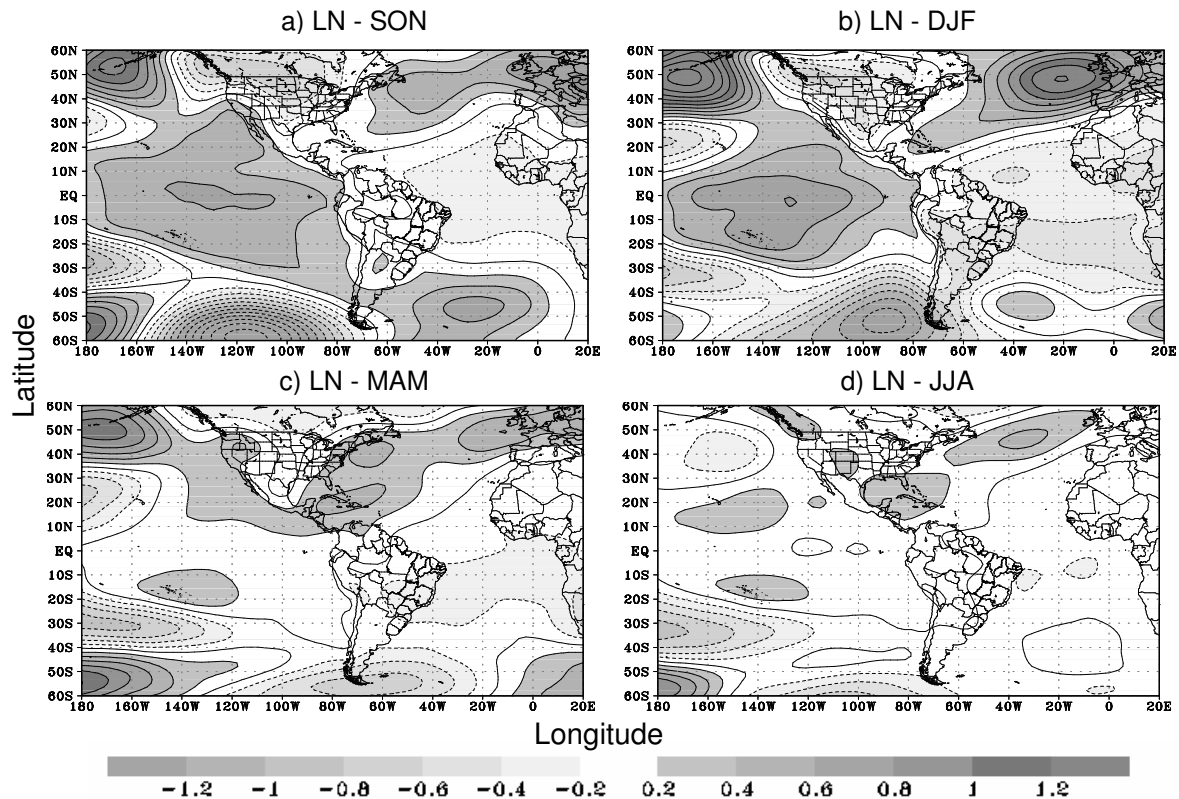


Figura 4.19 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

No trimestre JJA, as anomalias negativas no ATS restringiram-se a apenas alguns núcleos situados na latitude de 10°S. O restante da área mostrou valores climatológicos.

A célula de Walker nos compostos de eventos La Niña (Figura 4.20), mostrou as modificações durante estes eventos desde o trimestre SON. As setas em azul representam o padrão da célula climatológica (50 anos – 1948/1997) e as em vermelho, as composições para os 13 anos de eventos LN.

Pode-se verificar, na Figura 4.20^a, que, sobre todo o Pacífico Leste e Central, uma intensificação dos movimentos descendentes associados ao resfriamento das TSM verificado aos eventos LN. Sobre as regiões de maiores movimentos ascendentes (Amazônia e África), observa-se que, no trimestre SON, existe um pequeno aumento desses movimentos em níveis superiores. Na região NEB (área compreendida entre as

duas retas verticais cinza) foi notado que, nos níveis acima de 700 hPa, os movimentos ascendentes apareceram um pouco mais intensos que a climatologia.

No trimestre seguinte (DJF – Figura 4.20b), em que sobre o NEB há um aumento natural dos movimentos ascendentes, verifica-se que, nas composições de eventos LN, eles apresentam-se mais intensos. No Pacífico, têm-se, assim como no trimestre anterior, movimentos descendentes intensos na área leste e central, reduzidos ou até invertidos em torno de 170°W-180°W.

Em MAM (Figura 4.20c), ainda foi observado aumento dos movimentos ascendentes sobre o NEB, Amazônia e África. Sobre o Pacífico, nota-se que a célula tende a voltar às suas características climatológicas, entretanto continuam a ser observados sobre a costa do Peru, movimentos descendentes mais intensos em concordância com as ATSM. Ao mesmo tempo, verifica-se que os movimentos ascendentes no Pacífico Central apresentaram-se reduzidos.

No inverno do HS (JJA), foram observados, sobre o Pacífico, os mesmos padrões do trimestre anterior, todavia com intensidades menores. Sobre o NEB, observam-se movimentos ascendentes mais fortes que a média, favorecendo assim, o aumento da convecção.

Na Figura 4.21, podem se observar as mudanças ocorridas na célula de Hadley. Em SON, já é observada a diminuição dos movimentos ascendentes, bem como os movimentos descendentes sobre o HS e HN.

No trimestre de verão do HS (DJF - Figura 4.21b), observa-se que a célula de Hadley esteve bem configurada e pode ser verificado (setas vermelhas - composições de LN) o aumento dos movimentos ascendentes no HS e no HN até 5°N. Os movimentos descendentes a partir de 7,5°N apresentaram-se reduzidos apesar do resfriamento das TSM na região.

No trimestre seguinte (MAM – Figura 4.21c), observa-se que os movimentos ascendentes climatológicos mais intensos, confinados na região equatorial, foram

reduzidos nas composições dos eventos LN (setas vermelhas). Da mesma forma, nota-se que os movimentos descendentes no HN apresentaram-se reduzidos.

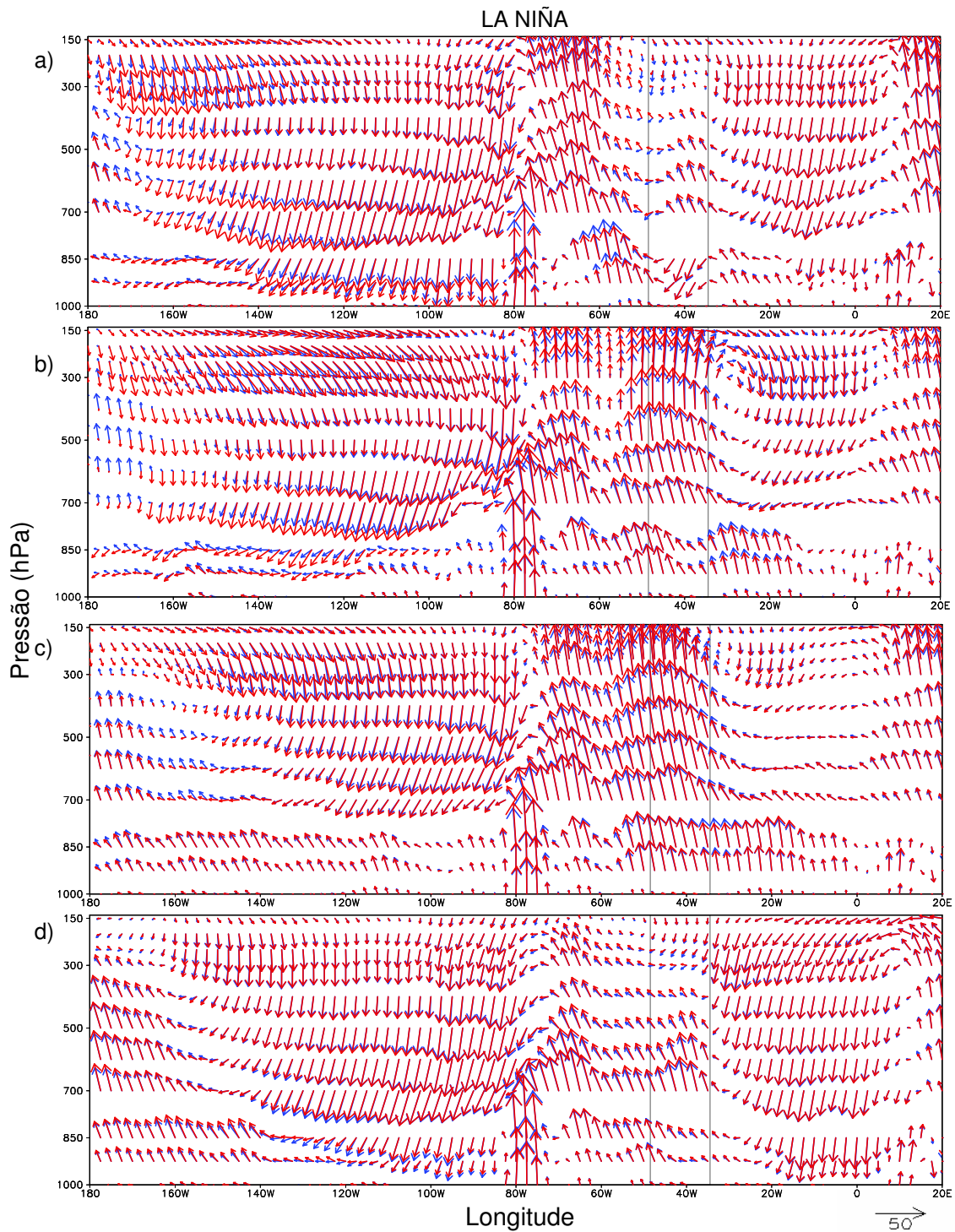


Figura 4.20 – Composições sazonais da seção zonal de $(u, -\omega)$ média entre 0° e 10°S em anos de **La Niña** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

Em JJA, observa-se que o ramo ascendente dessa célula esteve, basicamente, ao norte do equador, apresentando um pequeno aumento nas composições de LN. Os outros movimentos associados a essa célula tenderam a padrões climatológicos.

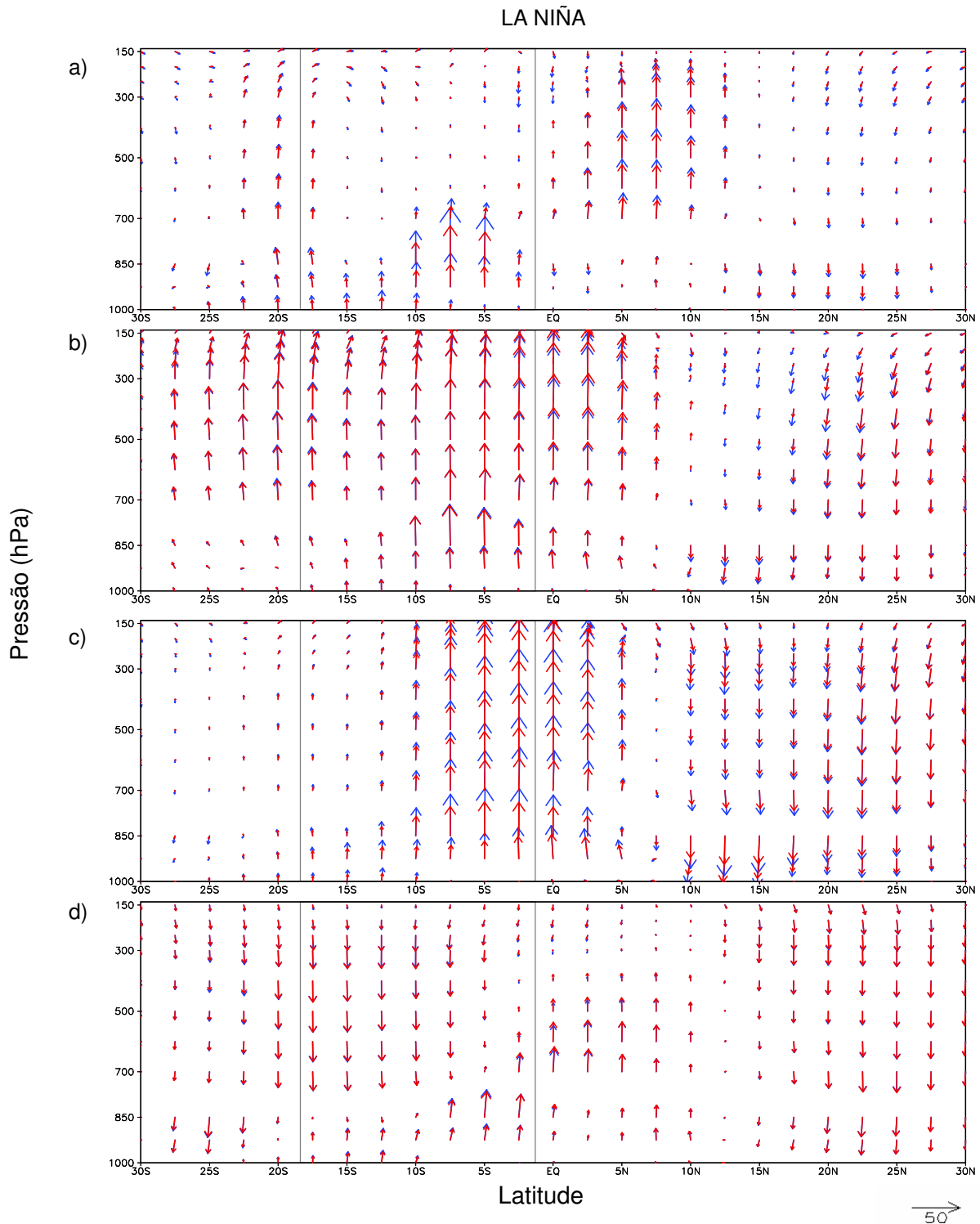


Figura 4.21 – Composições sazonais da **seção meridional de (v,- ω)** média entre 50°W e 34°W em anos de **La Niña** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

A circulação em baixos níveis durante os anos de LN foi apresentada na Figura 4.22. Da mesma forma que visualizada nas composições para os anos de EN, as diferenças observadas entre as composições e a climatologia são pequenas. Entretanto, quando se analisou as anomalias desse campo, podem ser verificadas as circulações anômalas existentes nesses anos com LN.

Sobre a América do Sul, podem ser verificadas no trimestre SON (Figura 4.22c), anomalias ciclônicas e anticiclônica. Essas ganham intensidade e deslocam-se para sul no trimestre DJF, a circulação anticiclônica (Figura 4.22f), no HS, apresentou inclusive uma intensidade expressiva. Essa configuração permaneceu nos dois trimestres seguintes. No Atlântico sul, verifica-se uma circulação anômala ciclônica o que sugere que a alta subtropical é enfraquecida, isso se observa, com maior clareza, a partir do trimestre DJF. Já no Atlântico norte, tem-se que a alta é intensificada, haja vista a circulação anômala anticiclônica nessa região.

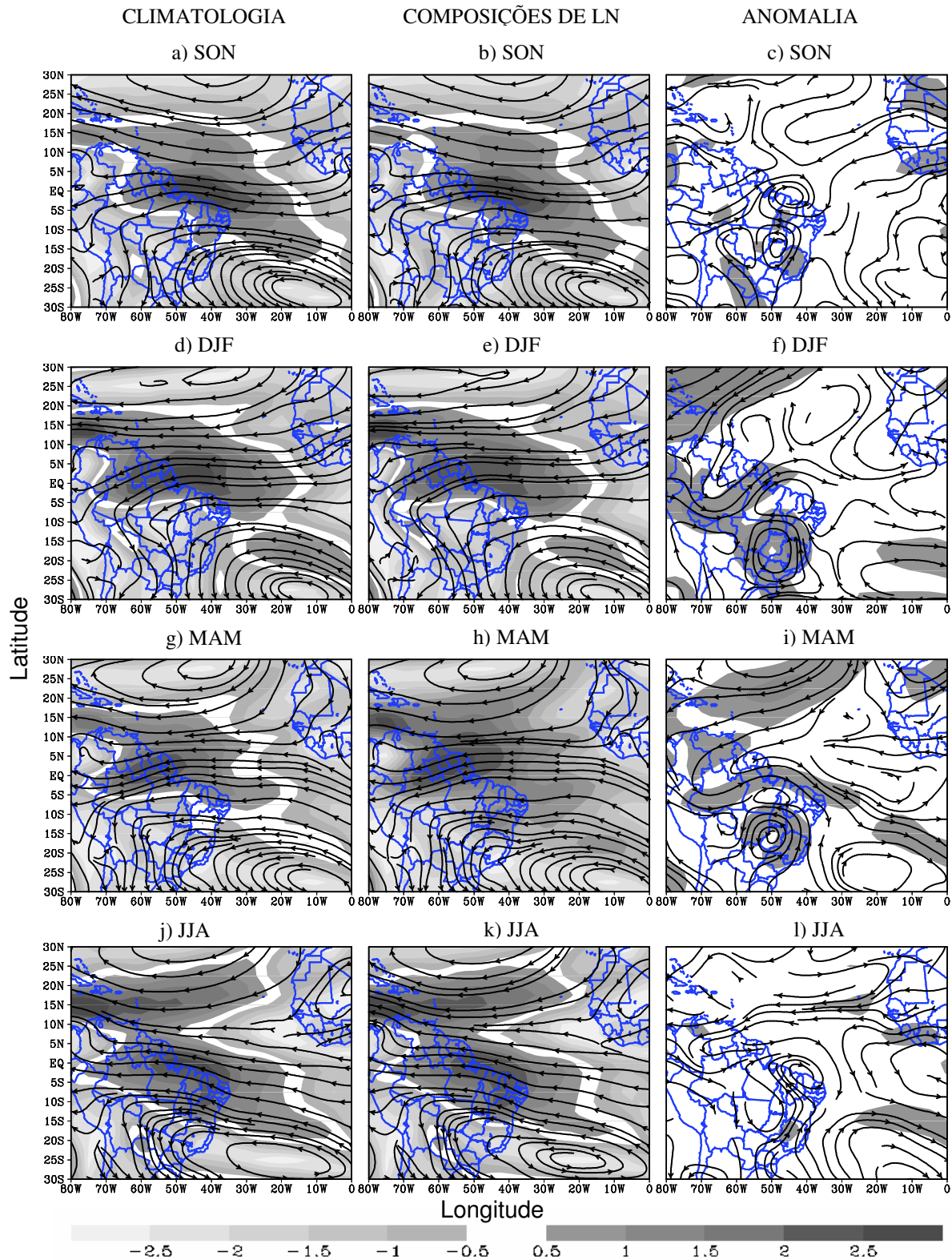


Figura 4.22 - Composições sazonais da **circulação** no nível de 850 hPa. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de LN (13 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

A circulação em altos níveis (200 hPa) mostra que, nos anos de LN, em SON (Figura 4.23b), a Alta da Bolívia (AB) encontrou-se na sua posição climatológica (Figura 4.23a). O escoamento de noroeste-sudeste sobre o Atlântico encontrou-se aparentemente menos intenso que a climatologia.

Em DJF, observa-se que a AB se posicionou mais ao sul e ao leste de sua posição climatológica. O cavado do NEB, que é associado à alta, apresenta seu eixo com uma inclinação para o continente. Essa configuração pode aumentar a frequência de VCAN. Pode-se notar, também, nesse trimestre, que o escoamento em torno de 5°N apresentou-se deslocado, um pouco, para norte.

Nota-se que, em MAM (Figura 4.23h), o centro da AB esteve deslocado para sudeste em relação à climatologia, fazendo com que a área de difluência sobre o ATS se encontre mais ao sul da sua posição normal. O escoamento em torno de 10°N sobre o ATN, principalmente, na Costa Africana, encontrou-se menos intenso nos anos de LN. Tal qual observado na climatologia nos meses JJA (Figura 4.23j), também verifica-se uma mudança na direção do escoamento que passa a ser de leste. Observa-se que nesse período a AB não esteve configurada, possivelmente, devido a essa mudança.

Nas composições das anomalias da circulação (Figuras 4.23 - lado direito), podem ser observados maiores detalhes com relação às modificações ocorridas durante os eventos LN. Nessa figura, verifica-se que, em SON, há uma anomalia anticiclônica sobre o ATS e outra no ATN.

No trimestre DJF, observa-se, na região equatorial, o escoamento em direção contrária à climatologia e às composições, esses escoamentos são bastante intensos em 5°N e em 5°S sobre o Atlântico. A crista, observada no trimestre anterior no HN, deu origem a uma circulação anticiclônica anômala. No ATS, observou-se que a anomalia anticiclônica, visualizada no trimestre anterior, deslocou-se e expandiu-se para sudoeste.

Em MAM (Figura 4.23), ainda se verifica no ATS a alta anômala bastante intensa na costa da América do Sul e o escoamento anômalo na região equatorial, em torno de 5°S, basicamente, é de sudeste-noroeste. Nos meses de JJA (inverno no HS), observa-se um núcleo anticiclônico anômalo sobre o ATS, outro de anomalias

anticiclônicas sobre o norte da América do Sul, porém de magnitudes pequenas. Verifica-se que esta alta anômala sobre o norte da América do Sul, também, foi visualizada nos anos de eventos EN, porém nesses anos de LN, ela se apresentou mais para oeste.

As composições das anomalias de divergência horizontal foram mostradas na Figura 4.24 (lado direito) para os baixos níveis. Verificam-se em SON, no NEB, dois núcleos, um de divergência anômala e outro de convergência anômala, em oposição ao que ocorre climatologicamente (Figura 4.24a), indicando que os movimentos ascendentes (descendentes) sobre o sul do Maranhão e Piauí (praticamente sobre todo o NEB) são desintensificados. Isto é compatível com a célula de Hadley para esses anos de eventos LN, em que se observou a redução dos movimentos ascendentes (Figura 4.21a).

Nos trimestres seguintes (DJF, MAM e JJA), observa-se convergência anômala no NEB, aumentando a convergência nos baixos níveis sobre o norte do NEB e diminuindo os movimentos divergentes sobre a região sudeste. Verifica-se, assim, que nos anos de LN tem-se o favorecimento dos movimentos ascendentes e diminuição dos movimentos descendentes de grande escala que, geralmente, são observados no leste da região.

Em coerência com as anomalias visualizadas em baixos níveis, em 200 hPa verifica-se a grande área de movimentos anômalos divergentes, situada ao norte da América do Sul no trimestre SON (Figura 4.25b). Nota-se que essa anomalia, verificada no trimestre anterior, expande sua área e cobre toda a sub-região norte e leste do NEB nos meses seguintes (DJF), com exceção do sul da Bahia, Piauí e Maranhão.

As maiores divergências anômalas sobre o NEB são verificadas no trimestre MAM (Figura 4.25f), estação chuvosa do Norte do NEB e a estação pré-chuvosa para o leste. Contudo, observa-se que a convergência anômala que se apresenta no sul da região em estudo aumenta no trimestre JJA e tende a fortalecer a convergência já existente nos campo climatológico (Figura 4.25g), intensificando os movimentos descendentes de acordo com o campo verificado em baixos níveis (Figura 4.24g e 4.24h).

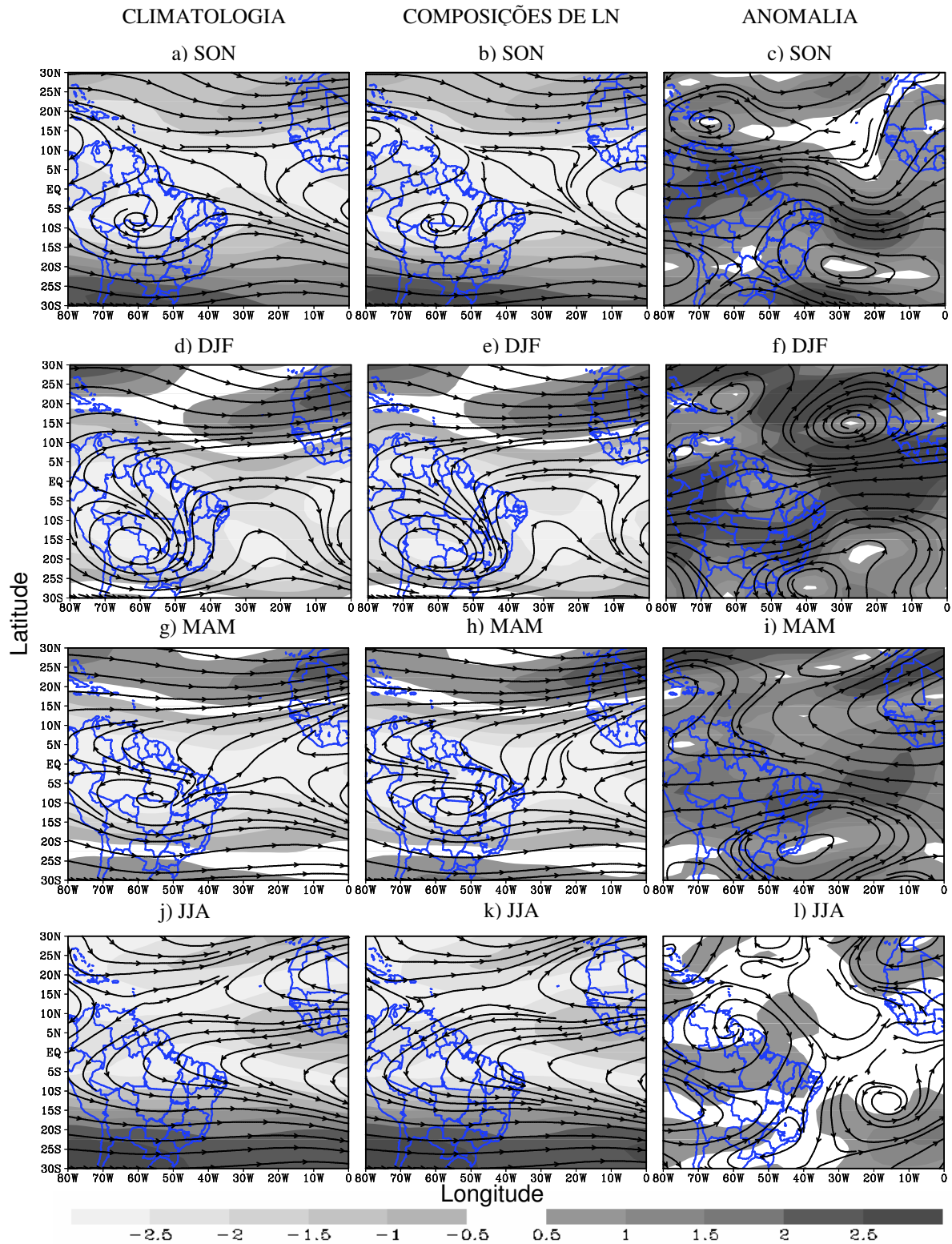


Figura 4.23 - Composições sazonais da **circulação** no nível de **200 hPa**. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos de LN (13 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

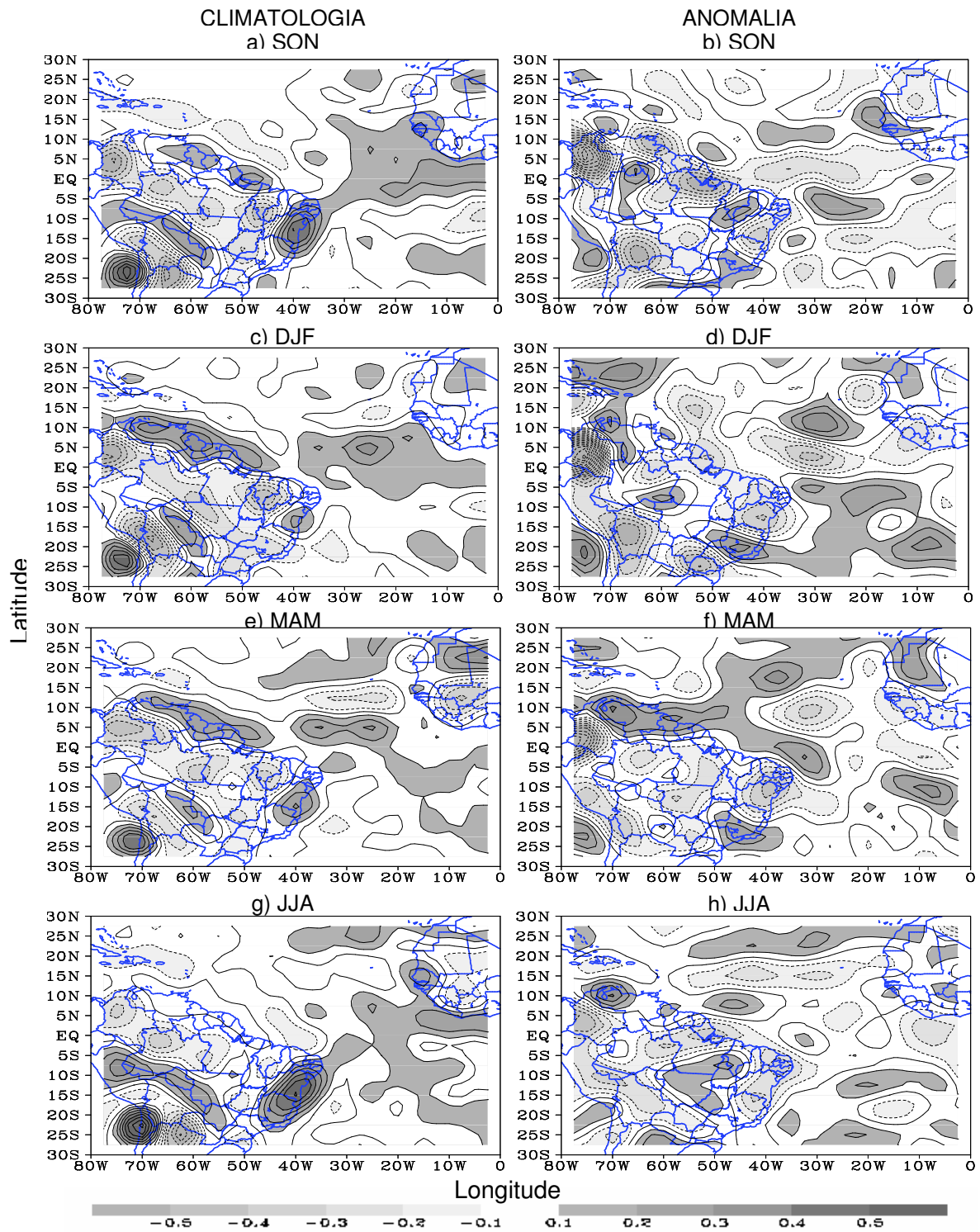


Figura 4.24 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de **850 hPa** para os anos de eventos LN para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

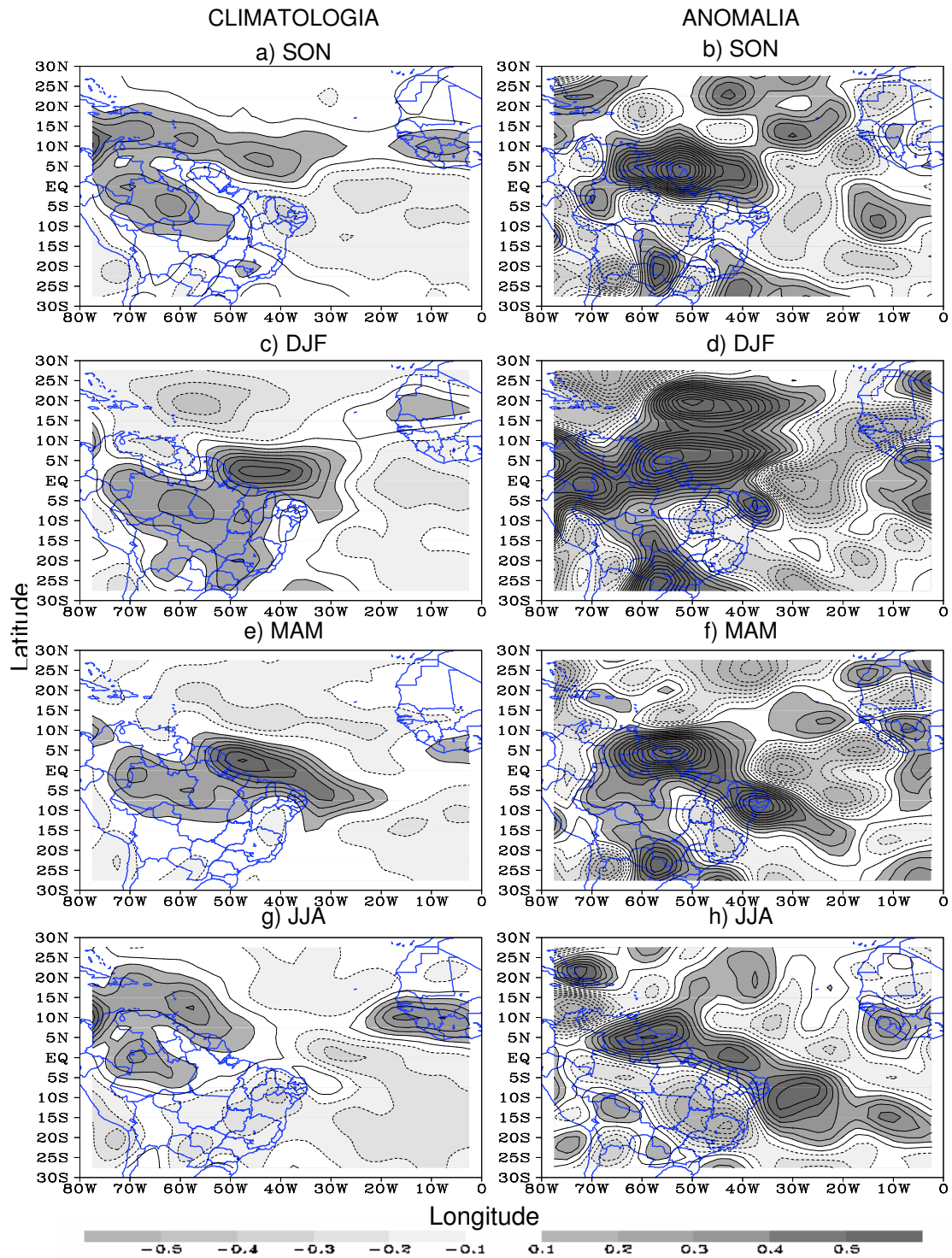


Figura 4.25 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de **200 hPa** para os anos de eventos LN para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

As composições sazonais para a precipitação em anos de eventos LN (Figura 4.26) mostraram anomalias positivas sobre o Estado da Bahia e Maranhão nos meses SON, estação pré-chuvosa para a sub-região centro/sul do NEB (REIS, 2006).

Nos meses seguintes (DJF), observam-se anomalias de precipitação negativas, indicando a diminuição de chuvas no período, o que está de acordo com resultados obtidos por Andreoli e Kayano (2007).

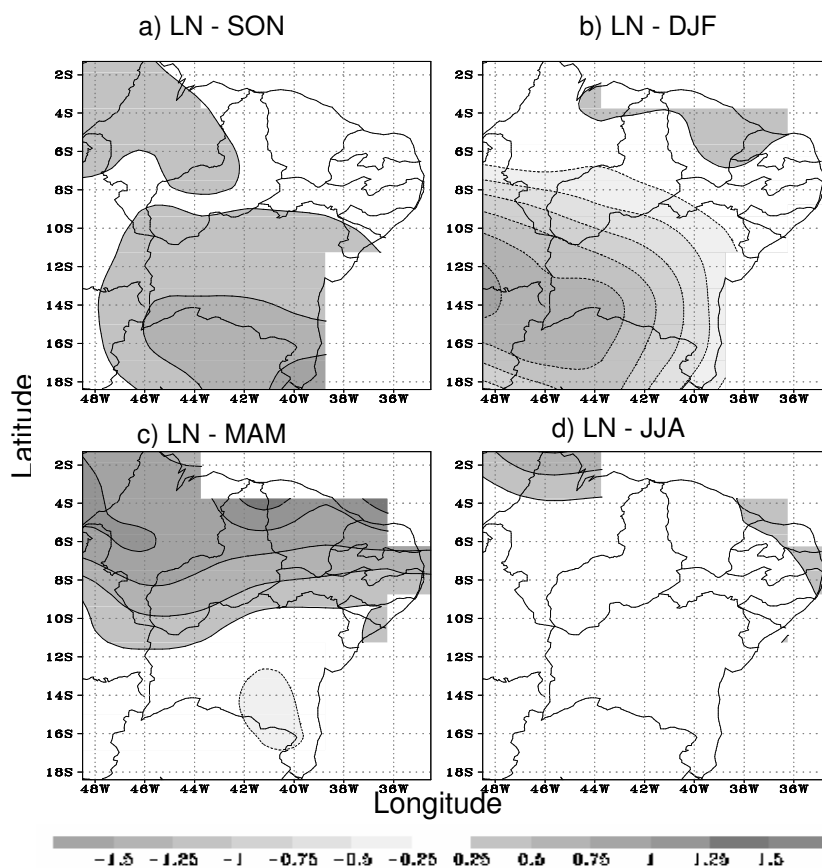


Figura 4.26 – Composições sazonais das **anomalias da precipitação** (mm/dia) observadas do CPC em anos de eventos LN para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Em MAM, principal trimestre chuvoso para o norte do NEB, observaram-se o aumento das precipitações, tanto no norte como no leste do NEB. Aparentemente, houve uma “inversão”, com desvios negativos ao sul de 12°S.

Durante JJA foram notados valores climatológicos em praticamente todo o NEB, com exceção de duas pequenas regiões com anomalias positivas situadas ao norte do Maranhão e em parte do Rio Grande do Norte, leste da Paraíba e Pernambuco.

4.3.3 COMPOSIÇÕES ASSOCIADAS AO GRADIENTE MERIDIONAL POSITIVO

Na Figura 4.27, mostram-se as composições sazonais das ATSM para os 10 anos com GRADM positivo entre 1948 a 1997. No trimestre SON (Figura 4.27a), observa-se um núcleo de anomalias negativas de intensidade muito pequena na Costa da África e no ATS. Verifica-se que o padrão positivo foi observado a partir do trimestre DJF, quando o ATN se tornou mais aquecido e o ATS mais frio.

Esse padrão GRADM positivo continuou a ser observado na estação do outono no HS (MAM - Figura 4.27c). O GRADM se apresenta em sua fase mais intensa com núcleos entre 10°N e 15°N sobre o ATN próximo à Costa Africana e sobre o ATS posicionado, também, junto à costa da África entre 10°S e 20°S. Os estudos de Curtis e Hastenrath (1995) e Sutton *et al.* (2000) mostraram que a máxima ocorrência do GRADM em MAM é atribuída ao máximo enfraquecimento dos Alísios de nordeste em DJF devido ao EN, além desse máximo de ATSM ser precedido pela intensificação das anomalias de PNM e da componente zonal do vento em superfície (ANDREOLI, 2002).

Em JJA (Figura 4.27d), ainda se notam anomalias positivas pequenas sobre o ATN e no ATS observa-se um núcleo de anomalias negativas na Costa Africana.

Nesses anos com GRADM positivo, observam-se sobre o Pacífico anomalias da TSM positivas (Figuras 4.27a e 4.27b), sugerindo ocorrência de EN em alguns de seus eventos. Dos 10 selecionados neste trabalho, em 5 deles ocorreu o fenômeno EN.

No trimestre MAM, ainda sobre o Pacífico, é observada uma diminuição das ATSM sobre a região equatorial em relação ao trimestre anterior, porém é visualizado um aquecimento (anomalias positivas) na costa do Peru, oeste da América do Sul. Essa anomalia continua a ser observada em JJA.

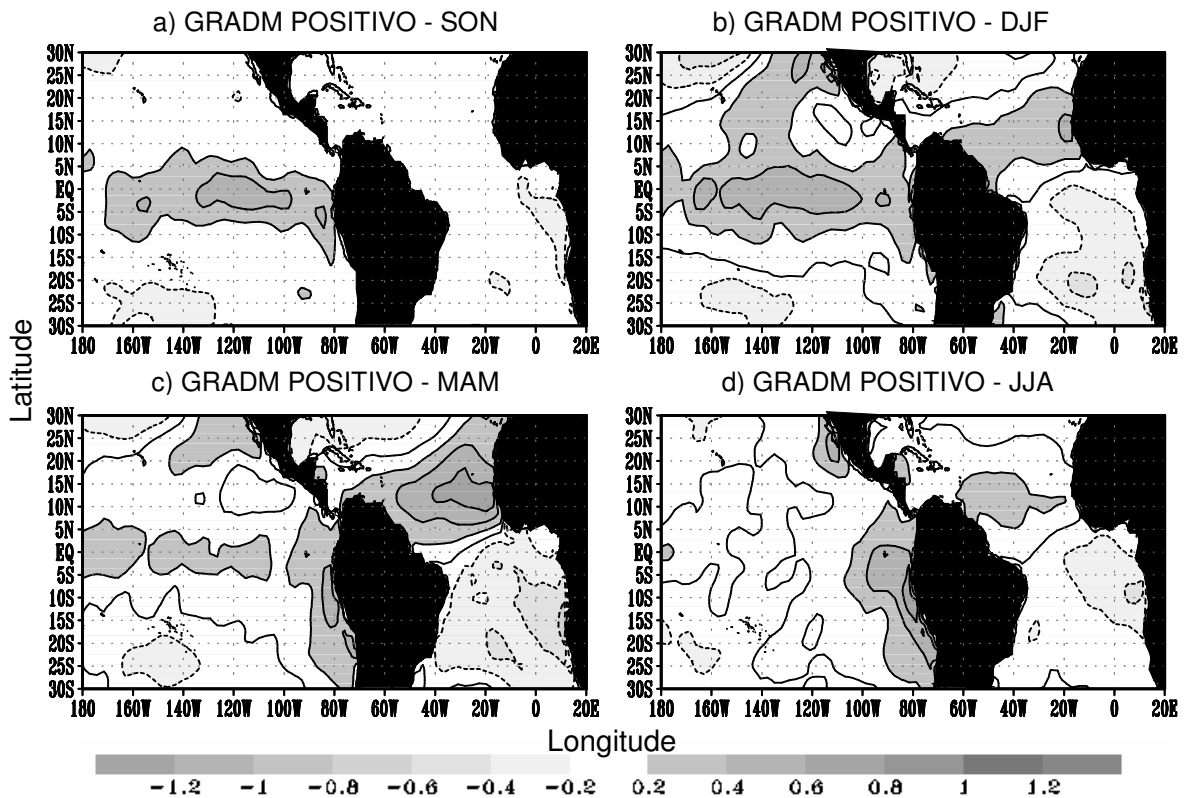


Figura 4.27 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos com **GRADM positivo** para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

As composições das APNM mostraram um padrão oposto ao norte e sul do equador no Oceano Atlântico, sendo observadas APNM negativas ao norte e positivas ao sul. Nota-se que essas anomalias foram observadas também a partir do trimestre DJF, tal como as ATSM. É observado que as APNM positivas no ATS podem estar associadas a um fortalecimento da alta subtropical e as anomalias negativas sobre o ATN indicando um enfraquecimento da alta subtropical ao norte do equador, isso ocorre mais nitidamente nos trimestres DJF e MAM (Figuras 4.28b e 4.28c, respectivamente).

Na Figura 4.28c (MAM) observa-se, também, que as APNM nas latitudes média possuem o mesmo sinal das encontradas no AT. No trimestre JJA, tal qual observado na análise da ATSM, tem-se que os eventos tenderam a desintensificar-se, podendo-se visualizar sobre a região tropical pressões em torno da média climatológica em, praticamente, toda a sua extensão. A exceção ocorre para duas regiões, a América central que apresenta APNM negativas e a Costa da África com anomalias positivas.

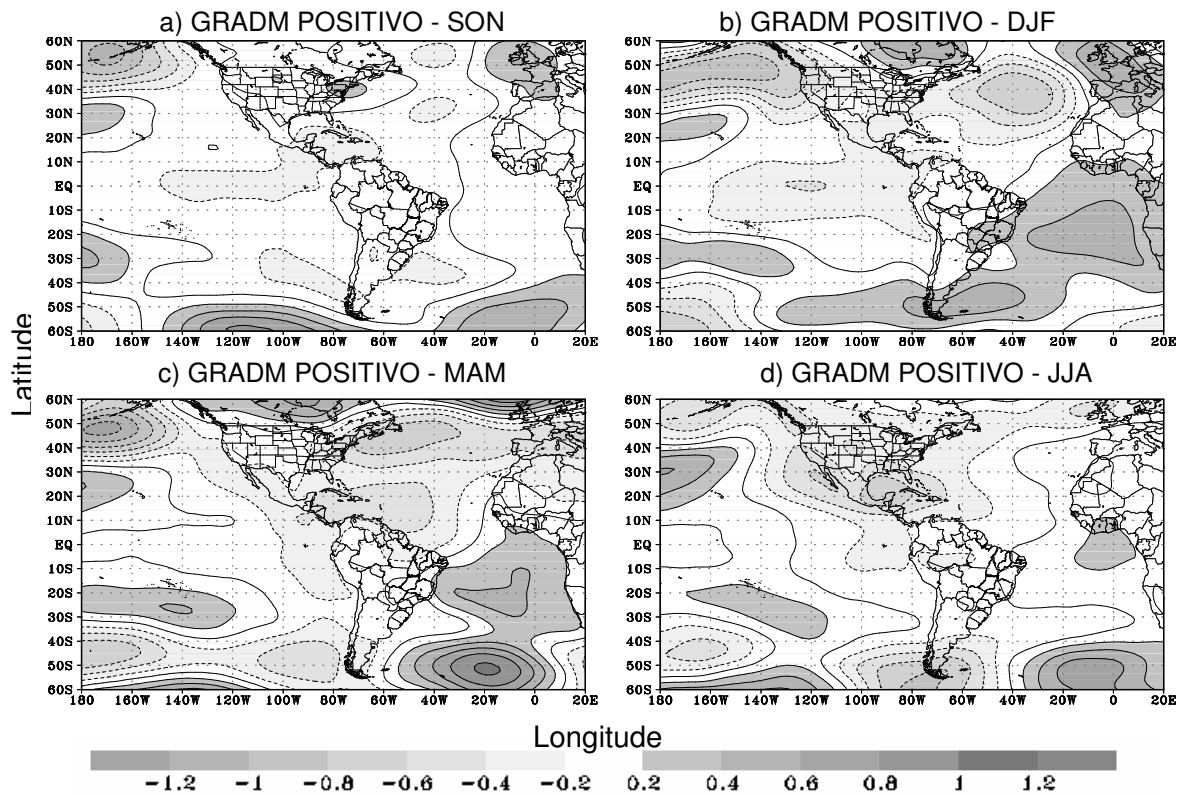


Figura 4.28 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos com **GRADM positivo** para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Sobre o Pacífico, foi observada uma pequena diminuição das APNM na região equatorial associadas com anomalias positivas da ATSM nos trimestres SON e DJF. Nos trimestres posteriores, a região equatorial apresentou valores em torno da média climatológica, com exceção dos pequenos valores da APNM negativas na costa da América do Sul.

Ainda, com relação ao Pacífico, observaram-se desde o trimestre SON, APNM positivas em torno das latitudes de 20° a 30° Norte e 20° e 30° Sul, aproximadamente, que no decorrer desses trimestres ganharam intensidade e deslocaram-se para leste.

As composições da célula de Walker em anos com GRADM positivo são mostradas na Figura 4.29. É importante lembrar que as setas na cor azul representam a circulação climatológica (1948-1997) e as setas na cor vermelha as composições para os anos selecionados com GRADM positivo (10 anos de eventos escolhidos conforme

descrito na seção 3.3.1). Pode ser observado que há uma redução de toda a célula zonal no trimestre SON.

Observa-se que, em DJF (Figura 4.29b), os movimentos ascendentes sobre o NEB são reduzidos um pouco na região. Nota-se também que, sobre o Atlântico, os movimentos descendentes associados ao vórtice observado em altos níveis, são maiores que a climatologia (setas em azul). Na costa oeste da América do Sul, verifica-se que os movimentos descendentes são desintensificados, principalmente, nos níveis acima de 700 hPa. Em baixos níveis, em torno de 120°W, verifica-se o aumento dos movimentos ascendentes, e, conseqüentemente, da convecção nessa área, o que está estritamente ligado as TSM, que se apresentaram com valores mais aquecidos que a média climatológica. O ramo ascendente da célula no Pacífico oeste encontrou-se mais intenso que o padrão climatológico.

No outono do HS (Figura 4.29c), sobre o Pacífico, verifica-se que a célula tende a seus padrões médios, contudo é observada a redução dos movimentos descendentes, bem como a redução dos movimentos ascendentes em baixos níveis no Pacífico central. Contudo, sobre o NEB, os movimentos ascendentes apareceram, um pouco, mais intensos que a climatologia. Sobre o Atlântico, apesar da célula nessa região ser fraca nesse trimestre (MAM), verifica-se, na alta e média troposfera, que o vórtice visualizado em DJF apresentou-se com movimentos descendentes intensos em torno de 20°W.

Observa-se que, em JJA, os movimentos descendentes na costa do Peru, ainda continuaram com intensidade menor em relação ao padrão médio, o que está de acordo com a Figura 4.27d, em que mostra as ATSM positivas. No Atlântico, foram observados movimentos descendentes mais intensos. Sobre o NEB foi verificada uma diminuição dos movimentos ascendentes ao leste e um aumento dos movimentos descendentes presentes nos altos níveis.

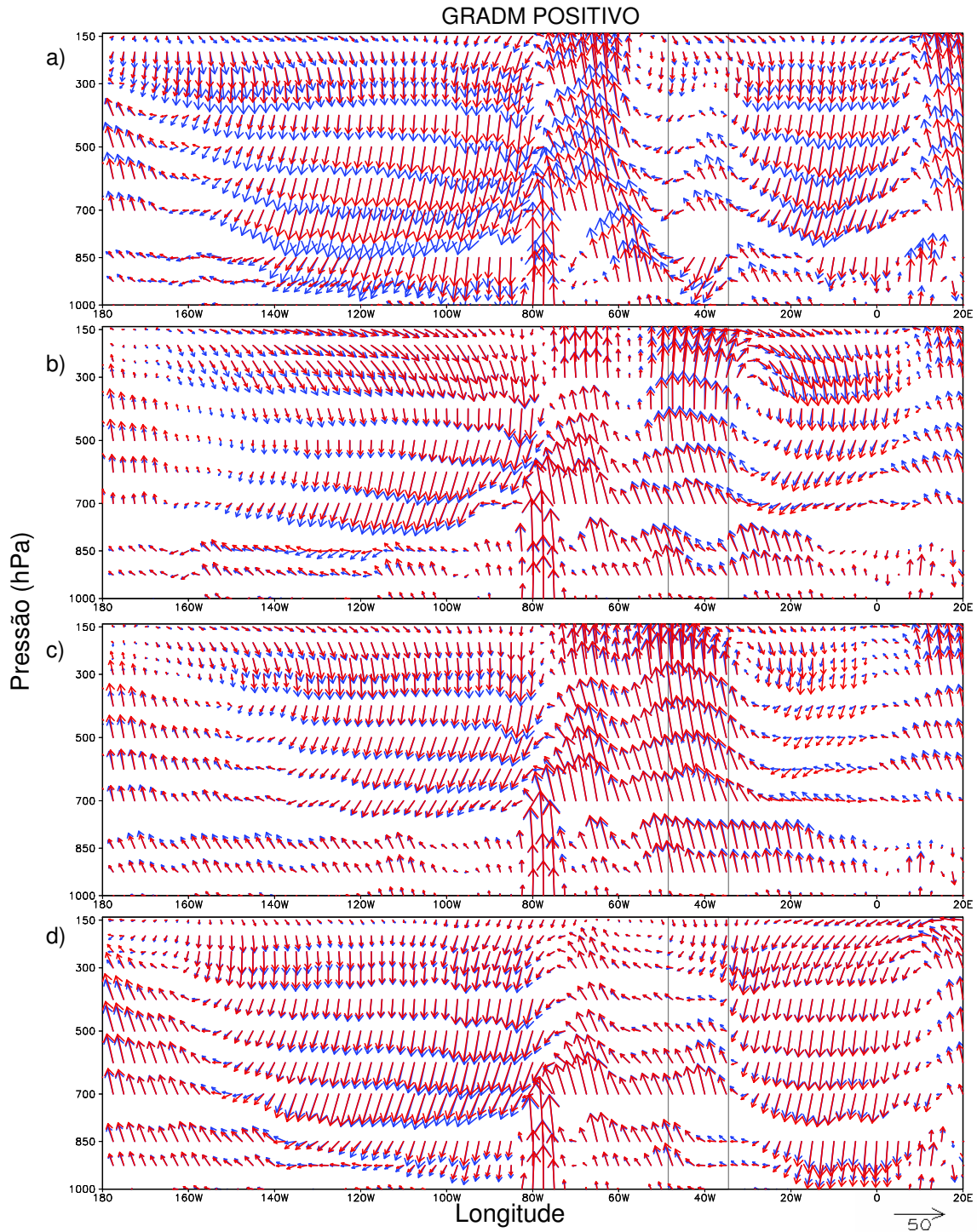


Figura 4.29 – Composições sazonais da **seção zonal de (u , ω)** média entre 0° e 10°S em anos com **GRADM positivo** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

Com relação às composições da célula de Hadley, mesma simbologia das setas, ou seja, vermelha (azul) representando as composições (climatologia), verifica-se que, no trimestre SON (Figura 4.30a), há uma redução dos movimentos com relação à célula climatológica.

Em DJF, época em que a célula encontrou-se bem definida, foi notado um pequeno aumento dos movimentos ao sul do equador e uma redução sobre a área entre 2°S e 5°N. No ATN, há uma pequena redução dos movimentos descendentes.

No outono do HS (MAM – Figura 4.30c), verifica-se a redução dos movimentos ascendentes na região entre 10°S e 2,5°N, relacionado ao resfriamento do ATS (Figura 4.27c). Da mesma forma, observa-se uma diminuição dos movimentos descendentes ao norte de 10°N, em consequência, possivelmente, do aquecimento das ATSM nessa área.

No trimestre seguinte (JJA), a célula de Hadley, tendeu aos seus padrões normais. Entretanto, ainda é possível observar que, no ATS, os movimentos descendentes foram menores.

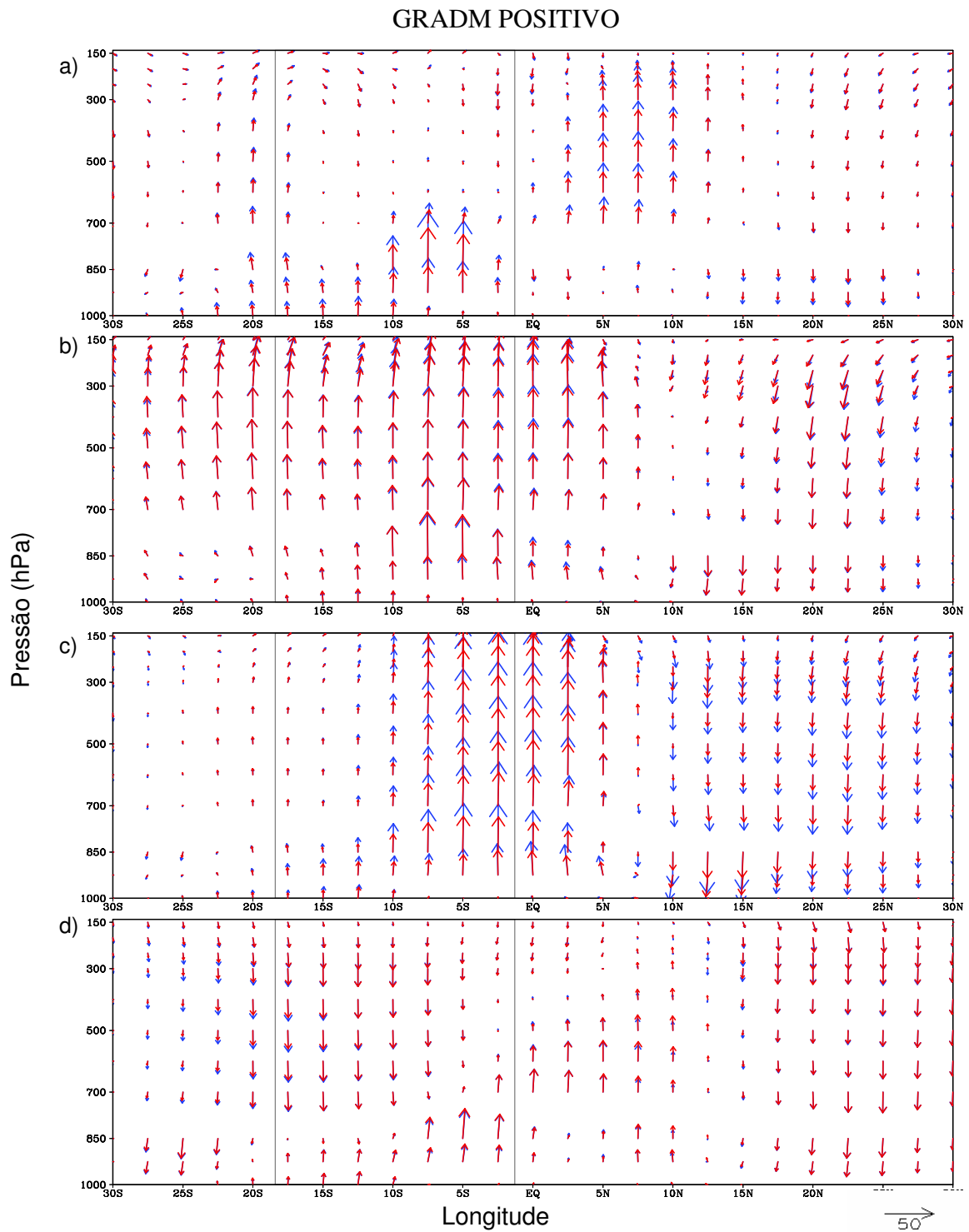


Figura 4.30 – Compostos sazonais da **seção meridional de (v,- ω)** média entre 50°W e 34°W em anos com **GRADM positivo** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

As diferenças são pequenas na circulação em baixos níveis (850 hPa), como pode ser observado na Figura 4.31. Contudo, nas Figuras das anomalias (Figura 4.31 – lado direito), podem ser observadas algumas circulações anômalas que surgem nos anos com o GRADM positivo configurado.

Pode-se notar que em SON (Figura 4.31c) não foi observado nenhum padrão claramente, porém nos meses seguintes já se observa uma circulação anômala ciclônica e outra anticiclônica situada no HN, que tendem a intensificar o escoamento na área equatorial norte e desintensificar a alta subtropical nesse hemisfério.

Nos trimestres seguintes, as anomalias novamente apresentam uma configuração não tão bem definida. Entretanto, os padrões configurados nos meses anteriores não se apresentaram bem definidas e já surgem indícios de desintensificação das mesmas.

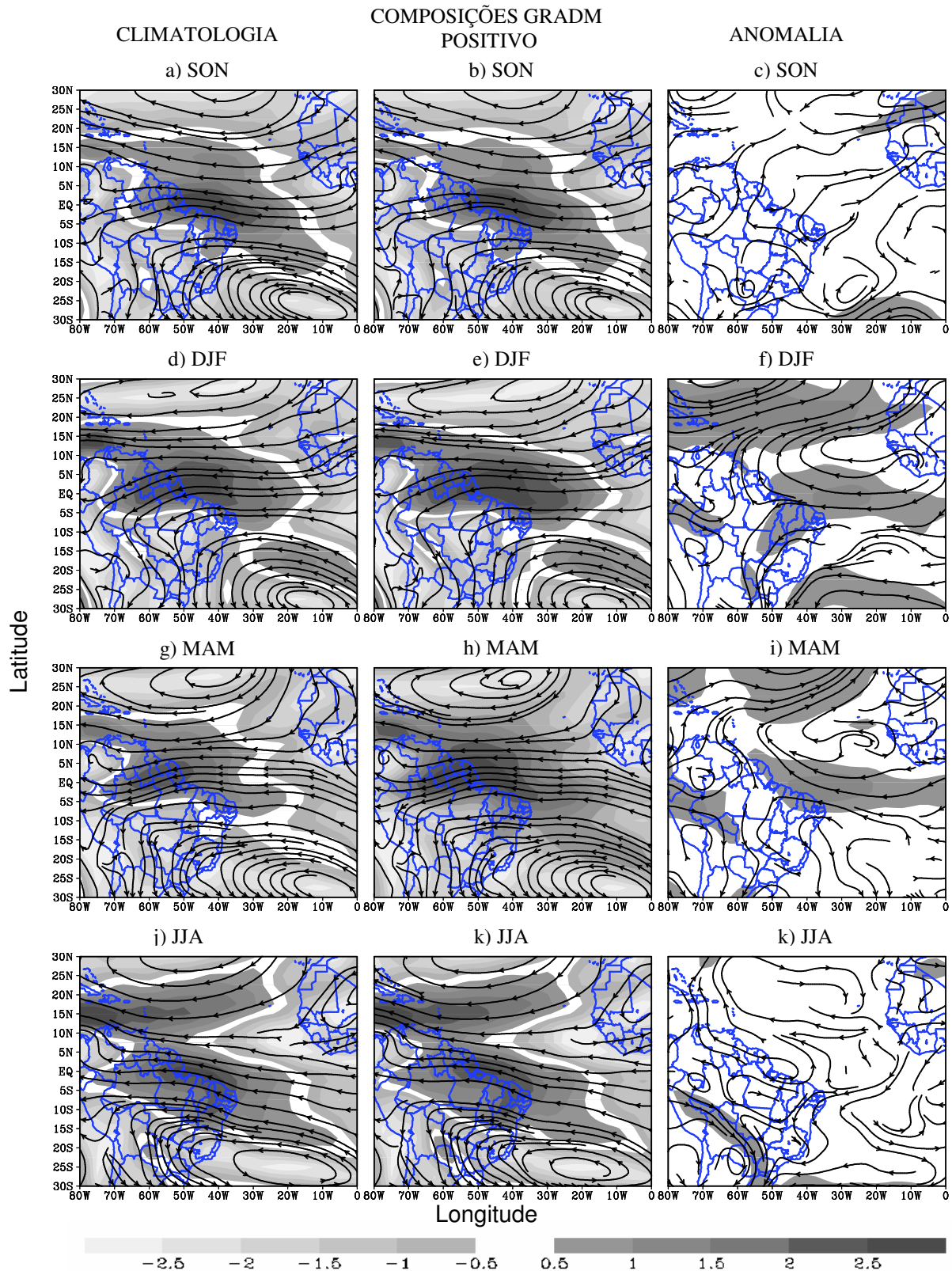


Figura 4.31 - Composições sazonais da **circulação** no nível de **850 hPa**. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com **GRADM positivo** (10 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

As composições sazonais do GRADM positivo para a circulação em altos níveis (Figuras 4.32 – centrais) mostram que em SON a configuração é praticamente igual à climatológica. Em DJF (Figuras 4.32d e 4.32e), pode ser observado que o cavado do NEB esteve configurado melhor e o escoamento de oeste no HN apresentou-se mais intenso e um pouco deslocado para sul.

Nota-se que, durante MAM, a difluência associada com a Alta da Bolívia (AB) permaneceu a noroeste de sua posição climatológica. No inverno austral verifica-se, tal qual visualizado na climatologia (Figura 4.32j), a mudança no sentido do escoamento entre o equador e 10°N que resulta no desaparecimento da AB.

As anomalias da circulação em 200 hPa foram apresentadas nas Figuras 4.32 (lado direito). Em SON nota-se uma anomalia ciclônica, não bem definida, sobre o NEB. No trimestre seguinte (DJF), observou-se uma circulação ciclônica anômala no HS, localizada sobre o Oceano AT na costa do NEB. Outra circulação anticiclônica anômala no HN na costa Africana. Essas circulações anômalas resultam em um escoamento zonal intenso no AT. Sobre o NEB pode ser verificado um forte escoamento de sudoeste.

Em MAM, as circulações anômalas, no HS e HN, permaneceram. Entretanto, essas se apresentaram deslocadas de sua posição no trimestre anterior (Figura 4.32i). Nota-se, sobre o NEB, um escoamento zonal intenso de oeste para leste. Sobre o NEB, em JJA, pode-se observar um escoamento anômalo de sudoeste.

A diferença da divergência em 850 hPa entre os dois campos (composições de GRADM positivo menos a climatologia) mostra que, em SON (Figura 4.33b), têm-se, em praticamente todo o NEB, anomalias positivas, aumentando a divergência observada no campo climatológico (Figura 4.33a) sobre o leste e centro/sul do NEB e a diminuição da convergência sobre o sul dos Estados do Maranhão e Piauí.

Nos trimestres seguintes (DJF e MAM), observa-se o mesmo padrão inibindo, assim, a formação de nebulosidade. Vale ressaltar que estes trimestres compõem a estação chuvosa para a sub-região norte.

Em JJA (Figura 4.33d), observa-se uma convergência anômala sobre o Maranhão, intensificando a convergência climatológica e divergência anômala sobre o restante das regiões do NEB, aumentando a divergência sobre elas.

Em altos níveis – 200 hPa, as composições da divergência mostraram campos em oposição aos encontrados em baixos níveis, o que já era esperado. Sendo assim, as convergências anômalas em SON indicam que, nesses anos, com GRADM positivo há um aumento da convergência sobre o NEB, isso em 200hPa.

No trimestre seguinte (DJF – Figura 4.34d), notam-se, ainda, convergência anômala, porém o sul do Maranhão e Piauí são exceções, apresentando divergência anômala (valores positivos).

Em MAM (Figuras 4.34e e 4.34f), é visualizada convergência anômala sobre grande parte da região em estudo, contudo são verificados alguns núcleos de divergência anômala ao longo do sul do Maranhão até a Bahia. O resultado dessas anomalias, comparando-se com a climatologia, são movimentos divergentes com menor intensidade sobre o norte e boa parte da sub-região leste do NEB, além dos movimentos ascendentes visualizados, também encontrarem-se desintensificados no sul da Bahia.

Em JJA (Figura 4.32h), observam-se dois núcleos de convergência sobre o nordeste e sudoeste da região em estudo e divergência anômala no norte do Maranhão e sobre Alagoas e Sergipe, intensificando a convergência em altos níveis, nos quais se verifica divergência anômala.

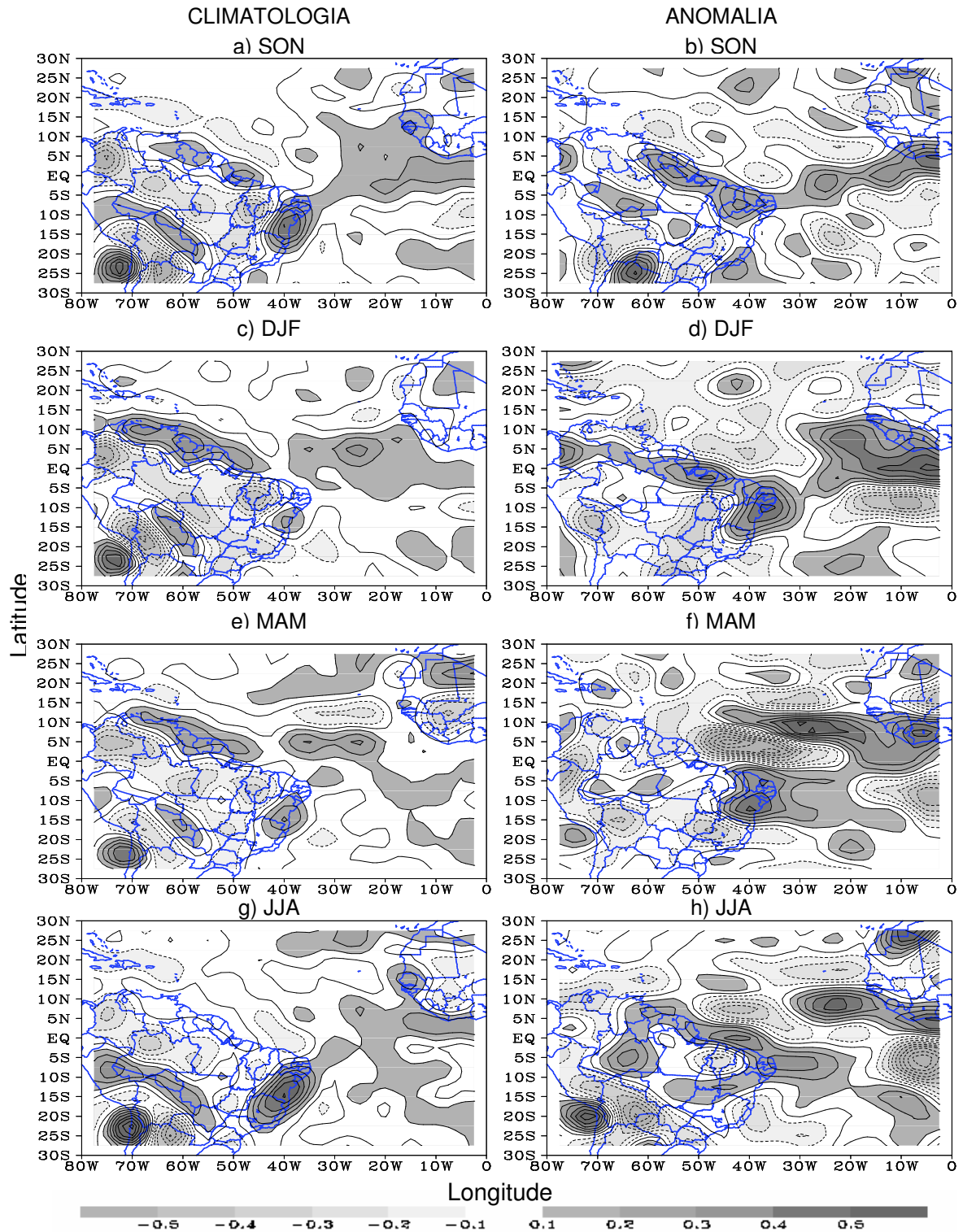


Figura 4.33 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** (10^{-5}s^{-1}) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** (10^{-6}s^{-1}) (lado direito) no nível de **850 hPa** para os anos com **GRADM positivo** para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

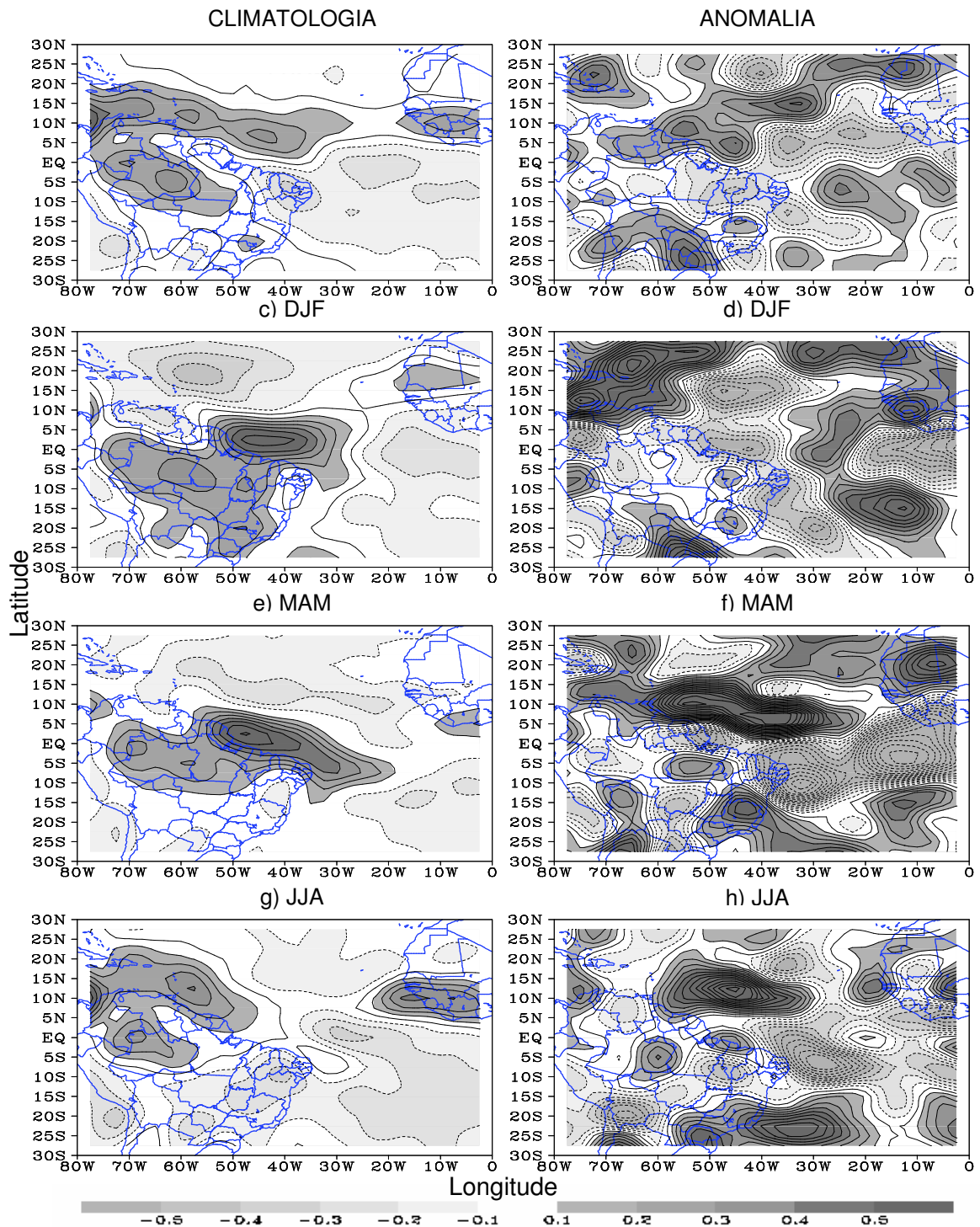


Figura 4.34 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5} s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6} s^{-1}$) (lado direito) no nível de **200 hPa** para os anos com **GRADM positivo** para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Diversos autores (HASTENRATH e HELLER, 1977; HASTENRATH e GREISCHAR, 1993; MOURA e SHUKLA, 1981; NOBRE, 1993; NOBRE e SHUKLA, 1996) mostraram que o padrão da ATSM, juntamente com padrões anômalos associados de vento e pressão em superfície, influencia na intensidade e migração norte-sul da ZCIT sobre o Atlântico Tropical e, em consequência, na distribuição da precipitação no NEB.

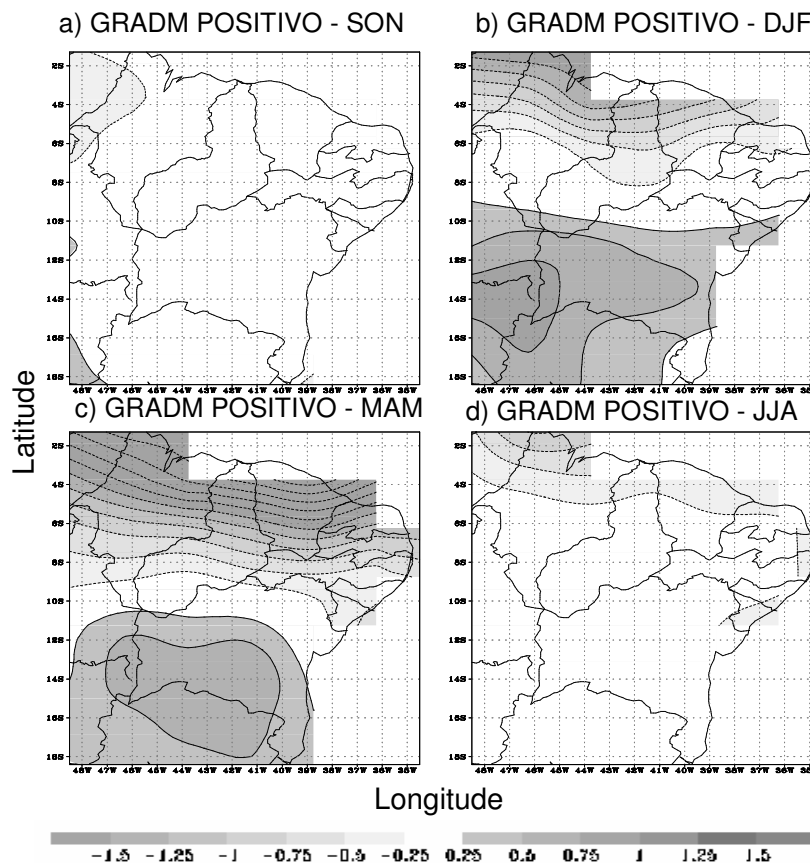


Figura 4.35 - Composições sazonais das **anomalias da precipitação** (mm/dia) observadas do CPC em anos com **GRADM positivo** para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Os campos correspondentes às composições das anomalias de precipitação (compostos de GRADM positivo menos Climatologia do período 1948-1997) foram mostrados na Figura 4.35. Esses vêm confirmar a influência do GRADM positivo em, praticamente, toda a região NEB, principalmente nos meses de DJF e MAM. Nesses dois trimestres, observou um padrão de precipitação com anomalias negativas ao norte e leste do NEB e anomalias positivas no sul do NEB, com maiores intensidades no

trimestre MAM (Figura 4.35c). Em JJA, ainda, podem ser observadas anomalias negativas de intensidades fracas sobre o norte e leste do NEB.

4.3.4 COMPOSIÇÕES ASSOCIADAS AO GRADIENTE MERIDIONAL NEGATIVO

Nos anos de GRADM negativo, a configuração com ATSM negativas ao norte e positivas ao sul (padrão do GRADM negativo – por exemplo Servain, 1991) foi estabelecida já no trimestre SON (Figura 4.36a).

Observa-se que as anomalias de TSM foram maiores sobre o ATS (Figura 4.36) apresentando uma máxima amplitude do padrão na parte central do ATS entre 10°S e 30°S e, na área do ATN, as anomalias estiveram orientadas na direção sudoeste-nordeste, concordando com Andreoli (2002).

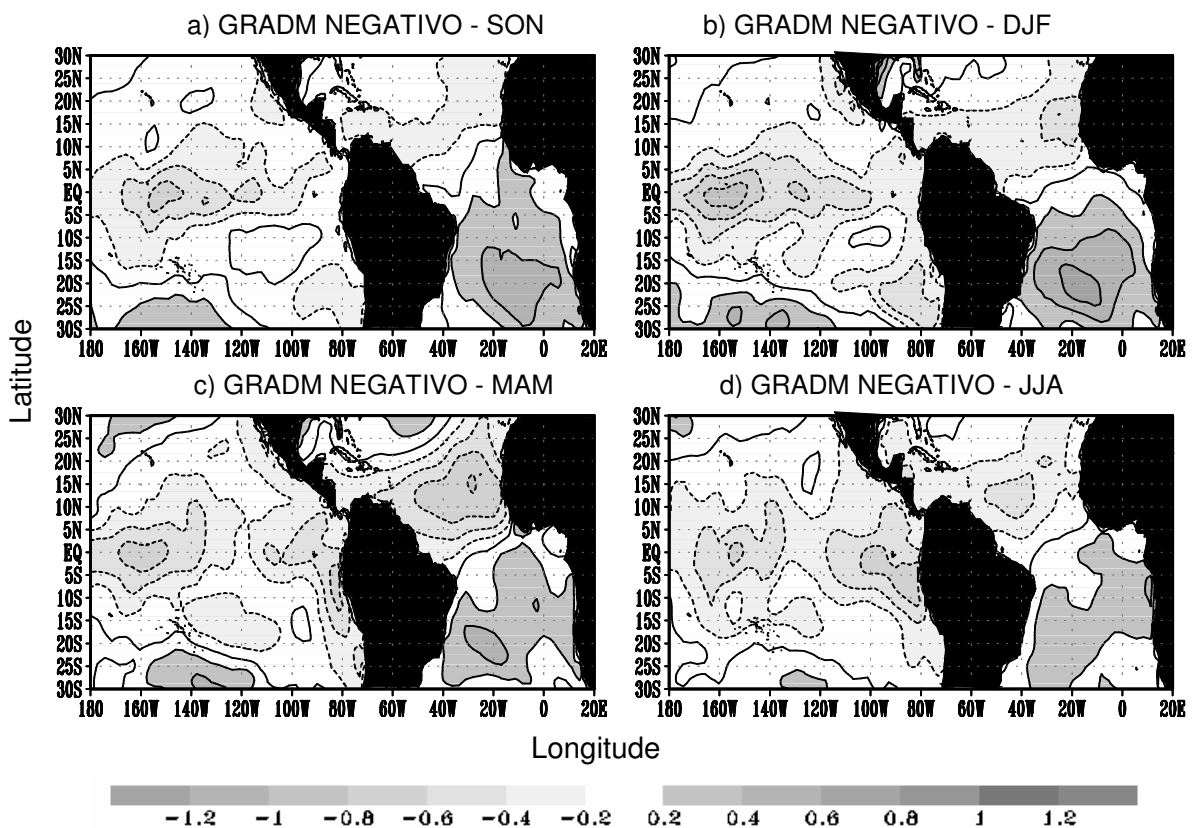


Figura 4.36 – Composições sazonais das ATSM (°C) em anos com **GRADM negativo** para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

Nos meses posteriores, DJF, observa-se aumento das ATSM com relação ao trimestre anterior tanto no ATN quanto no ATS (trimestre de anomalias mais intensas para essa bacia).

No outono do HS - MAM (Figura 4.36c), observa-se uma diminuição das anomalias ao sul e uma intensificação das anomalias visualizadas no ATN. Vale salientar que, vários estudos como, por exemplo, Enfield e Mayer (1997) e Saravanan e Chang (2000), mostram que o ATN tem uma resposta ao evento que ocorre no Pacífico de 4 a 5 meses após atingirem a sua fase madura que, geralmente, ocorre no trimestre DJF. Sendo assim, podem-se relacionar esses maiores valores das anomalias de TSM negativas ao norte do equador, as ATSM, também, negativas sobre o Pacífico no trimestre DJF.

As ATSM positivas, sobre o Atlântico, continuaram observadas no trimestre JJA, porém, com intensidade menor. Entretanto, pode-se ver que o GRADM negativo permaneceu com seu padrão de anomalias bem configuradas em todos os trimestres.

No Oceano Pacífico (Figura 4.36), por sua vez, foram observadas, em todas as estações, o resfriamento da bacia, principalmente na área compreendida entre 15°N e 20°S, anomalias negativas da TSM relacionadas aos eventos LN. Pode ser observado que dos 9 anos selecionados para as composições do GRADM negativo, 5 deles coincidem com anos de ocorrência de La Niña (ver Tabela 3.2).

As anomalias da PNM apresentaram o padrão relacionado a esse evento sobre o Atlântico, em que são observadas APNM positivas na parte norte da bacia e negativas na parte sul.

Observa-se que as APNM positivas no ATN encontraram-se acima de 10°N para os dois primeiros trimestres (SON e DJF). Em MAM, elas atingiram sua posição mais próxima ao equador, em coerência com as ATSM (Figura 4.36c), diminuindo sua intensidade em JJA.

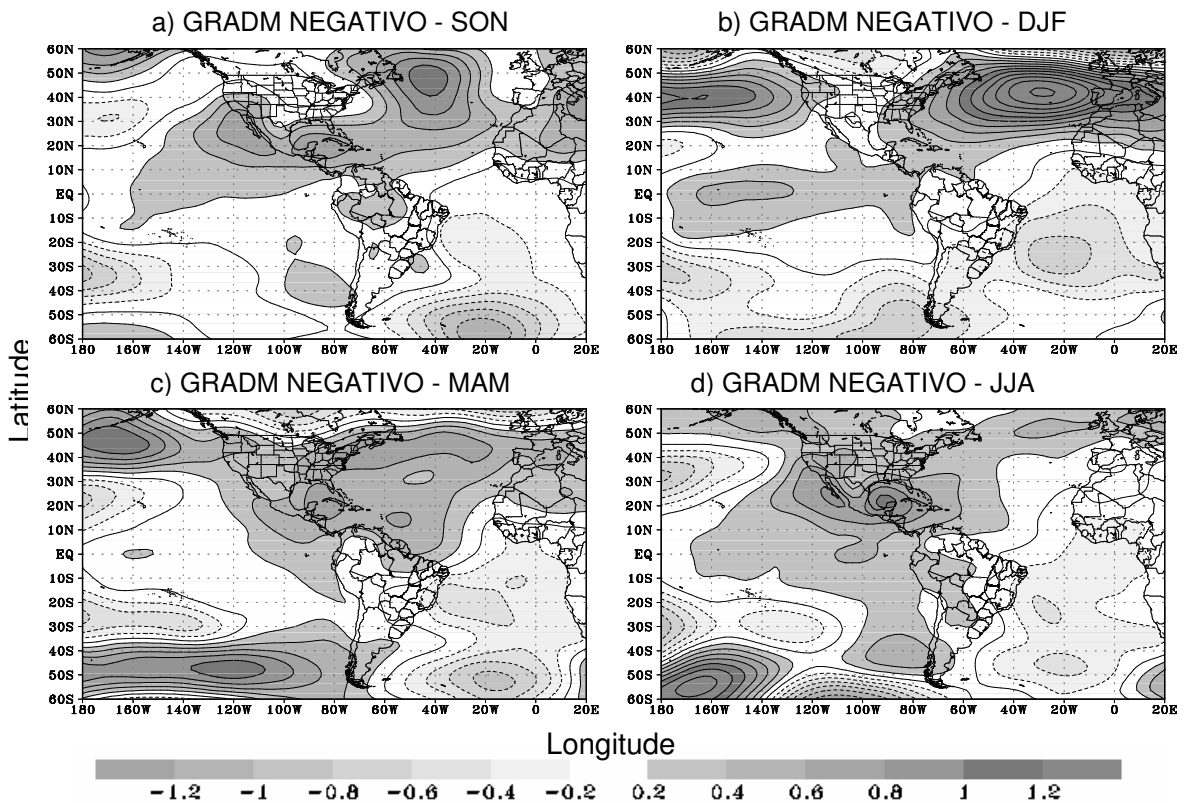


Figura 4.37 – Composições sazonais das APNM (hPa) em anos com **GRADM negativo** para SON, DJF, MAM e JJA. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2. Valores da APNM acima (abaixo) de 0,2(-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

As APNM no Atlântico Sul, em SON, apresentam-se negativas nas latitudes médias, essas se deslocam para norte apresentando um máximo em DJF, na área tropical. No trimestre seguinte, MAM, observa-se a expansão para sul dessa área de anomalias negativas e a divisão em dois núcleos, um na costa brasileira, que pode está associada ao enfraquecimento da alta subtropical e outro localizado nas latitudes médias centrado em aproximadamente 20°W e 55°S. Em JJA, essa mesma configuração foi mantida, porém com intensidade menor.

Sobre o Pacífico, são visualizadas anomalias positivas relacionadas ao resfriamento da bacia na região equatorial, conforme visualizado na Figura 4.36. Entretanto, nota-se que as APNM encontraram-se variando na região tropical entre valores acima da normal e climatológico.

A composição para a célula de Walker (setas em azul representam a climatologia e em vermelho as composições) foi mostrada na Figura 4.38, apresentando algumas modificações nos anos com GRADM negativo configurado no Oceano Atlântico.

Observa-se que, em SON (Figura 4.38a), houve, no Pacífico, região entre 180°W – 160°W, uma diminuição e até inversão dos movimentos ascendentes visualizada no campo climatológico, indicando um deslocamento da célula de Walker para oeste, tal qual é visualizado em anos de La Niña. Sobre as áreas continentais, verifica-se que os movimentos ascendentes encontraram-se mais intensos que a climatologia, principalmente sobre a região da Amazônia e África. Sobre o Nordeste, apesar de terem sido pequenas, essas diferenças podem ser verificadas, sobretudo nos níveis acima de 700 hPa.

Durante o verão do HS – DJF, a célula mostrou mesma configuração do trimestre anterior, porém com maior intensidade. Sobre o NEB, a célula apresentou intensidade maior que a climatologia, desde os baixos níveis, favorecendo o aumento da convecção. Sobre o Atlântico Tropical, pôde ser notado que houve uma diferença pequena.

A célula de Walker exibiu, em MAM, modificações intensas no deslocamento da célula sobre o Pacífico, bem como sobre o Atlântico. Os movimentos ascendentes permaneceram mais intensos que o normal sobre a região do NEB.

Em JJA, a célula tende aos seus padrões climatológicos, contudo podem ser observadas as mesmas modificações visualizadas nos trimestres anteriores. A célula sobre os oceanos Pacífico e Atlântico esteve definida em todos os níveis da atmosfera, diferentemente dos dois trimestres anteriores.

Enfim, pode se dizer que o padrão da célula zonal em anos com GRADM negativo visualizado, em todos os trimestres, favorece o aumento da convecção sobre a região em estudo.

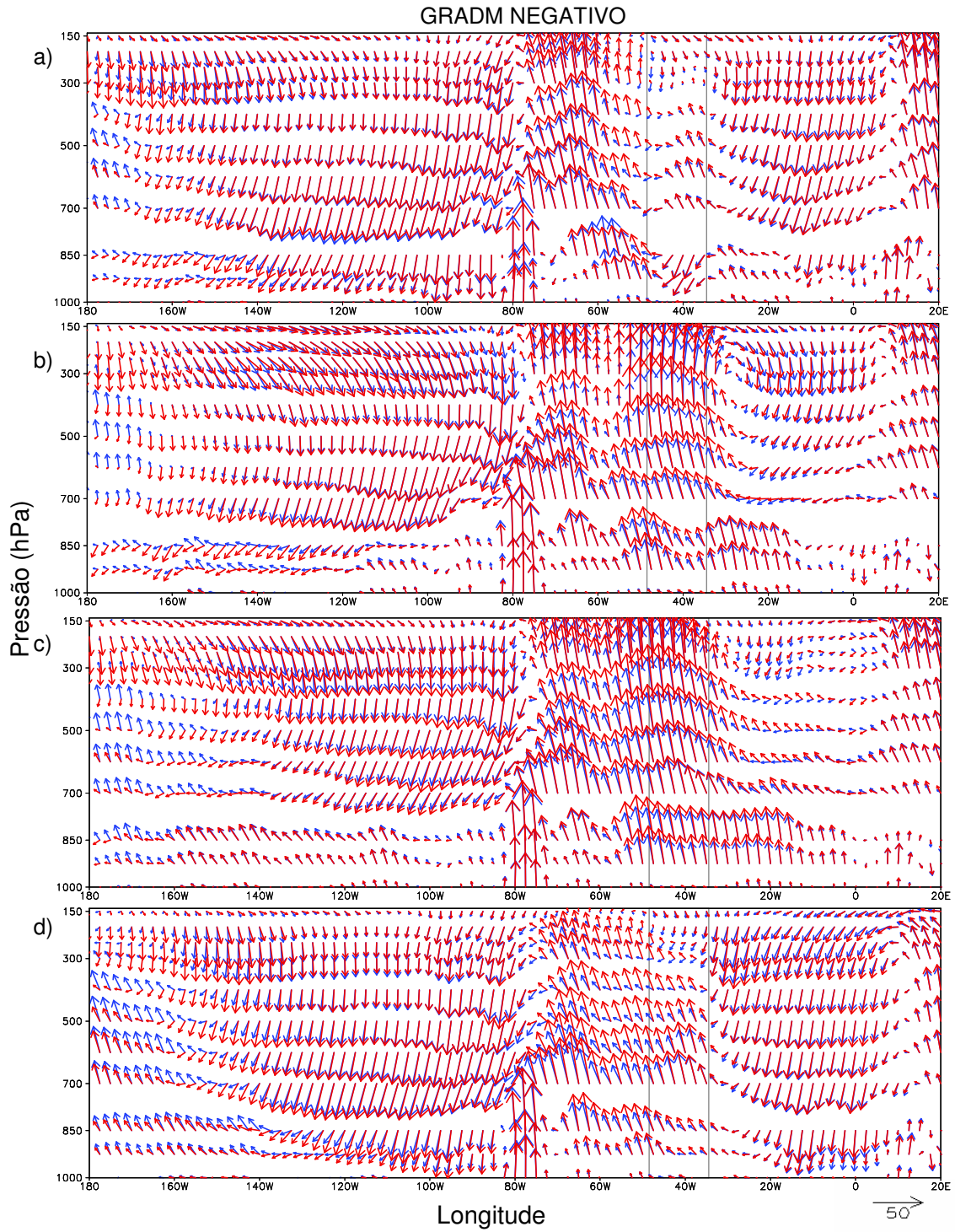


Figura 4.38 – Compostos sazonais da **seção zonal de (u , ω)** média entre 0° e 10°S em anos com **GRADM negativo** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelho) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

Na Figura 4.39, observam-se as mudanças na célula meridional, célula de Hadley, a partir das composições para os anos com GRADM negativo. Observa-se que, em SON, os movimentos ascendentes, em baixos níveis, ao sul do equador encontraram-se menores que a climatologia. Nota-se que, entre 5°S e o equador, em altos níveis, houve uma inversão dos movimentos descendentes.

Em DJF (Figura 4.39), ao contrário do que foi visto no trimestre anterior, verifica-se que os movimentos ascendentes estiveram mais intensos que a climatologia sobre toda a área ao sul do equador. As diferenças entre a circulação climatológica (setas azuis) e a circulação composta (setas vermelhas) ao norte do equador, foram muito pequenas.

No outono do HS - MAM (Figura 4.39c) -, os movimentos ascendentes mais intensos são verificados na região compreendida entre 10°S e 2,5°N e esses apresentam-se desintensificados em relação à climatologia. Ao sul de 10°S, não foram notadas diferenças significativas entre os campos climatológicos e as composições. Ao norte de 10°N verifica-se que a célula esteve mais intensa do que o trimestre anterior, mas os movimentos em anos de GRADM negativo (setas vermelhas) foram menores.

Os movimentos ascendentes sobre o NEB em JJA apresentaram-se um pouco mais intenso que a climatologia e os movimentos descendentes mais fracos. Mostrando, assim, um favorecimento à convecção na região.

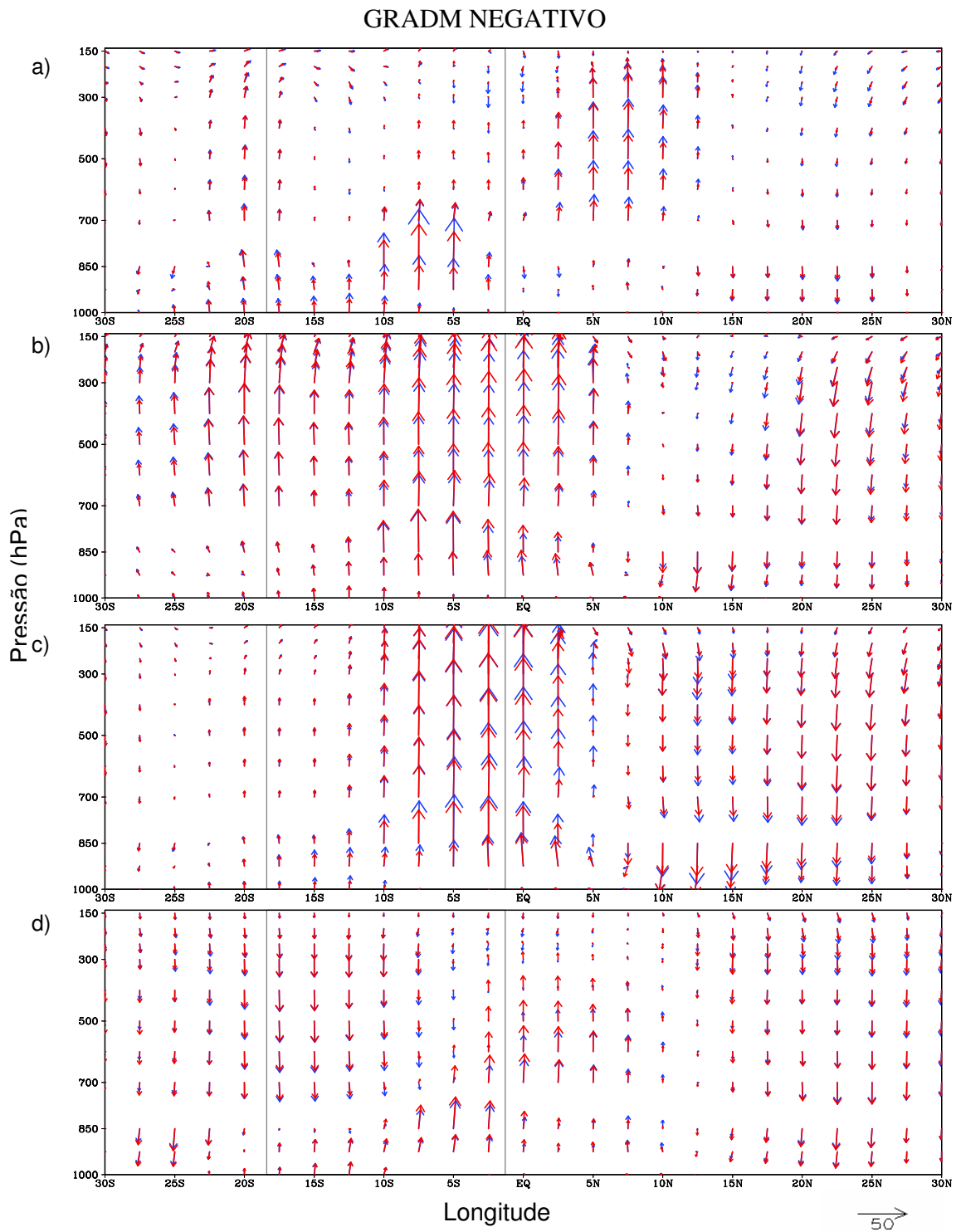


Figura 4.39 – Compostos sazonais da **seção meridional de (v , ω)** média entre 50°W e 34°W em anos com **GRADM negativo** para (a) SON, (b) DJF, (c) MAM e (d) JJA. Setas em azul (vermelha) referem-se a valores climatológicos (compostos dos eventos), as duas linhas verticais na cor cinza mostram a localização da região NEB.

Em se tratando das composições da circulação nos baixos níveis em anos com GRADM negativo (Figura 4.40), pode se observar praticamente o padrão climatológico. Entretanto, no campo das anomalias, verifica-se que as diferenças entre os campos existem e são bastante relevantes na região do NEB.

No campo das anomalias, no nível de 850 hPa, em SON (Figura 4.40c), é visualizado um cavado (uma configuração interessante) sobre o NEB. Um escoamento anômalo intenso pode ser visualizado na direção leste-oeste na região entre 5°N e 10°N, aproximadamente, intensificando o escoamento visualizado na climatologia. Tal qual observado nos anos de LN, houve uma intensificação da alta subtropical no HN e uma desintensificação da alta no HS, nos trimestres DJF e MAM, principalmente.

O cavado sobre o NEB continua a ser observado nos trimestres posteriores, com maior intensidade em MAM (Figura 4.40i). Também observa-se uma circulação anômala anticiclônica desde DJF que desloca-se para sudoeste nos meses seguintes.

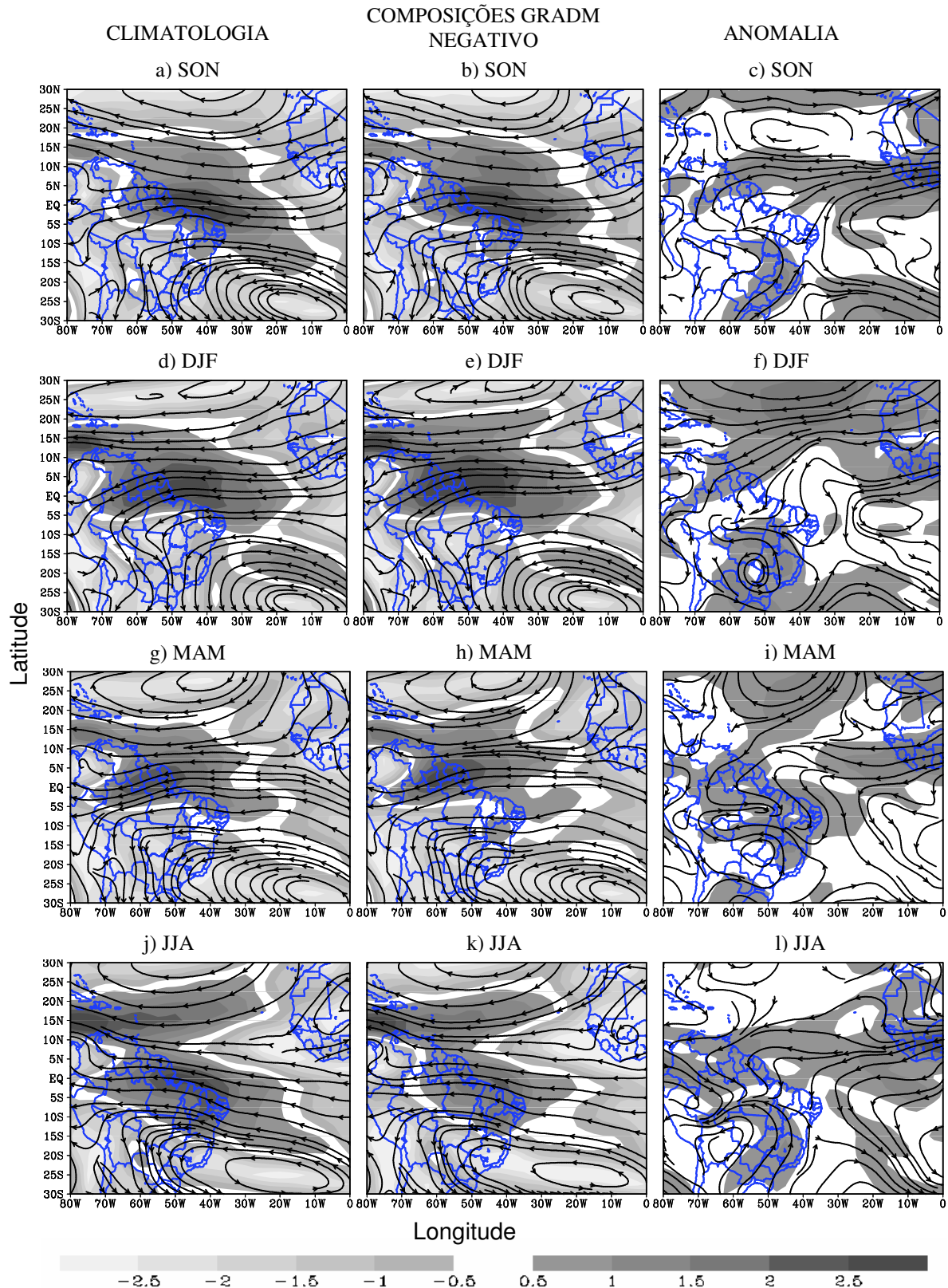


Figura 4.40 - Compostos sazonais da **circulação** no nível de **850 hPa**. Climatologia do período 1948 a 1997 (lado esquerdo), média dos anos com **GRADM negativo** (09 anos) (figuras centrais) e anomalia da circulação (lado direito) para SON, DJF, MAM e JJA, conforme identificação sobre as figuras. O sombreado conforme escala de cinza mostrada sob a figura refere-se à magnitude da circulação.

Na circulação em altos níveis (200 hPa) durante SON, verifica-se que a Alta da Bolívia (AB) esteve configurada em sua posição climatológica e que a crista observada no HN encontrou-se mais intensa que a climatologia (Figura 4.41a).

Observa-se que, em DJF, a AB esteve um pouco mais intensa e deslocada para sul de sua posição normal. O cavado associado a ela encontra-se deformado com relação ao padrão climatológico, situado dessa maneira na costa do NEB.

No trimestre seguinte, MAM, a AB esteve posicionada mais ao sul de sua posição climatológica (Figura 4.41 g e h) e com intensidade um pouco maior do que a climatologia. Os movimentos difluentes sobre o NEB apresentam-se melhor configurados. No inverno do HS (JJA), observa-se que a circulação segue os padrões climatológicos, porém nota-se uma pequena diminuição dos movimentos de oeste no sul do NEB.

Na Figura 4.41 (lado direito) pode se observar as anomalias da circulação verificadas nos anos com GRADM negativo em altos níveis. No trimestre SON, nota-se uma circulação anticiclônica anômala no ATS e outra ciclônica sobre o norte da América do Sul.

Observa-se que, em DJF, a alta anômala sobre o ATS permaneceu, porém tem-se um escoamento anômalo de leste/sudeste sobre a região equatorial que pode ser a explicativa da deformação vista no cavado nos campos compostos (Figura 4.41e). No ATN, observa-se uma circulação anticiclônica anômala sobre a África e outra ciclônica anômala ao norte da América do Sul.

Em MAM, o escoamento anômalo de leste continuou a ser observado, da mesma forma pode ser notada a circulação anticiclônica anômala visualizada sobre o ATS, contudo ela aparece deslocada para oeste e encontra-se próxima à costa leste da América do Sul. O escoamento continuou anômalo nos meses de JJA, na região equatorial, só que, vale ressaltar, que neste período o escoamento anômalo foi de oeste, já que foi observado nos campos climatológicos o escoamento de leste (Figura 4.41j). Também foi visualizada uma região de difluência sobre o norte da Amazônia.

Os campos de divergência são analisados apenas sobre a região em estudo, NEB, tendo em vista as inúmeras divergências e convergências anômalas distribuídas sobre toda a área tropical.

As composições sazonais para a anomalia de divergência em baixos níveis (850 hPa), para anos com GRADM negativo, foram mostradas na Figura 4.42. A partir dela, pode-se verificar, no trimestre SON, uma convergência anômala sobre, praticamente, todo o NEB, com exceção do Estado do Rio Grande do Norte e do leste da Paraíba, Pernambuco e Alagoas, em que se observam anomalias positivas (divergência anômala). Dessa forma, houve um aumento da convergência visualizada na climatologia (Figura 4.42 – lado esquerdo) sobre o Maranhão e sul do Piauí e uma desintensificação da divergência sobre o leste da região, com exceção do Rio Grande do Norte e leste da Paraíba e Pernambuco, em que a divergência foi intensificada.

No trimestre seguinte, DJF, verifica-se que a região de divergência anômala penetra no continente e a convergência anômala observada em SON, ficam confinadas na região sul e leste do NEB. Entretanto, elas são menos intensas que os padrões climatológicos (Figura 4.42c).

Visualizou em MAM convergência anômala sobre todo o NEB diminuindo a divergência climatológica no leste e sul da região em estudo e aumentando a convergência no Maranhão e sul do Piauí.

No inverno do HS (JJA), o padrão de convergência anômala permaneceu. Contudo, nota-se, no leste do NEB, um núcleo de intensidade pequena de divergência anômala.

No contexto geral, verifica-se que houve uma contribuição positiva dos eventos GRADM negativo à convergência em baixos níveis.

Em altos níveis (200 hPa), verifica-se que, em SON (Figura 4.43b), houve um aumento da convergência em relação ao campo climatológico (Figura 4.43a).

Em DJF observa-se, sobre todo o NEB, divergência anômala que tende a aumentar a divergência nos altos níveis, o que está coerente com o aumento da convergência em baixos níveis (Figura 4.42d).

No trimestre posterior, MAM, continua-se a observar divergência anômala, com exceção do sudoeste da Bahia em que se nota convergência anômala, reforçando o padrão climatológico.

Durante JJA, a divergência anômala ficou restrita no leste e norte do NEB, enquanto que, no centro/sul da região, observam-se anomalias negativas (convergência anômala) (Figura 4.43h).

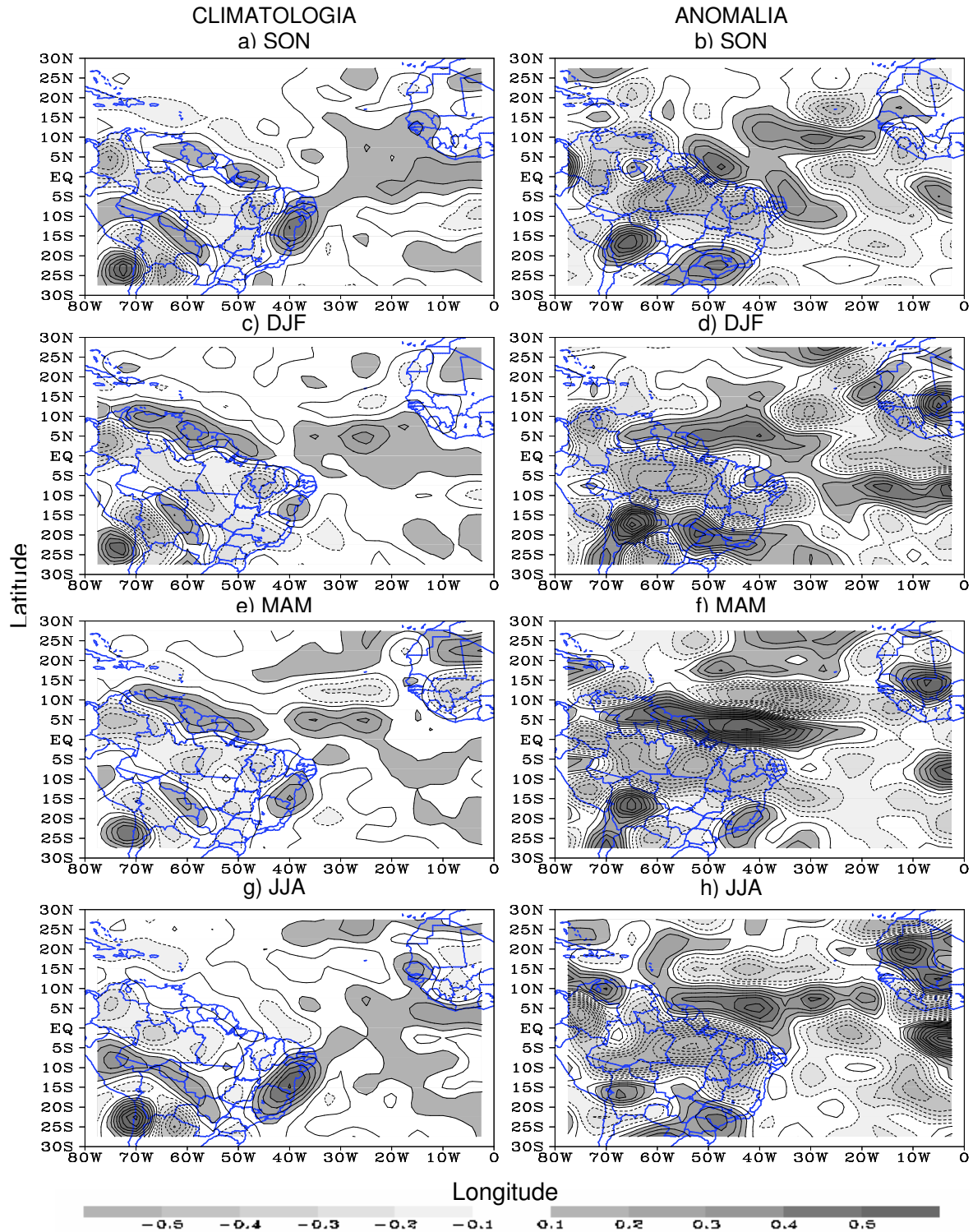


Figura 4.42 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** (10^{-5}s^{-1}) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** (10^{-6}s^{-1}) (lado direito) no nível de **850 hPa** para os anos com **GRADM negativo** para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

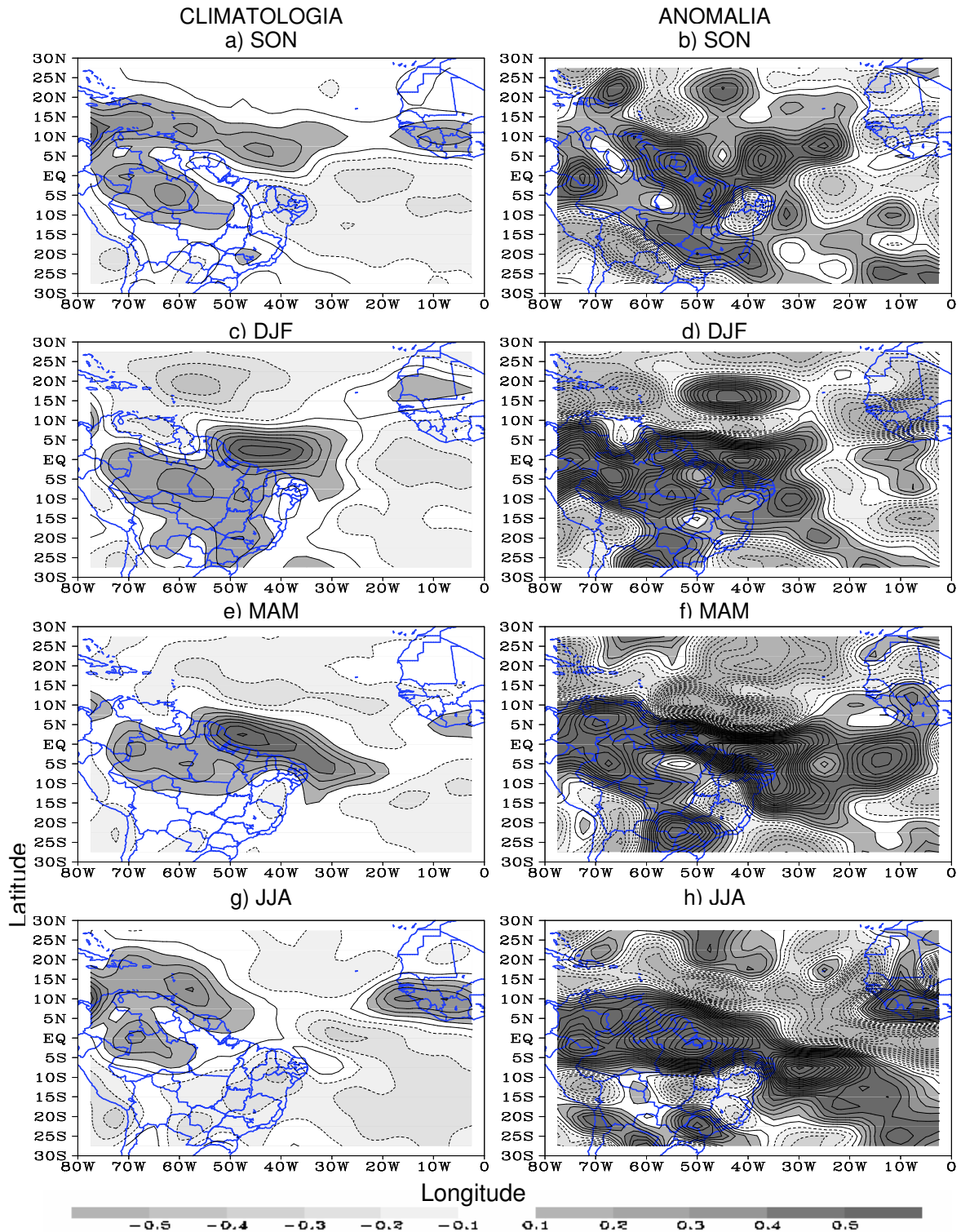


Figura 4.43 - Composições sazonais para a climatologia da **divergência horizontal** ($10^{-5}s^{-1}$) no período de 1948-1997 (lado esquerdo) e **anomalia da divergência** ($10^{-6}s^{-1}$) (lado direito) no nível de **200 hPa** para os anos com **GRADM negativo** para SON, DJF, MAM, e JJA, conforme identificação sobre as figuras. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,1. Valores acima (abaixo) de 0,1 (-0,1) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

A precipitação sobre a região NEB é influenciada positivamente nos anos de GRADM negativo, pois esse, geralmente, desloca a ZCIT para sua posição mais ao sul. Observando-se a Figura 4.44, tem-se que as regiões norte e leste em suas pré e estação chuvosa apresentou o aumento de chuvas. Nota-se, na Figura 4.44b, que houve uma pequena redução das chuvas no sul da Bahia no seu principal período chuvoso.

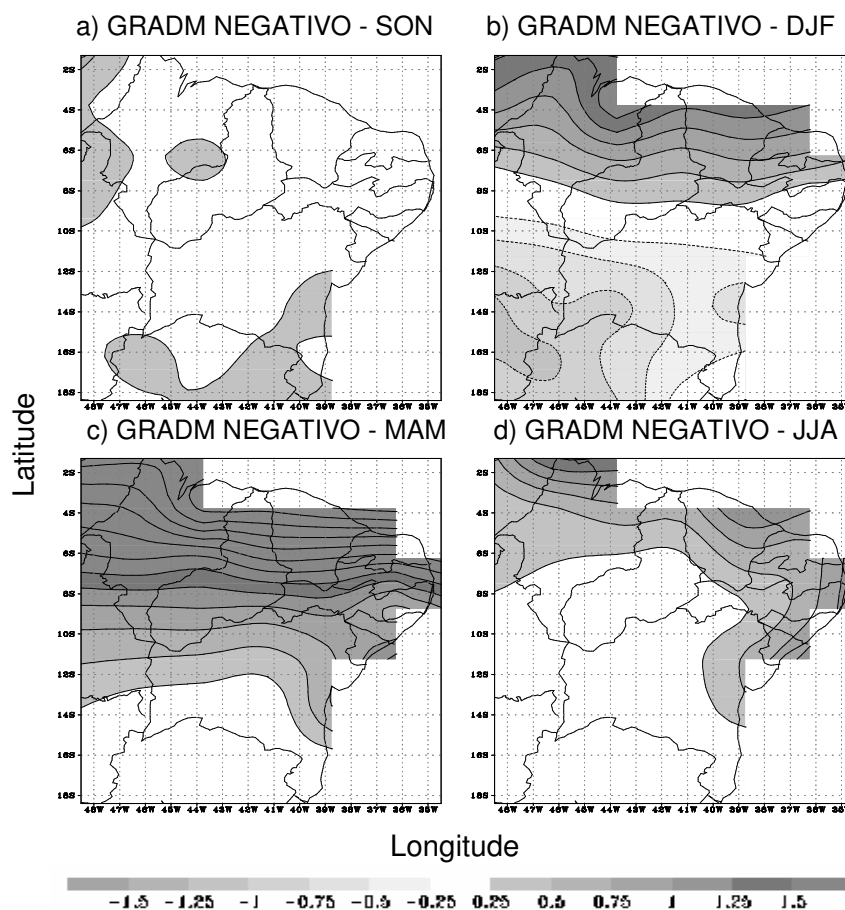


Figura 4.44 - Composições sazonais das **anomalias da precipitação** (mm/dia) observadas do CPC em anos com **GRADM negativo** para SON, DJF, MAM e JJA (em relação da climatologia 1948-1997). Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores das anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,25. Valores das anomalias de precipitação acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

RESUMO DA SEÇÃO 4.3

Nas discussões acerca das composições sazonais de algumas variáveis durante os eventos sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico, como esperado, foram notáveis algumas diferenças nas configurações dos eventos EN, LN, GRADM positivo e negativo.

1. ATSM

Observou-se que as ATSM negativas (característica do evento) sobre o Pacífico nos anos de LN permaneceram em todas as estações. Enquanto que as anomalias positivas em anos de EN no último trimestre (JJA) apresentaram-se fracas. Como verificado por Alves *et al.* (2000), pode se notar que o ATN nas composições de EN apresentou uma relação com o Pacífico (EN canônico) com uma tendência de aquecimento, observadas a partir do trimestre DJF, porém com maior intensidade em MAM. Nas composições de LN, essa característica também foi observada, entretanto nesses eventos ocorreu a partir de SON.

Verificou-se que o GRADM negativo mostrou sua configuração (ATSM positivas no ATS e negativas no ATN) desde o trimestre SON, enquanto o GRADM positivo só é visualizado em DJF (características opostas das ATSM). O evento GRADM positivo apresentou sua configuração máxima em MAM. Já no GRADM negativo, os núcleos ao norte e ao sul não apresentaram seus máximos no mesmo trimestre. Foi observado que, em DJF (MAM), o máximo de ATSM esteve sobre o ATS (ATN). O GRADM negativo parece persistir por mais tempo, sendo bem visível nos compostos do primeiro (SON) até o último trimestre estudado (JJA). Não é uma regra, porém a maioria dos anos com GRADM positivo (negativo) coincidiu com anos de EN (LN).

2. APNM

As anomalias da PNM, durante os quatro eventos, mostraram-se em concordância com as ATSM, indicando um padrão contrário entre os eventos EN e LN, bem como nos anos com GRADM positivo e negativo.

As APNM, na composição de eventos LN, foram negativas sobre o Atlântico Tropical e positivas sobre o Pacífico Tropical, durante o ano inteiro. Configuração oposta ocorre nos eventos EN, principalmente, sobre o Atlântico. No Pacífico, durante os eventos EN, observaram-se APNM negativas, mais intensas, apenas nos trimestres SON e DJF.

Nos anos com GRADM positivo é observado, claramente, o padrão característico do evento também na variável PNM, no Atlântico tropical. No Pacífico é observado padrão semelhante ao de evento EN, contudo com intensidade bem menor. Com o GRADM negativo, a configuração é bem semelhante com a observada nas composições do evento LN.

3. Células de Walker e Hadley

As mudanças que ocorrem nas células de Walker e Hadley são visíveis e diferenciam um pouco em cada tipo de evento.

Observou-se o deslocamento para leste (oeste) da célula de Walker, sobre o Pacífico, nos compostos de EN (LN) nos trimestres SON-DJF (SON-DJF-MAM). Sobre o NEB, verificou-se, nos compostos de EN, um pequeno decréscimo dos movimentos ascendentes em SON e DJF. Em anos de LN, as diferenças entre os campos compostos e o climatológico também são pequenas, porém notou-se a intensificação dos movimentos ascendentes em, praticamente, todos os trimestres. As maiores diferenças entre os campos foram notadas no trimestre DJF nos dois eventos (EN e LN).

Os padrões dos compostos com GRADM positivo revelaram que a célula de Walker sobre o Pacífico leste, tal qual observado nas composições de EN, apresentando seus movimentos descendentes bastante reduzidos em relação à climatologia no

trimestre SON e esses continuaram com intensidades menores nos trimestres seguintes. Já nos anos com GRADM negativo, tem-se o deslocamento da célula para oeste, como visualizado nos padrões de LN. Entretanto, esse padrão de movimentos ainda mostra-se intenso no trimestre JJA, o que não é observado nas composições de LN.

A célula de Hadley nos compostos de EN e LN apresentou os mesmos padrões sobre o NEB, maiores modificações no trimestre MAM, em que se observam movimentos ascendentes reduzidos em relação à climatologia.

A célula de Hadley nesse evento de GRADM positivo e negativo mostrou diferenças nos dois hemisférios. No ATS, com GRADM positivo, verificaram-se diferenças muito pequenas, contudo há uma diminuição dos movimentos ascendentes. Sobre o ATN foi notada também a redução, só que dos movimentos descendentes, com maior intensidade no trimestre MAM.

Nos padrões com GRADM negativo, tem-se que os movimentos descendentes no HN diminuem e na região próxima ao equador existe um aumento dos movimentos ascendentes em DJF e JJA. No HS, as diferenças são muito pequenas.

A célula de Hadley nos anos de GRADM positivo (negativo) não mostrou muita diferença com relação aos anos de EN (LN), apresentando semelhanças entre si.

4. Anomalias da Circulação

Nas composições para a circulação em altos níveis (200 hPa), nos anos de EN e LN, visualizaram-se diferenças pequenas com relação à climatologia. Porém, quando foram analisadas as anomalias, verificaram-se circulações anômalas bastantes interessantes e características opostas nos padrões de EN e LN. Verificou-se que nas figuras de anomalias o escoamento na região equatorial flui no mesmo sentido que a climatologia e composições nos anos de eventos EN, enquanto que nos anos de LN, o escoamento muda de direção, apresentando-se totalmente oposto. Além disso, destacam-se circulações anômalas observadas, ciclônica (anticiclônica) no HS nos compostos de EN (LN) e sobre o HN circulação anticiclônica (ciclônica) próxima a região do Caribe.

Nas composições para GRADM positivo e negativo, observaram-se, tal qual nos eventos de EN e LN, configurações opostas com mudança de direção do escoamento no Atlântico equatorial com o GRADM negativo. Nos trimestre DJF e MAM, a configuração do GRADM positivo se assemelha muito a visualizada nos anos de EN, porém o escoamento na região tropical nos anos de GRADM positivo parece ficar mais confinado no HS, ou seja, deslocado mais para o sul.

5. Anomalias no campo da Divergência

Em se tratando da divergência em baixos níveis sobre o NEB, tem-se que, nos compostos de EN houve uma diminuição dos movimentos convergentes sobre o norte do NEB e um aumento da divergência no leste e centro/sul, inibindo e/ou diminuindo a convecção. Nas composições de LN, observou-se, a partir de DJF, aumento da convergência em 850 hPa, intensificando a convecção em toda a região.

O padrão da divergência do GRADM positivo, em 200hPa, mostrou uma intensificação da divergência no leste e sul e convergência no oeste do NEB (Maranhão e Piauí). Nas composições do GRADM negativo, tal qual se observou nos padrões de LN, houve um aumento da convergência e diminuição da divergência na região. Porém, nesses eventos, as anomalias de divergência foram mais intensas, ou seja, maior atividade convectiva.

Em altos níveis, praticamente, foi observado o oposto do visualizado em baixos níveis, em coerência com o princípio da continuidade de massa.

6. Anomalia Precipitação

Nas composições para a variável precipitação, observou-se que nos anos de eventos EN, ocorreu a diminuição da precipitação para a sub-região norte do NEB, em MAM, seu trimestre mais chuvoso. Essa redução também foi visualizada para o leste, que corresponde a pré-estação chuvosa. Anomalias positivas da precipitação foram notadas no trimestre DJF para a região centro/sul.

Os padrões de LN mostraram uma contribuição positiva para o norte e leste no seu período chuvoso. Para a região centro/sul, houve um aumento das chuvas no período pré-chuvoso e redução em DJF, trimestre mais chuvoso.

Chuvas abaixo da média foram observadas sobre o norte e leste em suas estações pré e chuvosas nos compostos para o GRADM positivo. E uma contribuição positiva para o centro/sul do NEB.

Ao contrário do padrão observado nos compostos de GRADM positivo, o padrão visualizado com o GRADM negativo são chuvas acima da média em praticamente todo o nordeste em MAM e nas estações chuvosas do norte e leste. No centro/sul, em DJF, observam-se anomalias negativas.

4.4 EVENTOS NOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO - INFLUÊNCIA SOBRE A PRECIPITAÇÃO DO NEB

É sabido que os Oceanos Pacífico e Atlântico influenciam a precipitação sobre o NEB, tal qual visualizado nos padrões de algumas variáveis discutidas na seção anterior. Porém, não se pode concluir, a princípio, que em anos de El Niño (EN) ou Gradiente Meridional (GRADM) positivo haja redução das chuvas e que em anos de La Niña (LN) ou GRADM negativo ocorra precipitação acima da média sobre a região NEB, principalmente nas sub-regiões norte e leste. A região centro/sul apresenta, no geral, características opostas às demais.

Não são apenas as condições individuais de cada oceano que interferem sobre o período chuvoso, mesmo sabendo-se que, quando ocorrem estes fenômenos extremos, EN, LN, GRADM positivo e negativo, observam-se mudanças na circulação oceânica, bem como na circulação atmosférica que afetam o globo como um todo, e que a região NEB é um dos lugares afetados por essas mudanças. Sendo assim, é de grande importância realizar estudos sobre como estes fenômenos evoluem e interagem com a atmosfera e entre si e, por conseguinte, verificar o impacto conjunto dessas condições oceânicas e atmosféricas nestes períodos de eventos extremos no Pacífico e Atlântico sobre a precipitação no NEB.

Para isso, elaboraram-se médias sazonais do índice Niño 3.4, para mostrar os eventos EN e LN sobre o Pacífico, e dos índices sobre duas regiões distintas sobre o Atlântico, ATN e ATS, que serão associadas ao GRADM positivo e negativo.

4.4.1 ANOS DE EVENTOS EL NIÑO

Na Figura 4.45, tem-se o índice sazonal da TSM na região Niño 3.4 para os 14 episódios de eventos El Niño (seção 3.3.1) durante o período de 1948/1997. Essa figura mostra a evolução e intensidade sazonal dos eventos nos trimestres SON, DJF, MAM e JJA. Observa-se que cada evento EN tem suas características próprias e sempre se diferencia um do outro, não apresentando um mesmo padrão, apenas anomalias positivas, pelo menos nos dois primeiros trimestres (SON e DJF), que correspondem à

fase de desenvolvimento e madura do EN tal como descrito na literatura (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; WANG, 2002a).

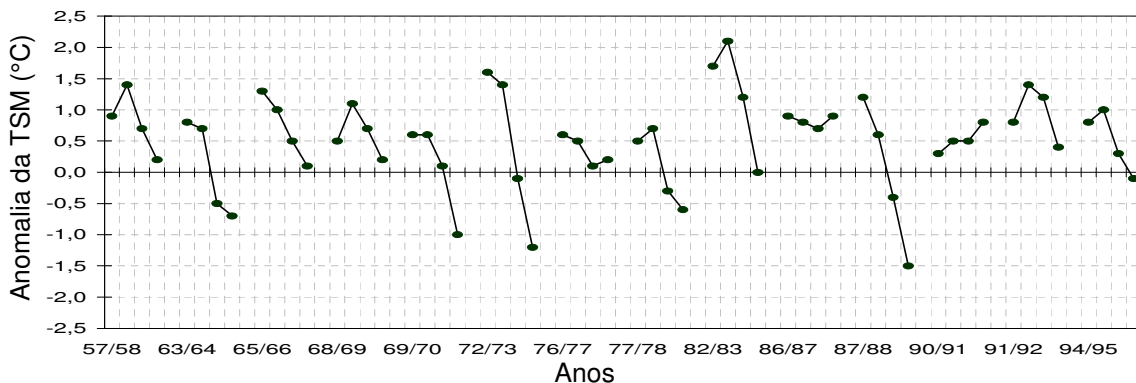


Figura 4.45 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre a Região Niño 3.4 para 14 anos de evento **El Niño**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Os índices sazonais para o Atlântico Norte (ATN) e Atlântico Sul (ATS) nos anos de EN podem ser observados na Figura 4.46. Percebe-se que o ATN apresenta muita variabilidade, mas, em geral, um sinal de anomalias positivas, o que está de acordo com outros estudos que revelam que o ATN sofre influência do EN (PENLAND e MATROSOVA, 1998; SUTTON *et al.*, 2000; GIANNINI *et al.*, 2001; ANDREOLI, 2002; MÉLICE e SERVAIN, 2003). A exceção pode ser visualizada nos EN ocorridos na década de 70 e no início da década de 90 em que as TSM sobre a bacia norte estão ligeiramente abaixo da média. O ATS possui oscilações entre ATSM positivas e negativas. O GRADM mostra-se bem caracterizado, conforme descrito no capítulo 3, seção 3.3.1 nos anos 57/58, 69/70, 72/73, 77/78, porém também pode ser visualizado nos anos 65/66 e 82/83. Após 1976, parece ter aumentado a frequência de GRADM negativo com ocorrência de EN.

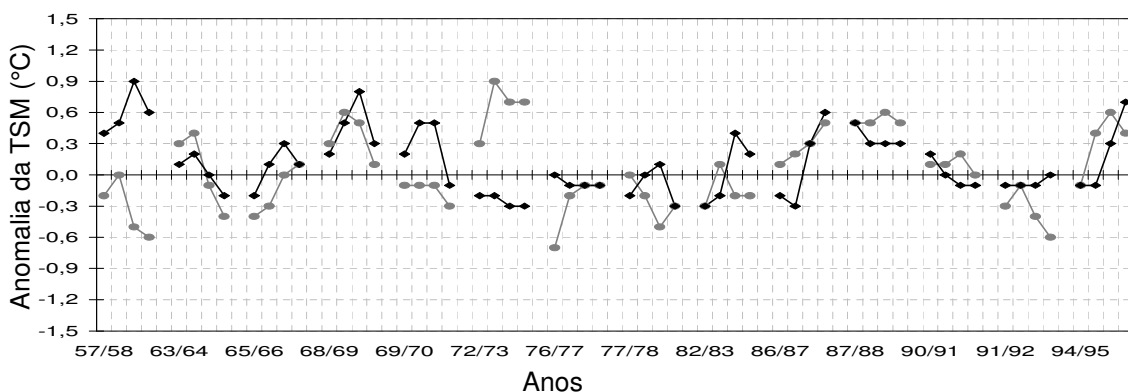


Figura 4.46 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para 14 anos de evento **El Niño**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

As anomalias sazonais das precipitações observadas do CPC em anos de EN para cada sub-região estão exibidas na Figura 4.47 (a, b e c). Ela mostra que o período chuvoso de cada sub-região apresenta uma alta variabilidade da precipitação nesses anos de eventos EN. Para a sub-região 1 - norte (Figura 4.47 a), no trimestre MAM, observa-se que existe um predomínio de precipitações abaixo da normal, o que está em concordância com estudos anteriores que revelam que essa sub-região é bastante afetada pelo fenômeno EN. Porém, os anos de 63/64, 72/73, 87/88, 94/95 apresentaram anomalias de precipitação positivas, vale ressaltar que esses eventos EN foram de curta duração, e, se observar, o GRADM estava negativo. Dessa maneira, pode ser verificada a interação entre os Oceanos Pacífico e Atlântico.

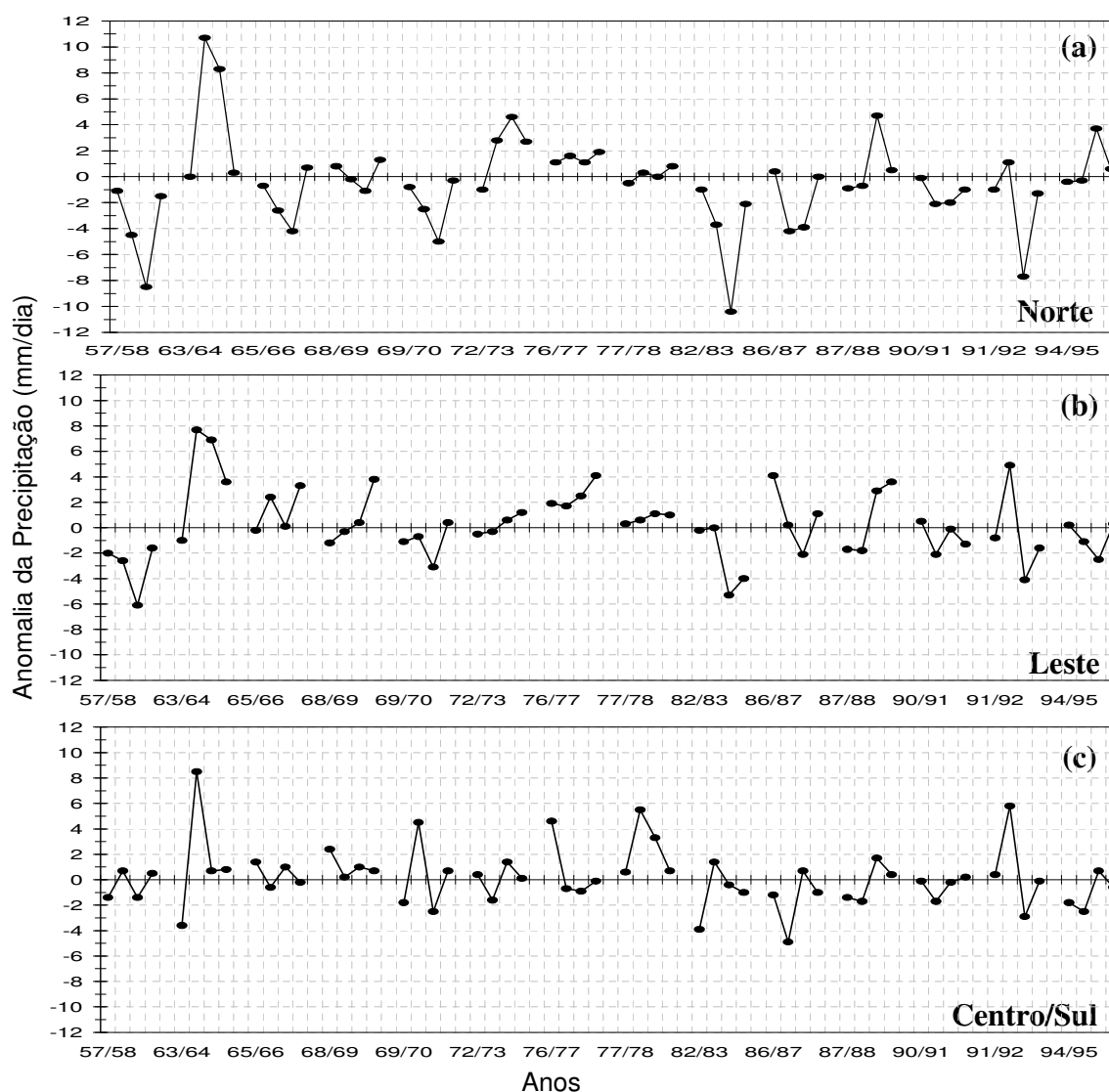


Figura 4.47 - **Anomalia sazonal da precipitação** para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para anos de evento **El Niño**. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Para o leste do NEB (Figura 4.47 b), foram analisados os trimestres MAM e JJA, através dos quais se verificam claramente as fases relacionadas às mudanças ocorridas na década de 70, na qual se observa que os períodos chuvosos, antes de 1978, apresentaram precipitações acima da média e depois valores, geralmente, abaixo da média climatológica.

Sobre a sub-região 3 – Centro/Sul (Figura 4.47 c), observando o trimestre DJF (período chuvoso) em anos de EN, as anomalias de precipitação, em geral, apresentaram-se pequenas e bem próximas da média. Apenas os anos 63/64, 69/70, 77/78 e 91/92 mostram anomalias positivas com maior intensidade e o ano de 86/87 com anomalias negativas. O que chama a atenção é o cruzamento das anomalias pelo eixo x , ou seja, a mudança de anomalias positivas para negativas, ou vice-versa, isso analisando os trimestres que compõem a pré e a estação chuvosa (SON e DJF, respectivamente). Uma explicação plausível pode ser devido à área delimitada que apresenta mais de um regime de precipitação afetando, assim, a análise e o posicionamento da ZCAS.

A partir dos resultados das simulações GOGA e AOGA pode-se visualizar a contribuição de todos os oceanos (através da GOGA), bem como a atuação do Atlântico na simulação AOGA, já que, nessa simulação, foram excluídos os eventos extremos sobre o Pacífico. Sendo assim, através da diferença entre a precipitação simulada pelos dois experimentos e a precipitação observada, pode-se analisar qual a simulação, ou melhor, que oceano contribui mais para o melhor resultado da precipitação nos anos de eventos EN. Nas seções posteriores, será analisada o comportamento das precipitações para os demais eventos sobre o Pacífico (LN) e Atlântico (GRADM positivo e negativo).

Durante os 14 anos de eventos EN, a diferença GOGA-CPC apresentou em 79% dos eventos, a menor diferença em relação à AOGA-CPC (Figura 4.48). Observa-se que as maiores diferenças entre essas precipitações são encontradas nos anos de EN fortes (57/78, 72/73, 82/83, 90/91 e 91/92) o que era esperado, já que, na simulação teste AOGA os eventos extremos são suprimidos. Daí, pode-se concluir que eventos EN com intensidade forte predominaram, contudo é bom sempre lembrar que, mesmo assim, outros fatores corroboram ou não no seu impacto sobre a precipitação na sub-região 1.

Nos anos de eventos moderados e fracos, fica bem claro que as diferenças tornam-se mais próximas, porém ainda pode ser verificado que a diferença GOGA-CPC apresenta os menores valores. Apesar da diferença entre GOGA-CPC e AOGA-CPC ser pequena, pode-se verificar a contribuição do AT em anos de EN, como por exemplo, nos anos de 1977 e 1978. Analisando a Figura 4.46, vê-se que o AT apresentava um GRADM positivo, o que desfavorece a precipitação sobre a sub-região 1 e, como nesses anos o EN é considerado de intensidade fraca, o AT é quem prevaleceu.

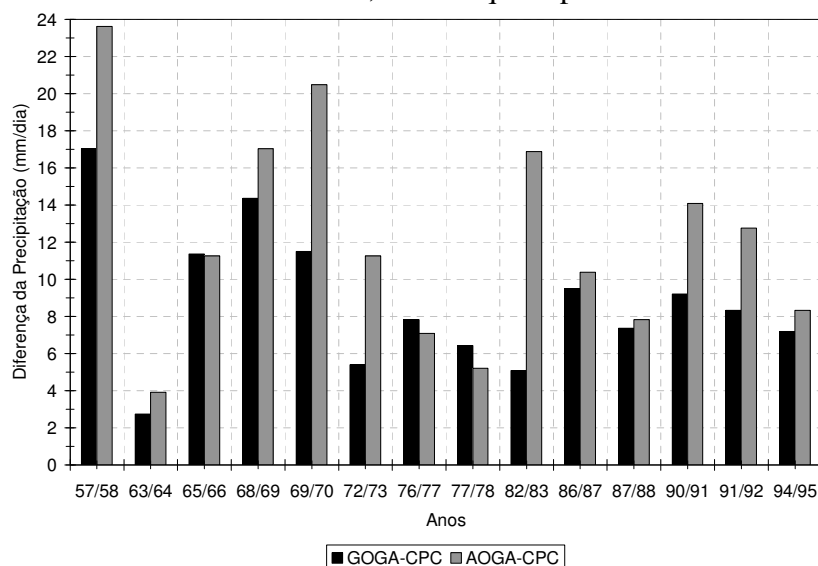


Figura 4.48 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 1.

Apesar de discussões anteriores (seção 4.1.1 – Figura 4.2.(b)) mostrarem que o modelo para a sub-região 2 (leste do NEB) não conseguiu captar o período chuvoso antecipando-o, tem-se que as simulações apresentaram dentre as outras sub-regiões as menores diferenças da precipitação entre as simulações e a observada (vide Figura 4.49), ou seja, conseguiu reproduzir de forma razoável a variável em escala interanual nos anos de evento EN. Ao contrário do que mostra a Figura 4.48 para a sub-região 1, as maiores diferenças entre as simulações não foram só encontradas nos anos de EN considerados fortes, alguns EN de intensidade moderada também apresentaram diferenças intensas. O que chama a atenção é o ano de 1973, ano de EN forte, em que as duas diferenças são praticamente iguais, porém, observando a Figura 4.45, este evento apresentou uma desintensificação muito intensa, e como a estação dessa sub-região 2 ocorre na fase final do evento, isto pode ser uma explicação para esse fato. Entretanto, em termos gerais, a diferença GOGA-CPC foi menor.

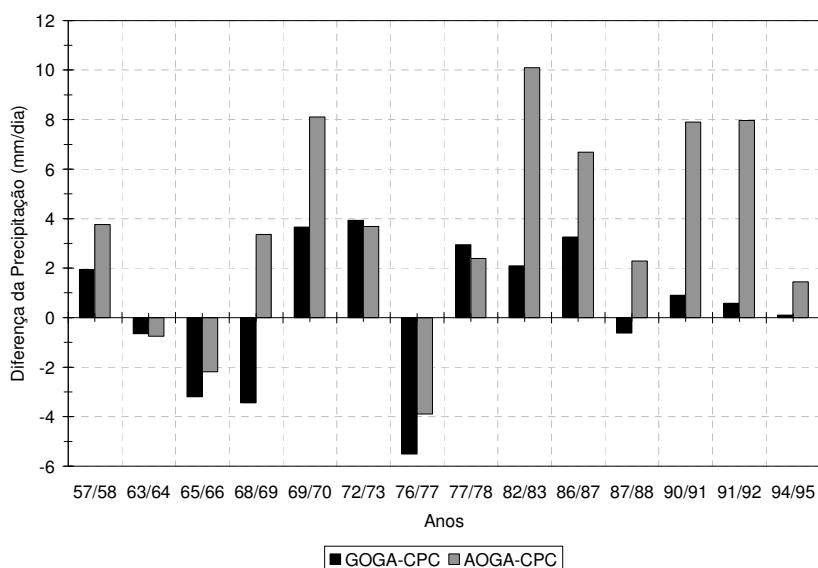


Figura 4.49 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 2.

Analisando a Figura 4.50, observa-se que, em comparação com as outras sub-regiões (1 e 2), a sub-região 3 apresentou as maiores diferenças, o que está de acordo com a figura 4.2 (c), em que o modelo capta bem o período chuvoso, porém sobreestima muito a precipitação. Apesar disso, nota-se que os valores das diferenças entre as duas simulações (AOGA e GOGA) e a CPC são bem próximas, podendo ser um indicativo de que a principal fonte de umidade, para essa sub-região, seja o Oceano Atlântico.

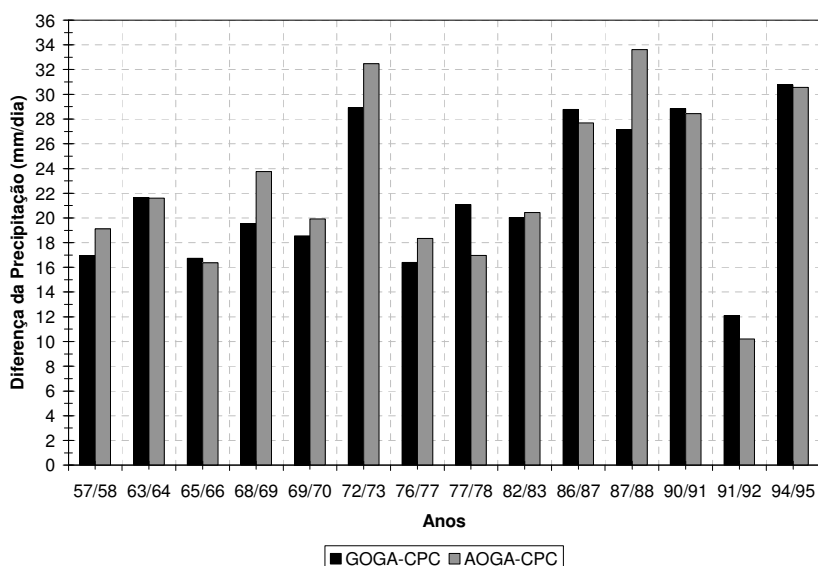


Figura 4.50 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de El Niño para a sub-região 3.

4.4.2 ANOS DE EVENTOS LA NIÑA

Da mesma forma que os eventos EN, o fenômeno La Niña também tem suas características próprias para cada evento (Figura 4.51). Podem-se observar as anomalias negativas da TSM relacionadas ao resfriamento das águas do Pacífico Central Equatorial. Este evento já se encontra configurado no trimestre SON.

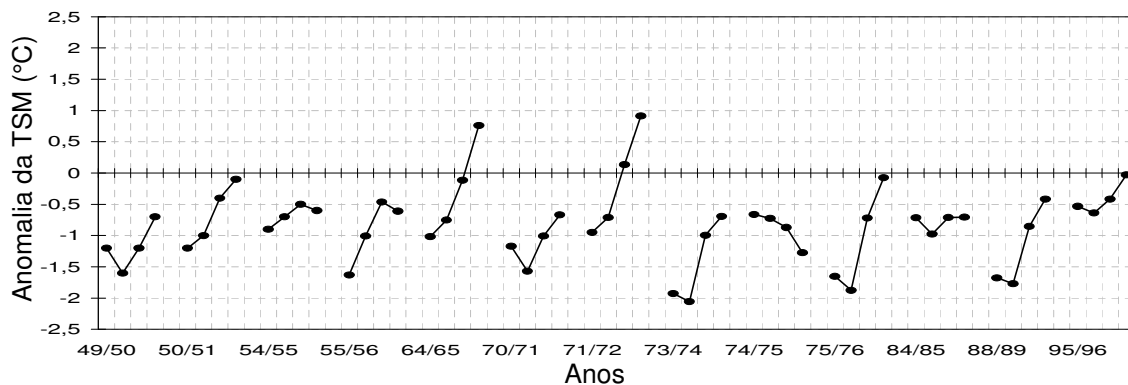


Figura 4.51 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre a Região **Niño 3.4** para anos de evento **La Niña**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Observa-se que as anomalias da TSM no ATS (Figura 4.52) apresentaram-se, até o ano de 1976, predominantemente negativas, com exceção apenas do ano de 1973/74. Após 1976, nota-se uma mudança para anomalias positivas no ATS. Sobre o ATN, as anomalias oscilaram entre positivas e negativas durante o período 1949-1956. Entre 1965-1985 as anomalias foram predominantemente negativas nas duas bacias, ou seja, LN associadas a anomalias negativas. O GRADM é claramente definido em alguns anos do evento La Niña, tais como 55/56, 73/74, 74/75, 84/85, 88/89, mas pode também ser observado (seção 3.3.1) que este gradiente está presente nos anos de 70/71 e 74/75.

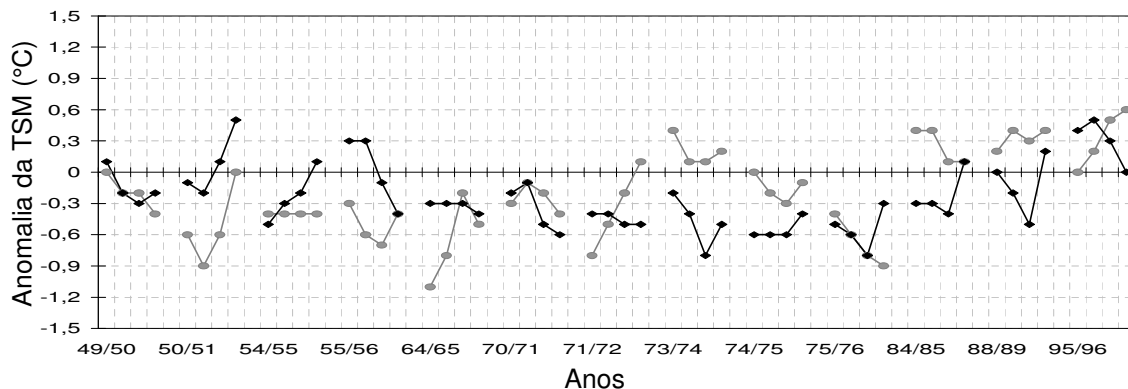


Figura 4.52 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre o **ATS** (linha cinza) e o **ATN** (linha preta) para anos de evento **La Niña**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

A precipitação em anos de LN também apresentou uma grande variabilidade sobre as sub-regiões 1 e 2 (Figura 4.53 a e b). Nas sub-regiões, após 1976, foram observadas precipitações acima da média com maiores anomalias que as do período anterior, a exceção ocorre no ano de 1976 em que se observa, nas duas sub-regiões, redução das chuvas no período chuvoso. Verifica-se que, no período anterior a 1976, as anomalias de precipitação sobre a sub-região 1 oscila nos períodos chuvosos entre valores negativos e positivos, e sobre a sub-região 2, as anomalias de precipitação também demonstram oscilações, porém essas são pequenas, podendo-se dizer que os períodos chuvosos ocorreram em torno da média. A sub-região 3 (Figura 4.53 c) apresentou, em anos de LN, anomalias de precipitação na maioria dos casos negativas ou em torno da média climatológica.

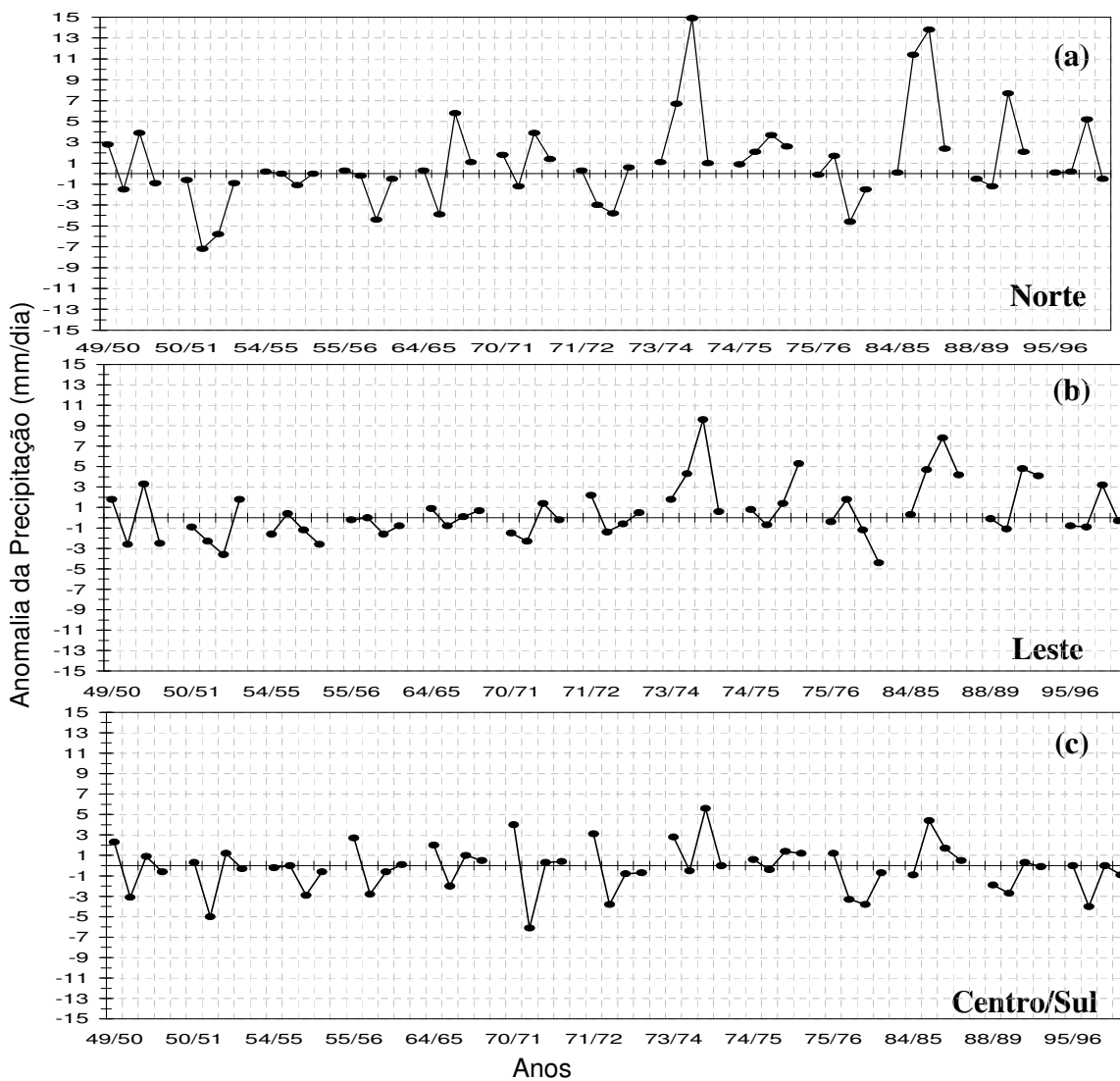


Figura 4.53 - Anomalia sazonal da Precipitação para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para anos de evento La Niña. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Observa-se, na Figura 4.54, que, diferente dos resultados encontrados em anos de EN na sub-região 1, a diferença AOGA-CPC nos eventos LN apresenta as menores diferenças. A exceção é para os anos de 1974 e 1985 em que a diferença GOGA-CPC foi menor e para o ano de 1996 quando as diferenças foram idênticas. Assim, mesmo sabendo que essa sub-região sofre a influência das condições sobre o Pacífico, esses resultados mostram que as condições sobre o Atlântico contribuem para a precipitação nos anos de LN.

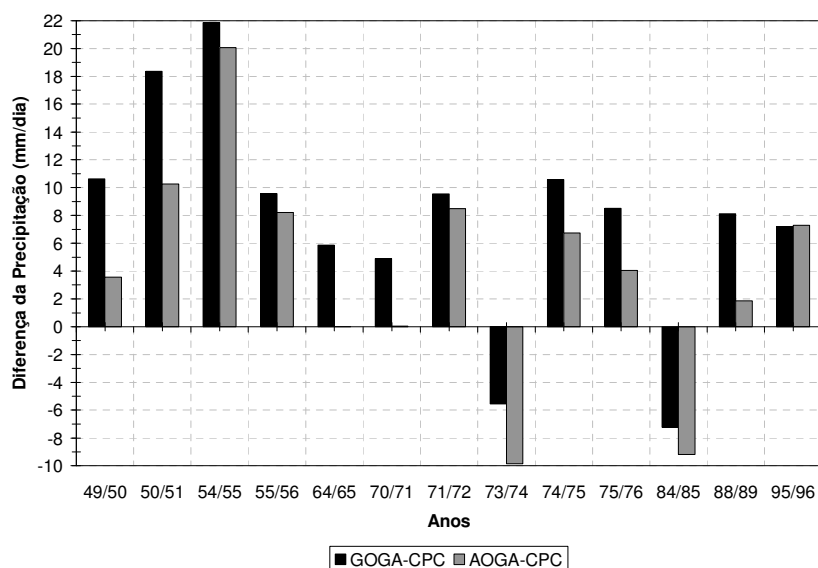


Figura 4.54 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos de **La Niña** para a **sub-região 1**.

Analisando a Figura 4.55 para o período AMJJ sobre o leste do NEB (sub-região 2), observa-se que as diferenças oscilaram muito, mostrando, assim, que essa sub-região necessita de estudos mais detalhados para verificar o impacto de cada evento e a ação conjunta dos oceanos Pacífico e Atlântico sobre a precipitação. Da mesma forma que nos anos de eventos EN, essa sub-região apresenta os menores valores das diferenças entre as simulações e a observada.

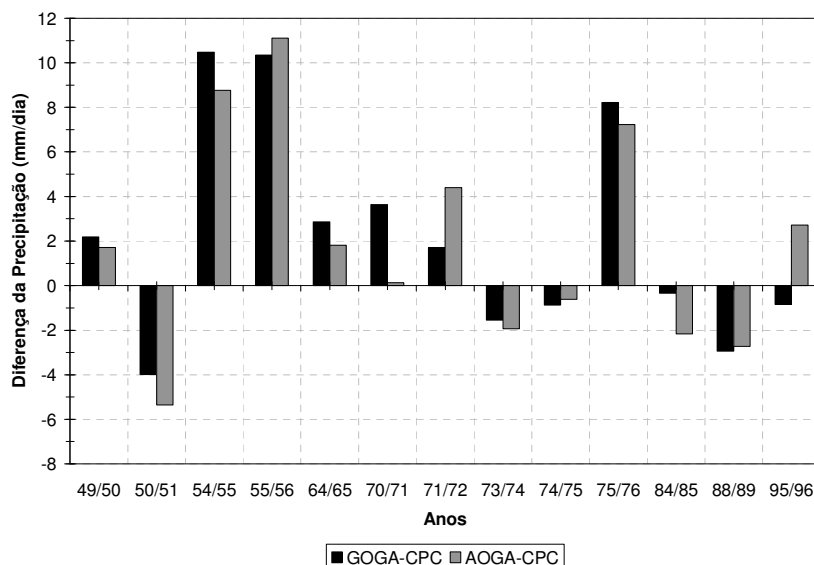


Figura 4.55 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos de **La Niña** para a **sub-região 2**.

A Figura 4.56 mostra altos valores da diferença entre GOGA-CPC e AOGA-CPC para a sub-região 3, resultado também verificado nos anos de EN. Entretanto, a figura revela que, em anos de La Niña, a diferença AOGA-CPC apresentou em 12 dos 13 casos os menores valores em relação à GOGA-CPC, sugerindo que, nesses anos, essa sub-região é influenciada pelo Oceano Atlântico.

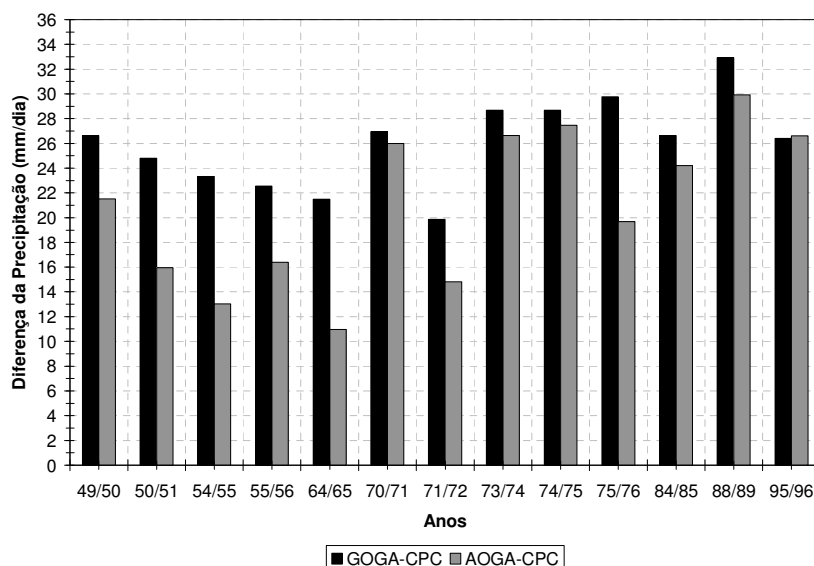


Figura 4.56 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC/NOAA (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de **La Niña** para a **sub-região 3**.

4.4.3 ANOS COM GRADIENTE MERIDIONAL POSITIVO

Nos anos com GRADM positivo, tal como esperado, observa-se que as anomalias sazonais da TSM sobre o ATN se apresentam, em geral, com valores positivos e negativos sobre o ATS (Figura 4.57), configurando, assim, o gradiente da TSM apontando para o norte. É notado que as maiores diferenças entre as anomalias sobre o ATN e ATS são encontradas nos trimestres DJF e MAM, principalmente neste último. As anomalias da TSM sobre o Atlântico em comparação com as observadas no Pacífico durante o fenômeno ENOS são bem menores, atingindo um máximo de $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$.

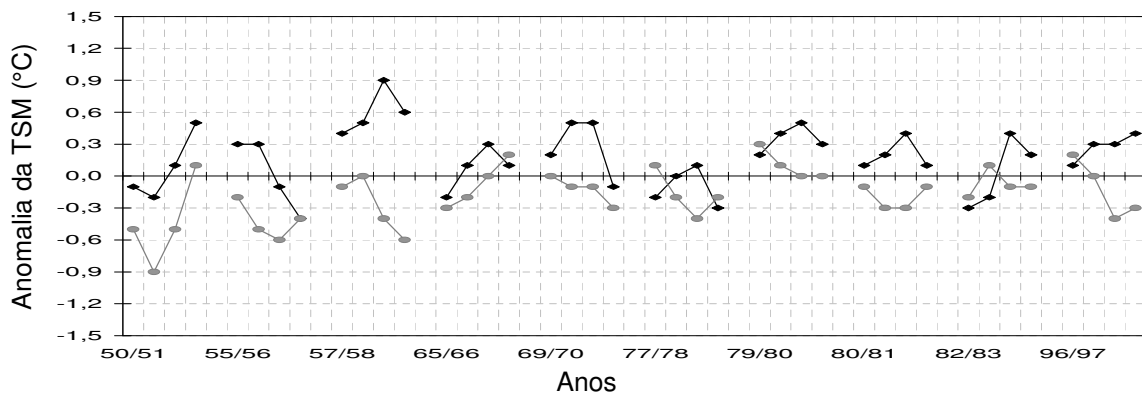


Figura 4.57 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre o ATS (linha cinza) e o ATN (linha preta) para anos com **GRADM positivo**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Verifica-se na Figura 4.58 que, nos anos com GRADM positivo, a região do Niño 3.4 apresentou valores, na maioria dos casos, positivos, associados ao evento EN configurado sobre o Pacífico.

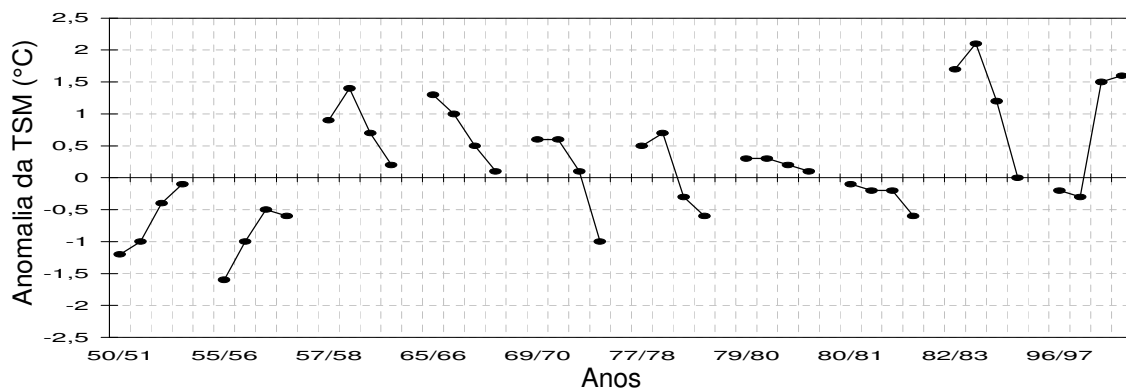


Figura 4.58 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre a região **Niño 3.4** para anos com **GRADM positivo**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

As anomalias sazonais da precipitação em anos de gradiente apontando para o norte (GRADM positivo) podem ser visualizadas na Figura 4.59. Elas apresentaram uma variabilidade bem menor em comparação aos anos de eventos ENOS em que se observou uma alta variabilidade (vide Figuras 4.47 e 4.53).

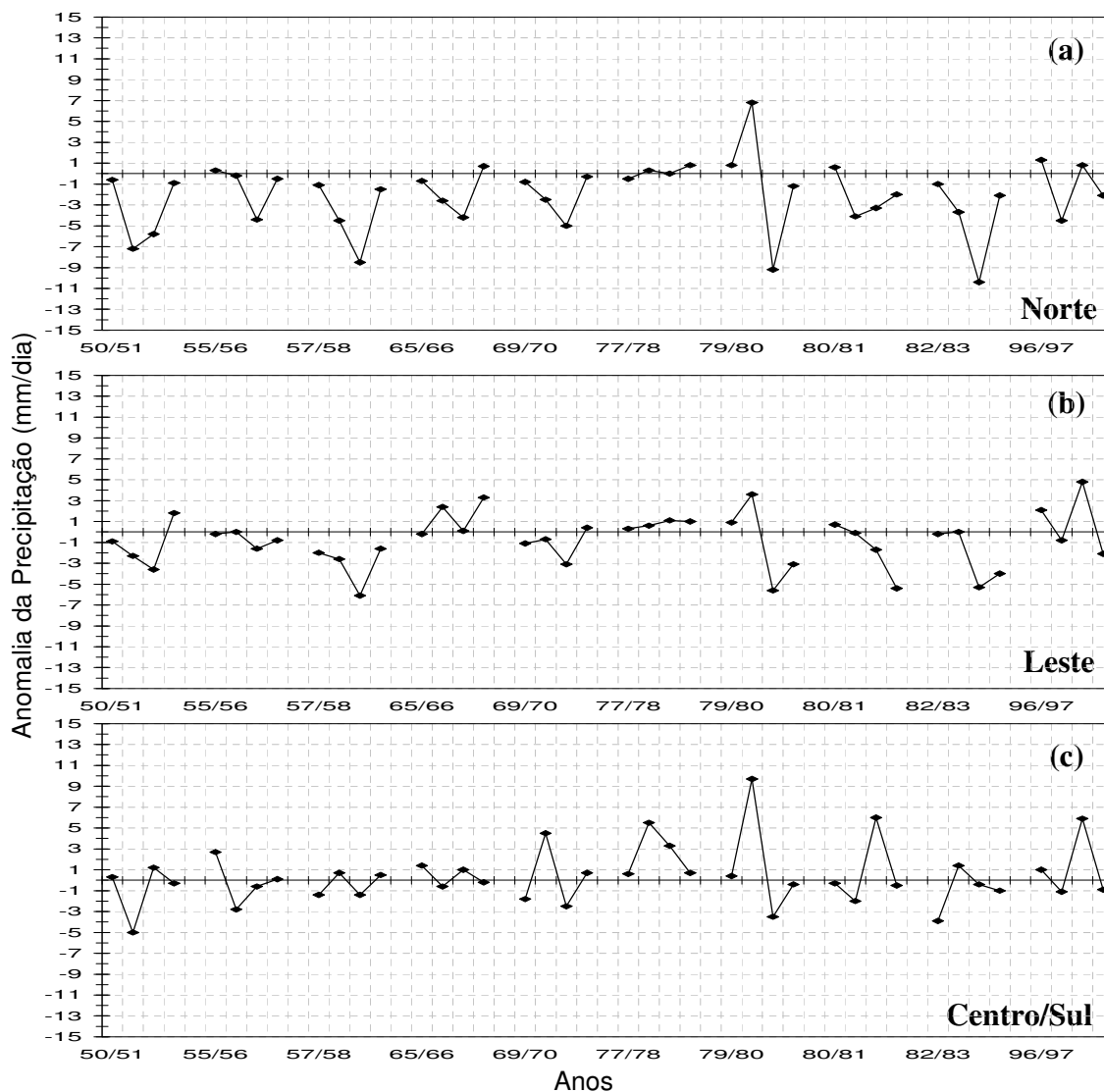


Figura 4.59 - **Anomalia sazonal da precipitação** para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do **CPC/NOAA** para 10 anos com **GRADM positivo** (gradiente para norte) sobre a bacia do Atlântico. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

Nota-se que a estação chuvosa MAM para a sub-região 1 (Figura 4.59a) é afetada com anomalias negativas de precipitação em praticamente todos os anos, com exceção apenas dos anos de 78 e 97, quando foram observados valores em torno da média climatológica. Esse resultado está coerente com estudos anteriores (NOBRE e SHUKLA, 1996; dentre vários outros), os quais mostram que este GRADM provoca o

deslocamento da ZCIT para sua posição mais ao norte e, em consequência, existe uma redução da precipitação na estação chuvosa do norte do NEB. Além desse fator, GRADM positivo, também foi observado o predomínio de eventos EN que, juntamente com este gradiente, atua no sentido de reduzir as chuvas sobre a estação chuvosa da sub-região.

A sub-região 2 (leste) também sofre o impacto desse GRADM positivo, podendo ser observado na Figura 4.59b, que a precipitação abaixo da normal é uma característica, porém em alguns anos, como 65/66, além de 50/51 e 96/97, apresenta valores positivos ou oscilando entre positivo e negativo.

Observa-se que a sub-região 3 (Figura 4.59c) parece não ser influenciada apenas pelo GRADM positivo, notando-se pequenas anomalias oscilando entre valores negativos e em torno da média, no período antes de 70 e após 80. Na década de 70, observa-se que as anomalias de precipitação são positivas apresentando anomalias maiores do que o resto do período. Essa sub-região talvez seja influenciada mais pelas condições em que se encontra o ATS do que o GRADM em si.

A diferença da precipitação simulada pelos dois experimentos do modelo ARPEGE no período chuvoso de cada sub-região com a precipitação observada é mostrada nas Figuras 4.60, 4.61 e 4.62 (respectivamente para a sub-região 1, 2 e 3). Observa-se que, para a sub-região 1 (Figura 4.60), a diferença GOGA-CPC apresentou-se com menores valores para 4 anos e a diferença AOGA-CPC para o mesmo número de anos, e, em 2 casos, elas apresentaram a mesma diferença. Esses resultados confirmam estudos anteriores, os quais mostram que a sub-região 1 sofre o impacto do deslocamento da ZCIT em consequência do GRADM positivo, bem como do fenômeno EN que predominou nesses anos.

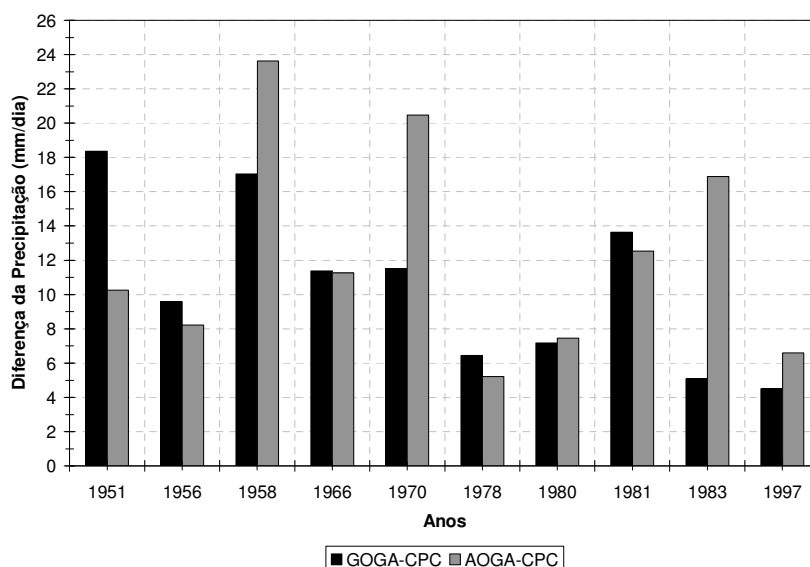


Figura 4.60 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM positivo para a sub-região 1.

Para a sub-região leste (Figura 4.61), são observados os menores valores de diferenças entre GOGA-CPC e AOGA-CPC, como vem sendo encontrado nos resultados anteriores para anos de ENOS. Observa-se que ora uma ora outra diferença entre GOGA-CPC e AOGA-CPC apresenta os menores valores.

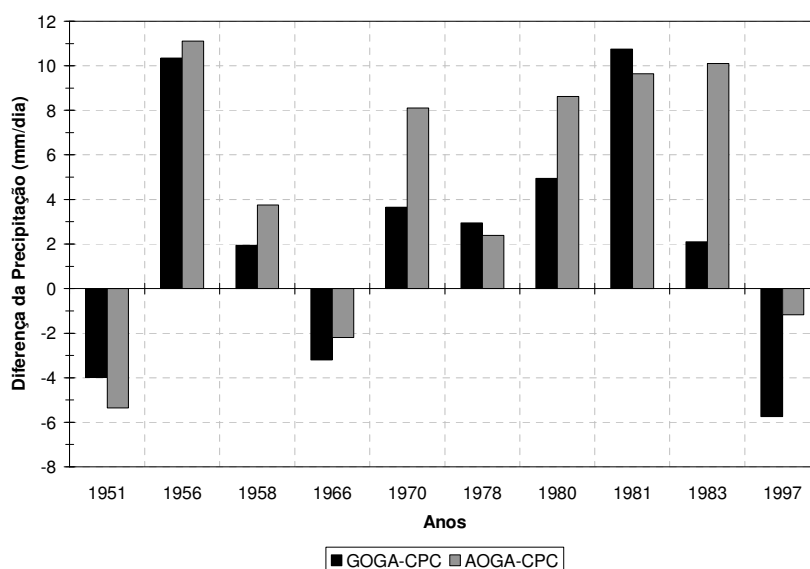


Figura 4.61 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM positivo para a sub-região 2.

A sub-região 3 continua a mostrar os altos valores da diferença da precipitação GOGA-CPC e AOGA-CPC (Figura 4.62), e, embora essas diferenças encontrem-se bem próximas, as exceções são visualizadas nos anos de 1951, 1956 e 1978, quando as diferenças são um pouco maiores e AOGA-CPC apresentou os menores valores.

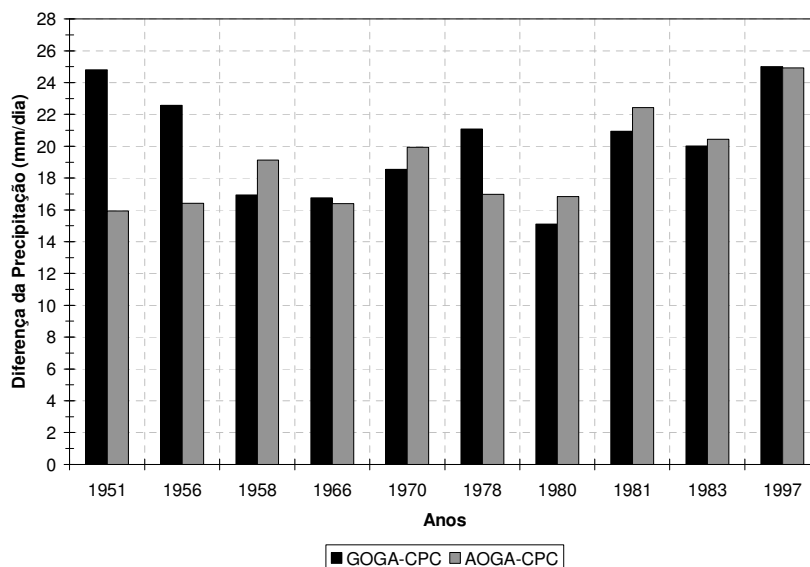


Figura 4.62 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (**GOGA-CPC e AOGA-CPC**), nos anos com **GRADM positivo** para a **sub-região 3**.

4.4.4 ANOS COM GRADIENTE MERIDIONAL NEGATIVO

Nesses anos com GRADM negativo, observam-se valores de anomalias da TSM sazonais negativas sobre o ATS e positiva no ATN, configurando este gradiente com sentido para sul (Figura 4.63). Da mesma forma que encontrado para o GRADM positivo, os maiores valores entre as duas bacias sobre o Atlântico são encontrados nos meses de MAM. Nesses eventos, predominou sobre o Oceano Pacífico anos de LN (Figura 4.64).

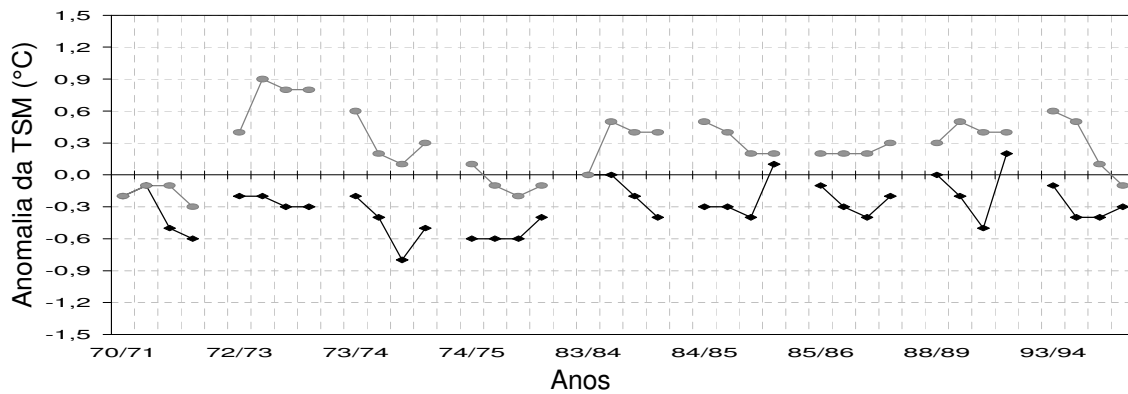


Figura 4.63 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre o **ATS** (linha cinza) e o **ATN** (linha preta) para anos com **GRADM negativo**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

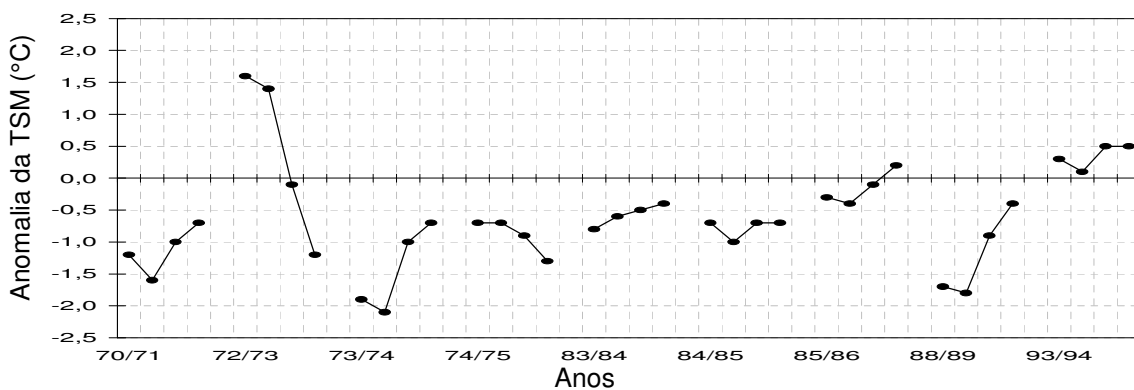


Figura 4.64 - **Anomalia sazonal da TSM** sobre a **Região Niño 3.4** para anos com **GRADM negativo**. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

As anomalias sazonais de precipitação para a sub-região 1 e 2 (Figura 4.65a e 4.65b) mostram a grande influência do gradiente meridional negativo sobre a precipitação, isso é explicado pela localização da ZCIT na sua posição mais ao sul, favorecendo, assim, a precipitação sobre o NEB, principalmente sobre essas sub-regiões. Vale ressaltar que não só o oceano Atlântico apresenta condições favoráveis à precipitação. Como dito anteriormente, observa-se, na maioria dos anos, sobre o Pacífico a configuração do evento LN que, em geral, também influencia positivamente na precipitação do NEB. Sobre a sub-região 3, verificam-se anomalias oscilando em torno da média, com maiores anomalias negativas observadas no ano de 70/71 e 83/84 e anomalias positivas no ano de 84/85.

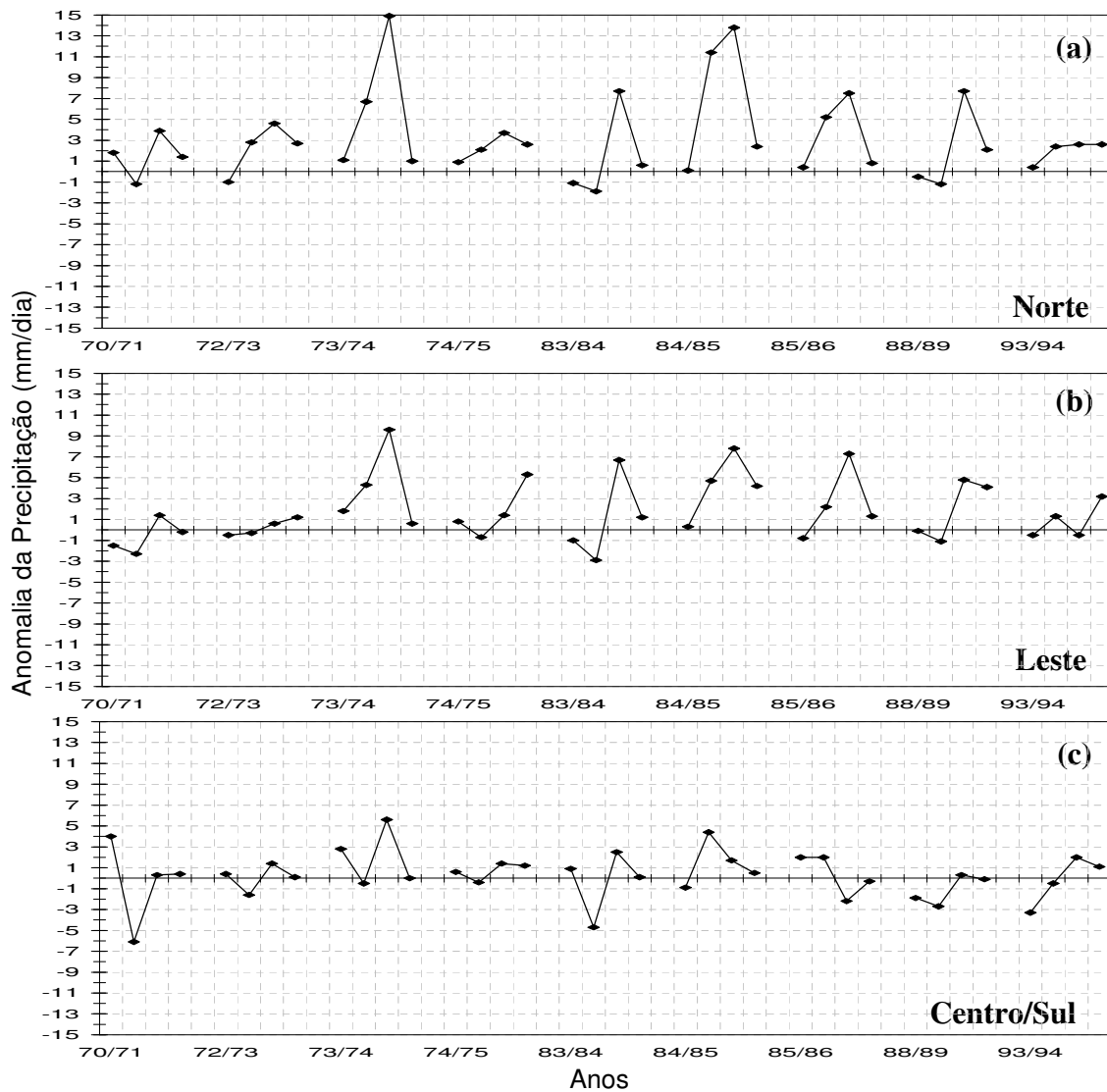


Figura 4.65 - **Anomalia sazonal da precipitação** para as três sub-regiões sobre o NEB com os dados observados do CPC/NOAA para 09 anos com GRADM negativo sobre a bacia do Atlântico. (a) Sub-região 1 – Norte; (b) Sub-região 2 – Leste e (c) Sub-região 3 – Centro/Sul. Os trimestres são, respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano.

As diferenças entre as precipitações simuladas e as observadas são visualizadas nas Figuras 4.66, 4.67 e 4.68, respectivamente para as sub-regiões 1, 2 e 3. Nota-se para a sub-região 1 (norte) nos anos com GRADM negativo que apresentam os menores valores das diferenças em comparação aos outros casos de eventos ENOS e GRADM positivo. Contudo, os resultados mostram que ora uma ora outra diferença apresenta os menores valores.

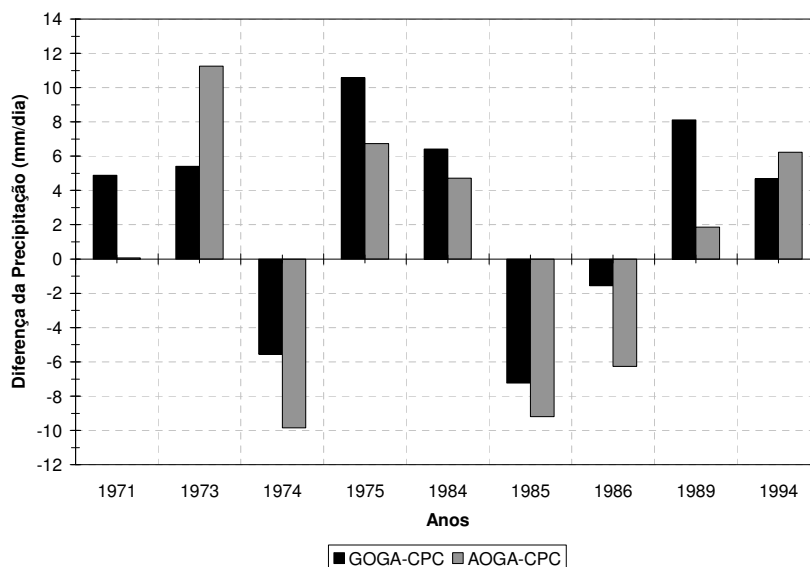


Figura 4.66 - Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 1.

Na sub-região 2 (Figura 4.67), foi observado, em todos os eventos, que ela apresenta os menores valores das diferenças da precipitação. Da mesma forma que encontrado para a sub-região 1, as diferenças oscilam dependendo dos anos.

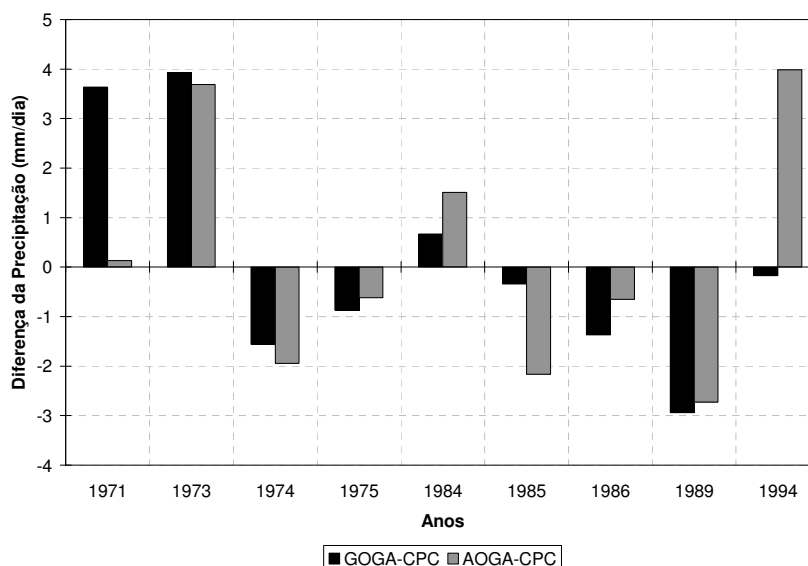


Figura 4.67 - Diferença da precipitação (AMJJ) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 2.

No centro/sul (sub-região 3), observa-se, em conformidade com os eventos discutidos anteriormente, que nessa área são encontrados os maiores valores das diferenças entre as precipitações simuladas e observadas. Nessa sub-região (Figura

4.68) é notado que as diferenças entre as duas simulações e as observadas são bem próximas, demonstrando que o Atlântico apresenta as maiores influências.

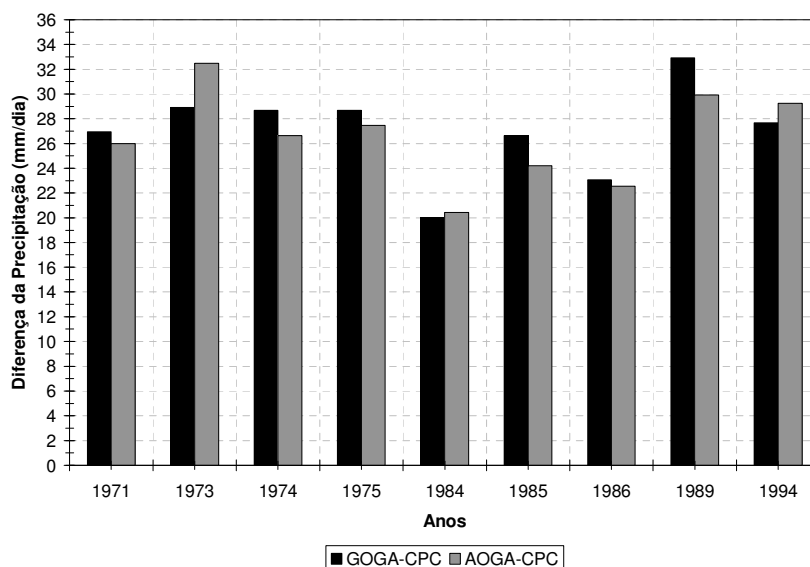


Figura 4.68 - Diferença da precipitação (NDJF) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC), nos anos com GRADM negativo para a sub-região 3.

RESUMO DA SEÇÃO 4.4.

Em resumo, tem-se que em anos de EN e LN a precipitação sobre as três sub-regiões apresenta alta variabilidade, o que não foi observado nos anos com GRADM positivo ou negativo, que demonstra um resultado praticamente “direto”.

O impacto sobre a precipitação observada na sub-região 1 (norte do NEB), em anos de EN, é bem caracterizado por anomalias negativas (período de secas) como descrito na literatura.

Em anos de LN, observa-se, na sub-região 1 e 2, dois períodos com impactos contrastantes, antes de 76, com predomínio de anomalias de precipitação negativas (redução das chuvas), e após este ano, anomalias positivas (chuvas acima da média climatológica), além de apresentarem valores maiores do que o período anterior, que podem estar relacionados às mudanças ocorridas nesta época.

A sub-região 3 mostra impactos contrários aos encontrados em geral para as outras sub-regiões, ou seja, em anos de EN anomalias variando da normal a acima e nos anos de LN anomalias oscilando da normal a abaixo.

As sub-regiões 1 e 2 em anos com GRADM negativo apresentam anomalias de precipitação positivas, situação contrária observou-se nos anos de GRADM positivo, ou seja, anomalias de precipitação negativas. Para a sub-região 3 não foi verificado nenhum padrão.

Com relação à diferença da precipitação entre as simulações do modelo ARPEGE e os dados observados do CPC, observam-se, em geral, que, sobre as sub-regiões 1 e 2 em anos de EM, a diferença GOGA-CPC apresenta os menores valores, ou seja, a ação conjunta dos oceanos globais.

Nos anos de LN, observa-se o contrário, a diferença AOGA-CPC mostra os menores valores, mostrando assim a contribuição do Atlântico.

Em todos os eventos são verificados os menores valores da diferença entre GOGA-CPC e AOGA-CPC sobre a sub-região 2 (leste do NEB). Os resultados mais críticos serão para a sub-região 3 (centro/sul do NEB), onde se observa as maiores diferenças.

Todos os resultados obtidos a partir dessa seção mostram realmente que os eventos extremos, tanto no Pacífico quanto no Atlântico, influenciam a precipitação sobre as sub-regiões do NEB, mas não de maneira igual e direta. Dessa forma, são necessários estudos mais detalhados, observando-se as condições oceânicas e atmosféricas em anos chuvosos e secos com o intuito de tentar compreender as reais contribuições dos eventos sobre cada uma das áreas estudadas. Para isso, na seção posterior serão realizados cenários para anos de eventos EN e LN, bem como os com GRADM positivo e negativo, relacionados a precipitações abaixo e acima da climatologia nas três sub-regiões em estudo, a partir das Figuras 4.47, 4.53, 4.59 e 4.65.

4.5 CENÁRIOS MENSAIS DO PERÍODO CHUVOSO DE CADA REGIÃO EM ANOS DE EVENTOS NOS OCEANOS

A seguir, são mostrados os cenários criados a partir das anomalias de precipitações visualizadas na seção anterior (4.4) para os anos de eventos extremos. Esses foram elaborados separadamente para cada evento de El Niño (EN), La Niña (LN), Gradiente Meridional (GRADM) positivo e negativo, relacionados com a ocorrência de precipitação abaixo e acima da climatologia sobre as três sub-regiões do NEB, obtidas através das médias trimestrais para o período chuvoso de cada sub-região.

Na Tabela 4.1, foram listados os anos de eventos EN, LN, GRADM positivo e GRADM negativo relacionados com precipitação acima ou abaixo da normal. Essa tabela foi construída para cada sub-região a partir das precipitações observadas mostradas nas Figuras 4.47, 4.53 e 4.65. Observa-se que, durante o evento El Niño, apenas a região Norte do NEB (Sub-região 1) apresentou um maior percentual de anos com precipitações abaixo da climatologia. As outras sub-regiões, como podem ser observadas, apresentaram períodos chuvosos acima e abaixo da climatologia, sugerindo que o EN não seja a forçante predominante e que parte da variabilidade seja proveniente do Atlântico.

Nos anos de La Niña, as sub-regiões 1 e 2, em geral, apresentaram um aumento na precipitação. Esse mesmo resultado não foi visualizado na sub-região 3, onde se observa o contrário, seca no período DJF.

A análise da Tabela 4.1 sugere que não se podem tirar conclusões a partir somente das condições sobre o Pacífico. Com relação aos anos com GRADM positivo ou negativo no Atlântico sobre as sub-regiões 1 e 2, nota-se uma grande influência sobre a precipitação apresentando anomalias negativas relacionadas com o GRADM positivo e anomalias positivas ao GRADM negativo.

Tabela 4.1 - Classificação dos anos no(s) trimestre(s) chuvosos para cada sub-região de acordo com a precipitação e os eventos El Niño, La Niña, Gradiente meridional positivo e Gradiente meridional negativo.

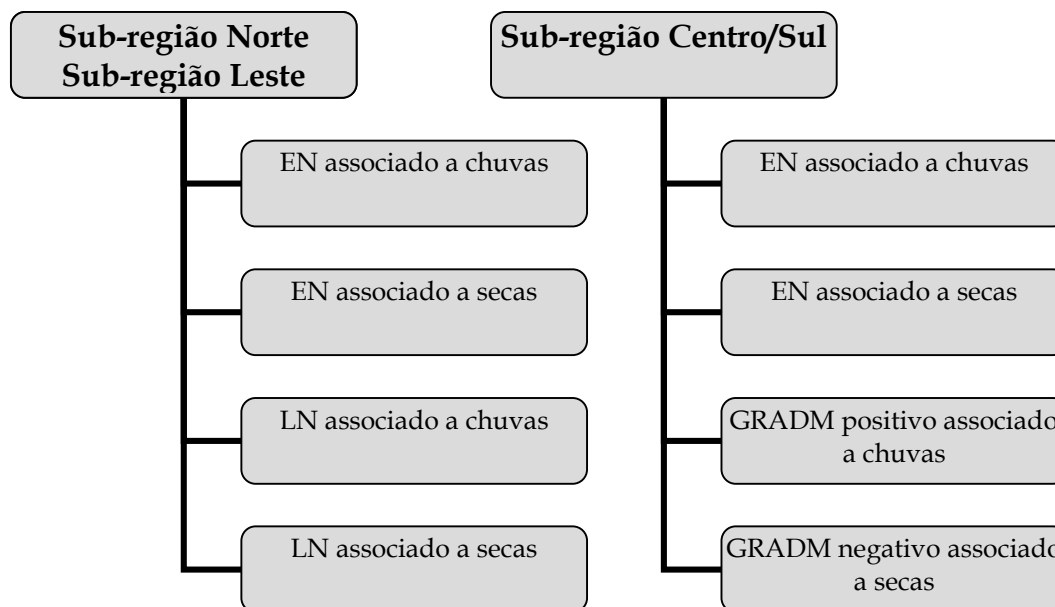
SUB-REGIÃO R1 Norte (MAM)	El Niño		La Niña		GRADM positivo		GRADM negativo	
	P +	63/64; 72/73; 76/77; 87/88; 94/95	P +	49/50; 64/65; 70/71; 73/74; 74/75; 84/85; 88/89; 95/96	P +	96/97	P +	70/71; 72/73; 73/74; 74/75; 83/84; 84/85; 85/86; 88/89; 93/94
P -	57/58; 65/66; 68/69; 69/70; 82/83; 86/87; 90/91; 91/92	P -	50/51; 54/55; 55/56; 71/72; 75/76	P -	50/51; 55/56; 57/58; 65/66; 69/70; 79;80; 80/81; 82/83	P -	Nenhum caso	
SUB-REGIÃO R2 Leste (MAM / JJA)	El Niño		La Niña		GRADM positivo		GRADM negativo	
	P +	63/64; 65/66; 68/69; 72/73; 76/77; 77/78; 87/88	P +	64/65; 70/71; 73/74; 74/75; 84/85; 88/89; 95/96	P +	65/66; 77/78	P +	70/71; 72/73; 73/74; 74/75; 83/84; 84/85; 85/86; 88/89; 93/94
P -	57/58; 69/70; 82/83; 90/91; 91/92; 94/95	P -	54/55; 55/56; 75/76	P -	55/56; 57/58; 69/70; 79/80; 80/81; 82/83	P -	Nenhum caso	
SUB-REGIÃO R3 Centro/sul (DJF)	El Niño		La Niña		GRADM positivo		GRADM negativo	
	P +	57/58; 63/64; 68/69; 69/70; 77/78; 82/83; 91/92	P +	84/85	P +	57/58; 69/70; 77/78; 79/80; 82/83	P +	84/85; 85/86
P -	65/66; 72/73; 76/77; 86/87; 87/88; 90/91; 94/95	P -	49/50; 50/51; 55/56; 64/65; 70/71; 71/72; 75/76; 88/89; 95/96	P -	50/51; 55/56; 65/66; 80/81; 96/97	P -	70/71; 72/73; 83/84; 88/89	

Legenda:

P + precipitação acima da média climatológica

P - precipitação abaixo da média climatológica

Diante do exposto, encontra-se, a seguir, um estudo detalhado a partir da análise mensal das ATSM e das anomalias de precipitação geradas pelas duas simulações do ARPEGE, bem como, para comparação, a precipitação observada do CPC, para cenários criados a partir da Tabela 4.1, em cada uma das sub-regiões. O organograma a seguir mostra os cenários elaborados para as três sub-regiões.



O intuito dessa análise dos cenários é obter um melhor entendimento sobre a influência isolada e conjunta dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais.

4.5.1 SUB-REGIÃO NORTE DO NEB

4.5.1.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média

Anos (63/64, 72/73, 76/77, 87,88, 94/95)

Na Figura 4.69, tem-se as ATSM para o cenário EN com precipitações acima da média climatológica (1948-1997) para a sub-região 1 (norte do NEB), durante os meses de dezembro a maio. Pode-se observar que, sobre o Pacífico, o evento EN estava bem configurado nos meses de dezembro e janeiro, porém, em março, o mesmo já apresenta sinais de enfraquecimento na costa oeste da América do Sul (Figura 4.69c). Em março, já são visualizadas ATSM negativas desenvolvendo-se na costa do Peru que

intensificaram e se expandiram para oeste nos meses seguintes (abril e maio), indicando a configuração do padrão de La Niña.

Em relação ao Oceano Atlântico (Figura 4.69) predominou o padrão GRADM negativo, embora as anomalias da TSM no ATN fossem pequenas. Esse padrão de anomalias com sinais opostos em relação ao equador gera um gradiente de norte para sul (GRADM negativo) que, segundo a literatura (MOURA e SHUKLA, 1981; ANDREOLI e KAYANO, 2004; HASTENRATH, 2006), desloca a ZCIT para sua posição mais ao sul o que é favorável à precipitação nessa sub-região.

Embora o EN tenha se mostrado configurado, ele se dissipou rapidamente e o Atlântico apresentou condições favoráveis para a precipitação na sub-região norte.

As anomalias de precipitação estão apresentadas nas Figuras 4.70. Apesar delas terem sido geradas para toda a região NEB, a análise se concentrou somente na sub-região 1.

Os dados observados do CPC (Figuras 4.70 - lado direito) mostram anomalias positivas sobre a sub-região 1, com exceção do mês de março, quando foram verificadas anomalias negativas no sudeste do Maranhão e Piauí.

Nas simulações provenientes do modelo, observa-se que, em dezembro, janeiro e fevereiro, a simulação AOGA apresentou resultados melhores em comparação com os dados do CPC. Em março e abril (Figura 4.70), as simulações não conseguiram reproduzir o padrão espacial das anomalias de precipitação aparente nas observações. Em maio, as duas simulações praticamente mostraram os mesmos resultados e esses concordam com os observados.

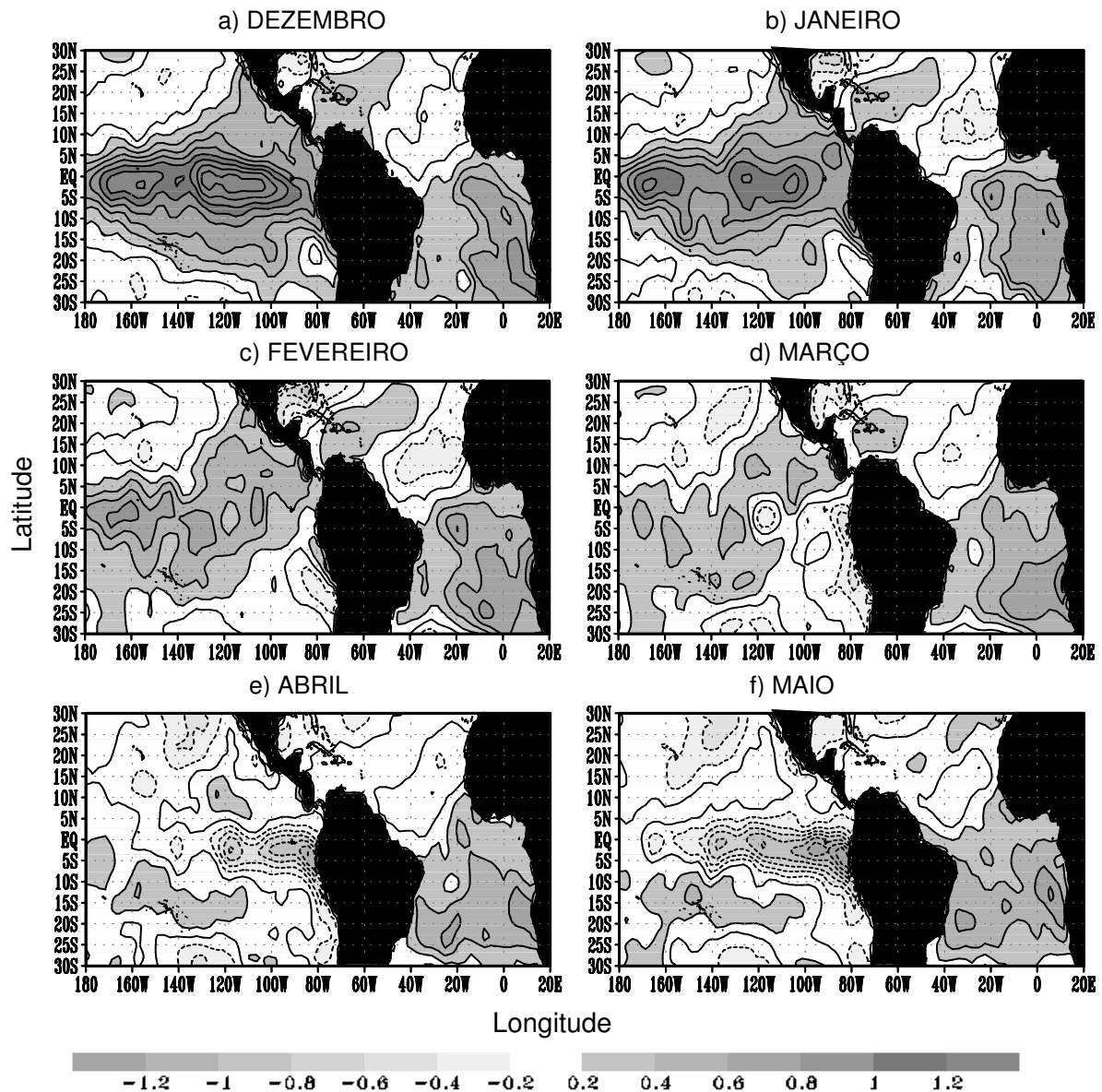


Figura 4.69 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

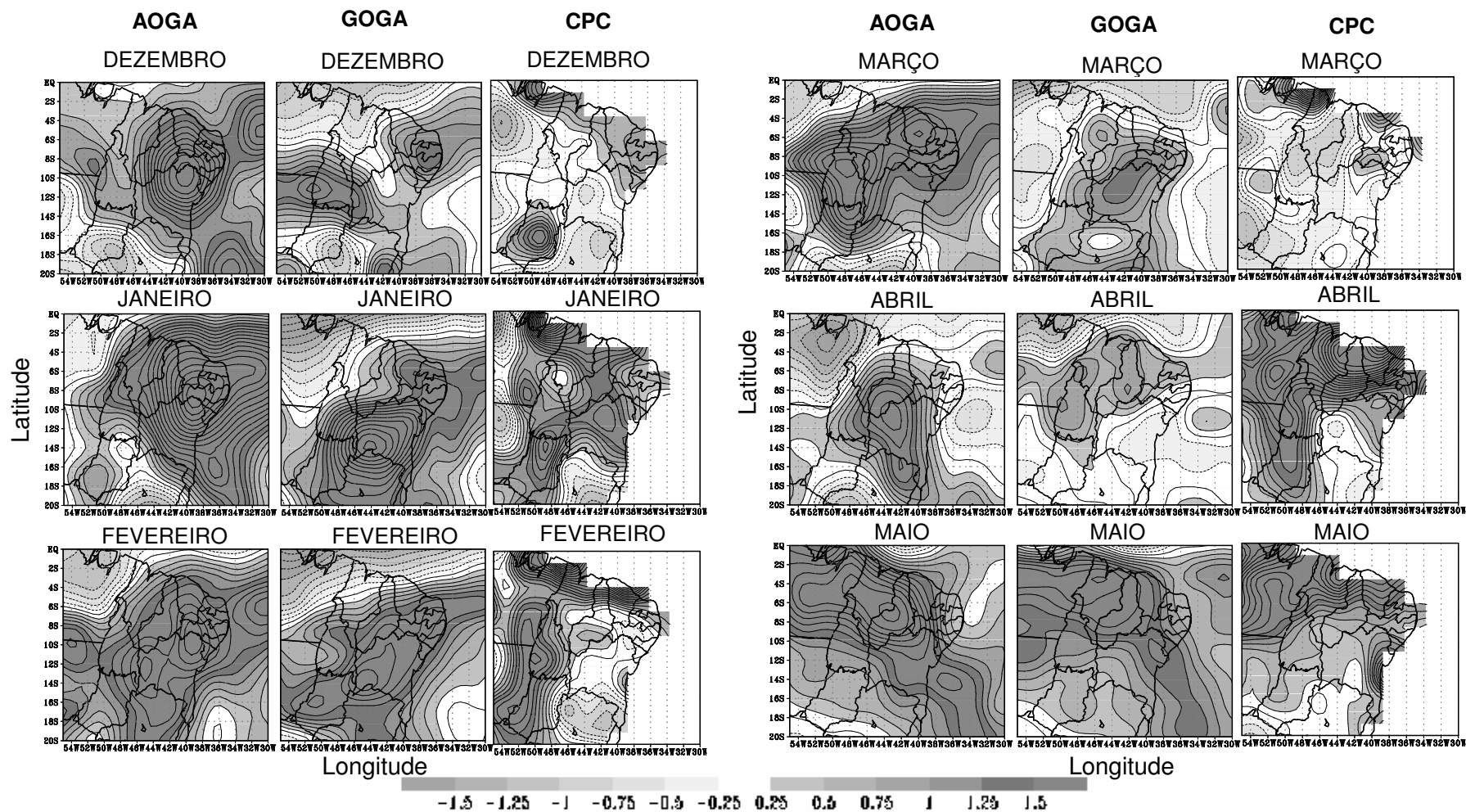


Figura 4.70 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.1.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média

Anos (57/58, 65/66, 68/69, 69/70, 82/83, 86/87, 90/91, 91/92)

O campo composto para as ATSM, no cenário de EN relacionado com seca no norte do NEB (Figura 4.71), mostra que o evento no Pacífico se apresentou bastante intenso em todos os meses analisados.

No Atlântico tropical, observa-se que nos dois primeiros meses, não há um padrão definido (Figura 4.71), as anomalias oscilam entre positivas e em torno da média. Entretanto, em fevereiro [a exemplo do que foi visualizado no padrão de EN na seção 4.3.1 (EN canônico - ENFIELD e MAYER, 1997; SARAVANAN e CHANG, 2000)], verificam-se as anomalias positivas com mesmo sinal das ATSM relacionadas ao evento no Pacífico e essas continuam até o último mês analisado, maio. No ATS foi observado que as ATSM encontram-se aquecidas em sua parte mais ao sul, e, na região equatorial, em torno da média climatológica, apresentando apenas uma pequena área de anomalias negativas desenvolvendo-se na Costa Africana em torno de aproximadamente 20°S.

Esse padrão de anomalias mais aquecidas ao norte do que ao sul desloca a ZCIT para sua posição ao norte o que reduz a precipitação sobre a sub-região.

Chuvas abaixo da média nesse cenário são observadas nos dados da precipitação do CPC, com anomalias maiores, em módulo, no período de fevereiro a maio.

Na Figura 4.72, a simulação GOGA representa melhor essa configuração de anomalias negativas sobre a sub-região 1. A simulação AOGA apresentou, nos dois primeiros meses, também anomalias negativas, porém de intensidade muito pequenas.

Em concordância com os estudos de Giannini *et al.* (2004) e Pezzi e Cavalcanti (2001), quando as ATSM são positivas sobre o Pacífico e o Atlântico Norte, têm-se secas sobre a sub-região norte.

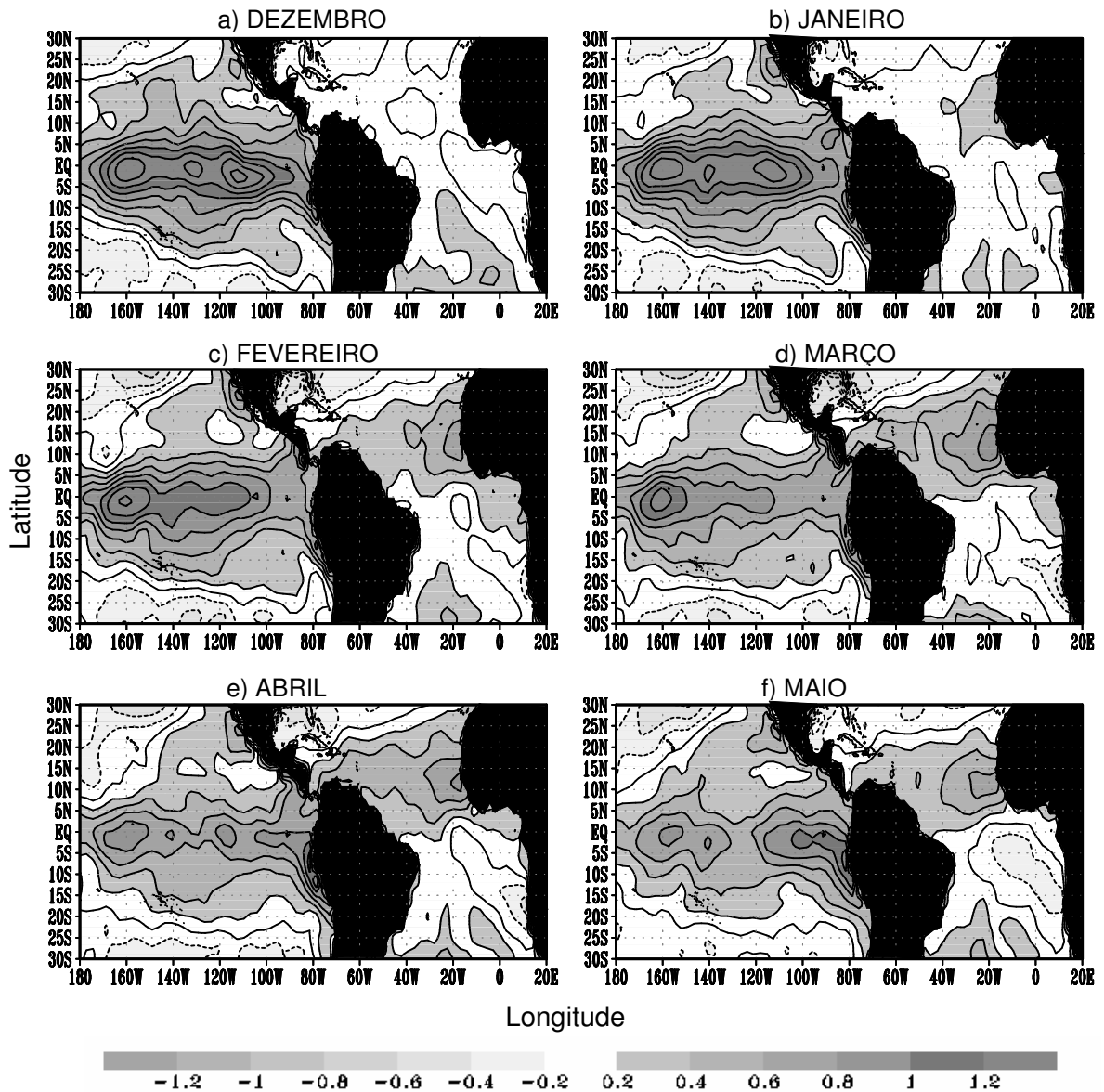


Figura 4.71 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** anos de **EN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a março. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

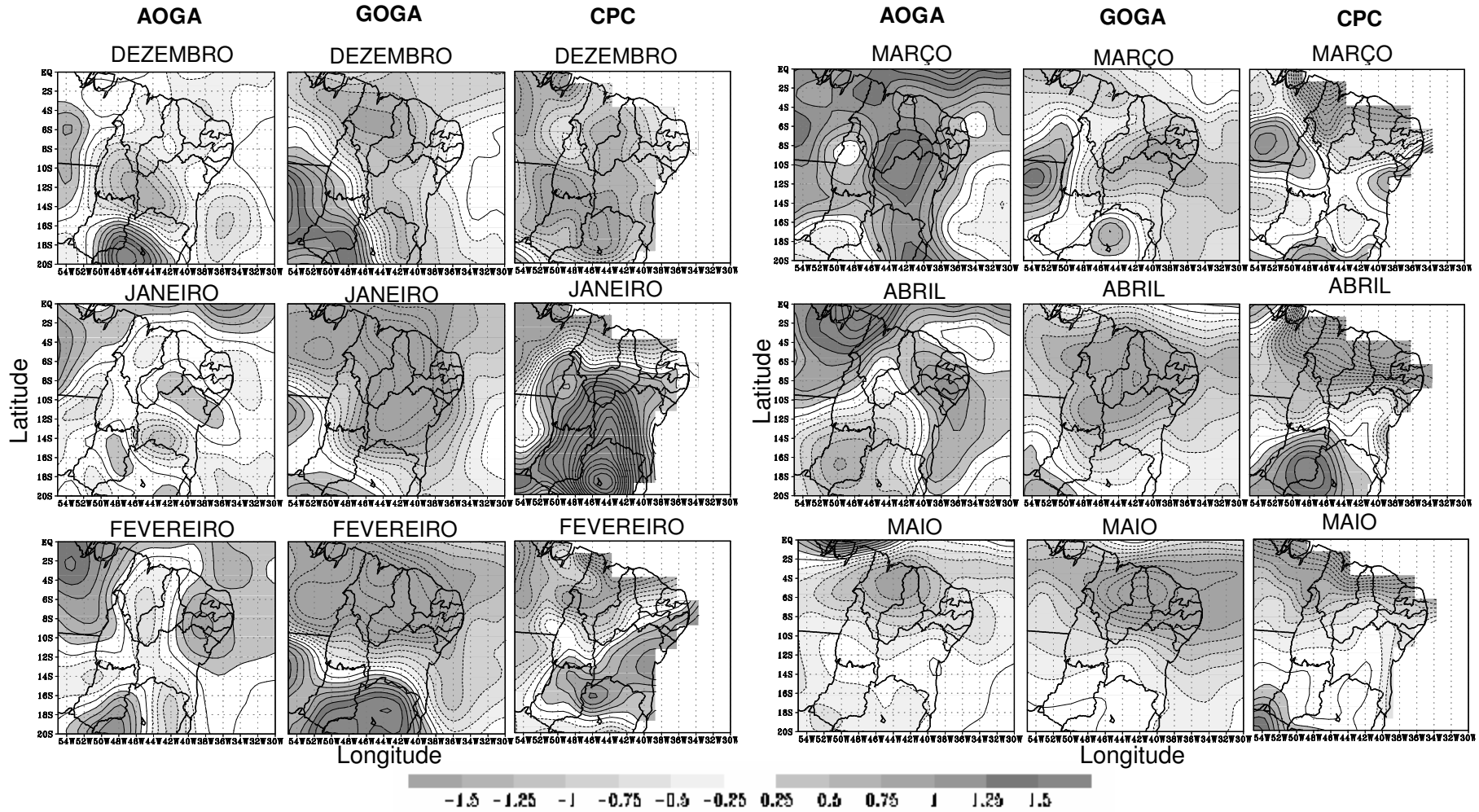


Figura 4.72 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de EN com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.1.3 Cenário La Niña associado à precipitação acima da média

Anos (49/50, 64/65, 70/71, 73/74, 74/75, 84/85, 88/89, 95/96)

As composições da ATSM para o cenário de LN com chuvas no norte do NEB (Figura 4.73) mostram que o evento sobre o Pacífico permaneceu configurado em todos os meses de análise, dezembro a maio.

Com relação ao Oceano Atlântico, podem se verificar anomalias positivas no ATS e negativas no ATN, padrão esse do GRADM negativo, que age em conjunto com a LN contribuindo para as chuvas acima da média sobre a região.

Na Figura 4.74, lado direito, apresentam-se anomalias positivas do CPC sobre a sub-região a partir do mês de janeiro. Mais uma vez, os resultados da simulação GOGA apresentaram os resultados melhores com relação às anomalias da precipitação.

Nesse cenário, o evento LN tende a persistir, pois o gradiente horizontal de pressão e os eventos alísios são mais intensos. Mais água quente é transportada para o ATS e mantém o padrão GRADM negativo.

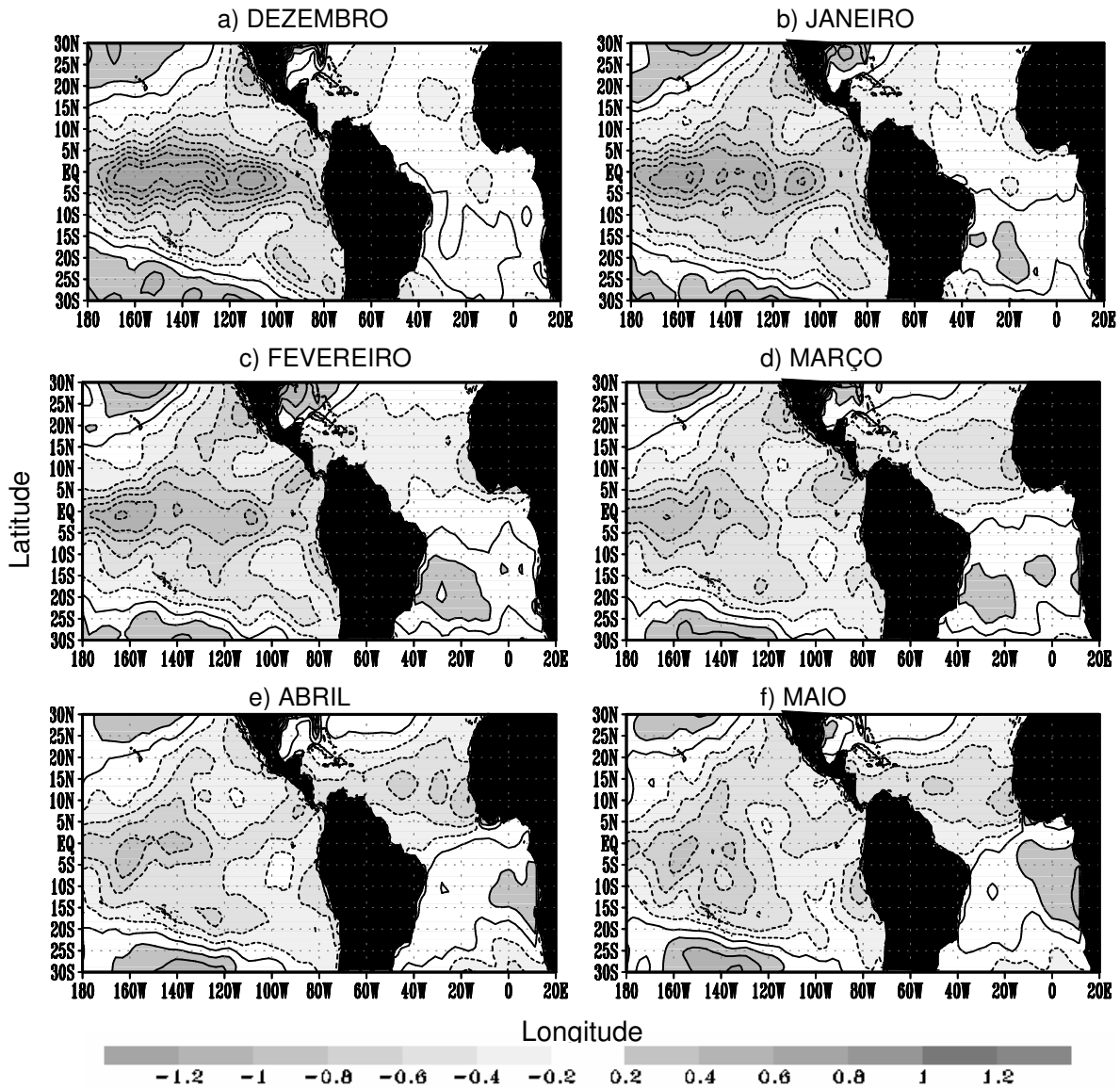


Figura 4.73 – Composições mensais da **anomalia da TSM** (°C) em anos de **LN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

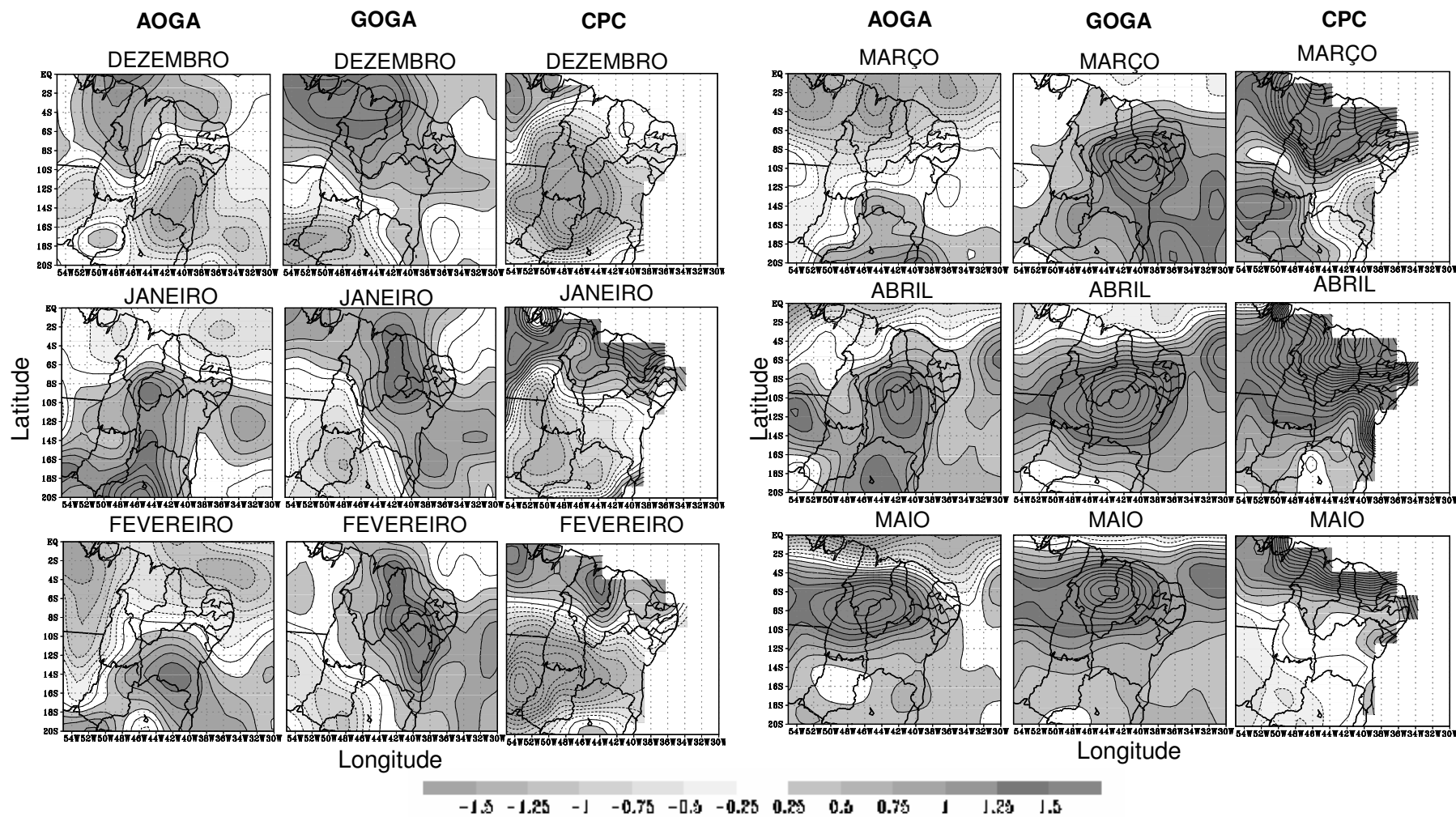


Figura 4.74 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de LN com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.1.4 Cenário La Niña associado à precipitação abaixo da média

Anos (50/51, 54/55, 55/56, 71/72, 75/76)

Nesse cenário, observa-se que, apesar da existência das ATSM negativas sobre o Pacífico, já no mês de janeiro, há um núcleo pequeno de anomalias positivas desenvolvendo-se na costa oeste da América do Sul, que tende a enfraquecer o padrão do evento LN. Este núcleo de anomalias vai intensificando a cada mês, sendo visualizadas em abril e maio, anomalias positivas espalhadas sobre a área equatorial. (Figura 4.75)

O Atlântico apresenta um padrão desfavorável à precipitação, com anomalias negativas em todo o ATS. Notam-se, também, anomalias positivas com intensidade pequena no ATN, o que gera um gradiente para norte.

Verificam-se anomalias de precipitações abaixo da média em todos os meses (Figuras 4.76) e são melhores representadas pela simulação AOGA. Sendo assim, parece que a influencia maior é do Oceano Atlântico.

Observação: Para os anos com GRADM positivo e negativo configurado sobre o Atlântico, não foram realizados os cenários, porque, como pode ser observado, a resposta para a precipitação corresponde ao padrão discutido e apresentado para estes eventos na seção 4.3.3 e 4.3.4. Verifica-se, dessa forma, o impacto negativo sobre a precipitação na sub-região 1 associado com GRADM positivo, e anomalias positivas da precipitação na ocorrência do GRADM negativo.

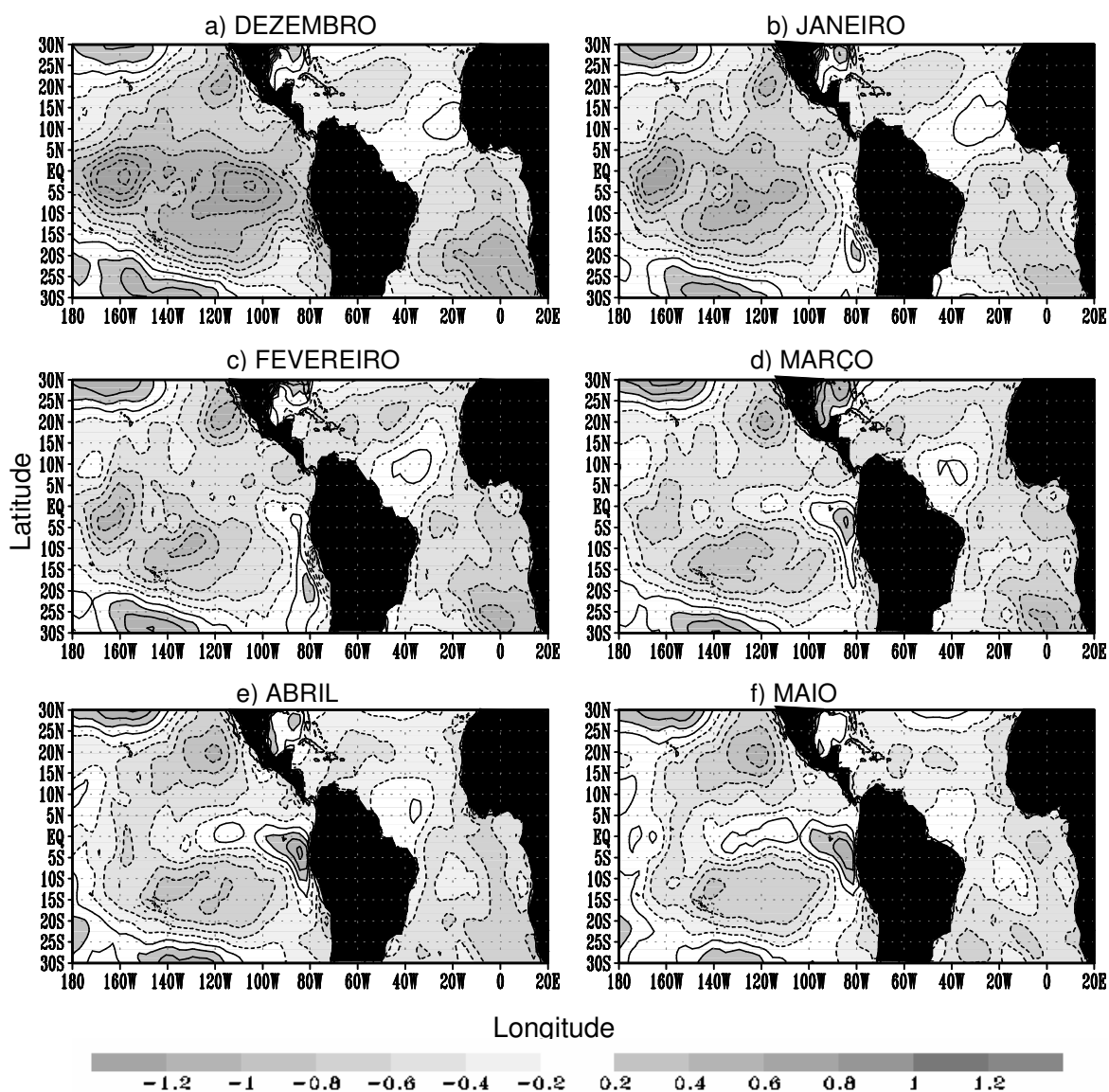


Figura 4.75 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **LN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

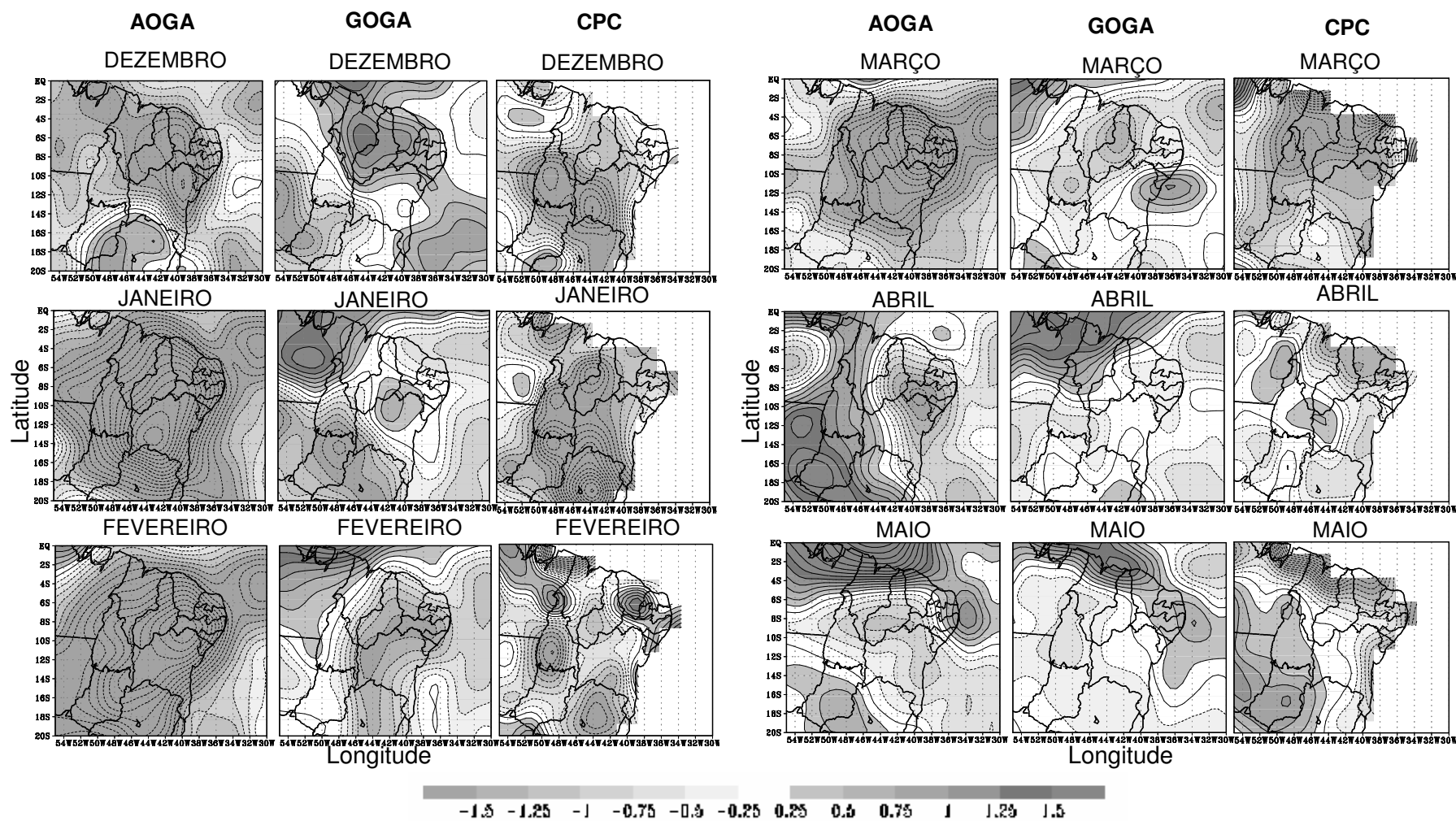


Figura 4.76 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de LN com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 1** (Norte do NEB) para os meses de dezembro a maio, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.2 SUB-REGIÃO LESTE DO NEB

4.5.2.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média

Anos (63/64, 65/66, 68/69, 72/73, 76/77, 77/78, 87,88)

Na Figura 4.77, encontram-se as composições da TSM para os anos de EN selecionados que apresentaram, no leste do NEB, precipitação acima da média nos trimestres MAM e JJA. Nessa figura, pode-se observar que, a partir do mês de março, o fenômeno EN entra em fase de dissipação, as ATSM positivas características desse evento só foram observadas a oeste de 120°W nos meses de março e abril. Na costa do Peru, verificam-se anomalias negativas que se intensificaram, iniciando um evento La Niña.

O Atlântico Tropical (Figura 4.77) apresentou valores oscilando entre a média e acima da climatologia. Só a partir de Junho (Figura 4.77d) podem-se observar anomalias negativas ao norte da latitude de 20°N que permaneceram nos meses seguintes (julho e agosto), mesmo assim tem-se a configuração do GRADM negativo.

As composições da precipitação a partir dos dados do CPC (Figura 4.78. – lado direito) mostram anomalias positivas (chuvas) a partir de abril até julho na sub-região em estudo (leste).

As simulações nesse cenário mostraram-se divididas (Figura 4.78), ou seja, em março a GOGA representou melhor, já em abril a AOGA conseguiu reproduzir melhor a precipitação mensal das composições. Em maio, junho e julho, as duas apresentam praticamente as mesmas configurações e estas estão de acordo com as observadas. No mês de agosto, as duas simulações sobreestimam a precipitação (apresentando anomalias positivas) na sub-região, onde se tem valores climatológicos no campo observado.

Enfim, comparando-se as duas simulações, pode ser verificado que o Atlântico apresenta uma grande influência na sub-região 2 (leste), já que os resultados da AOGA são praticamente iguais a GOGA (em que todas as TSM são observadas). Além disso,

vêm-se águas aquecidas (anomalias positivas) durante todos os meses na costa leste de América do Sul, que se estendem até a bacia do Atlântico no sentido noroeste-sudeste.

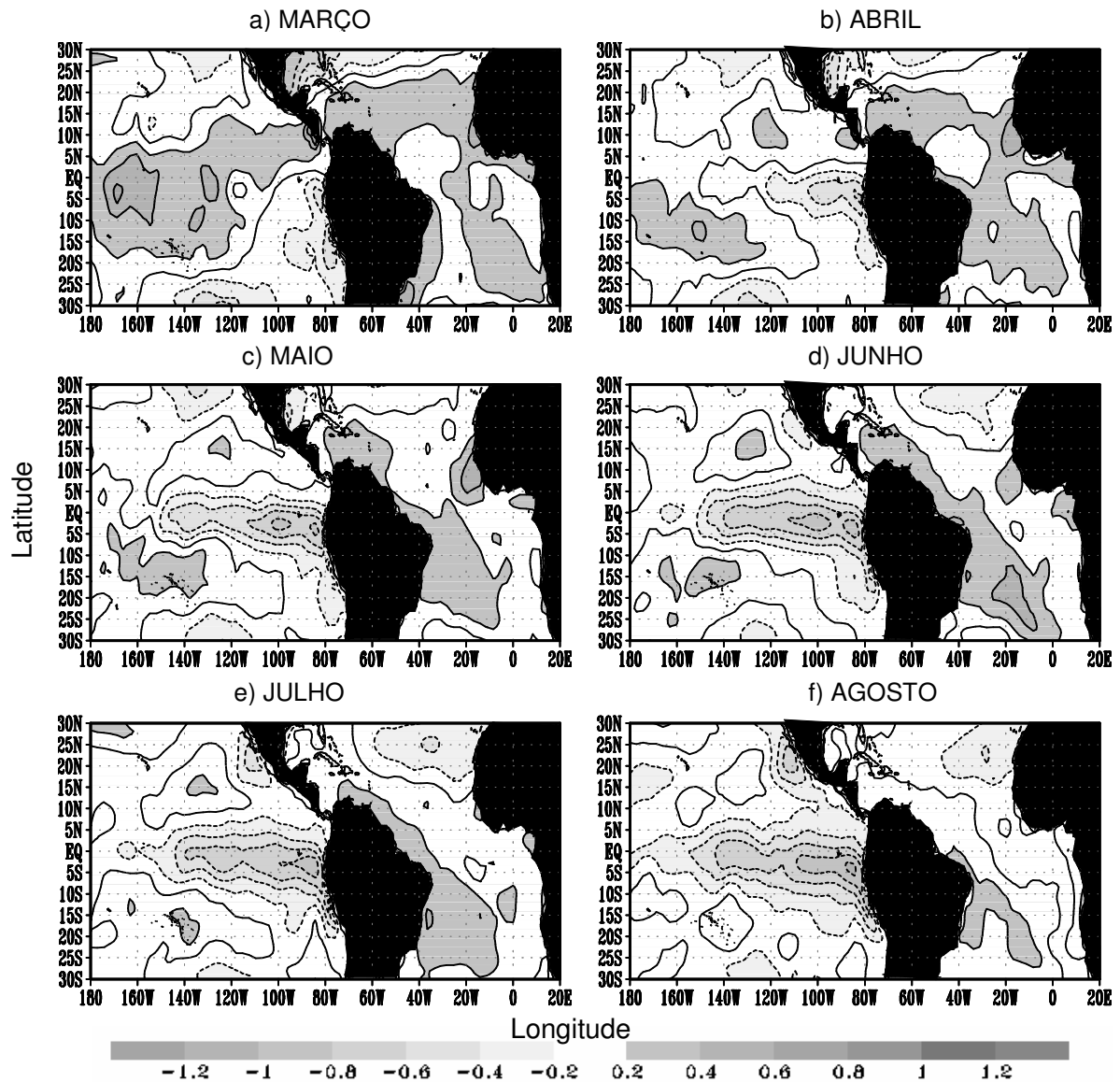


Figura 4.77 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

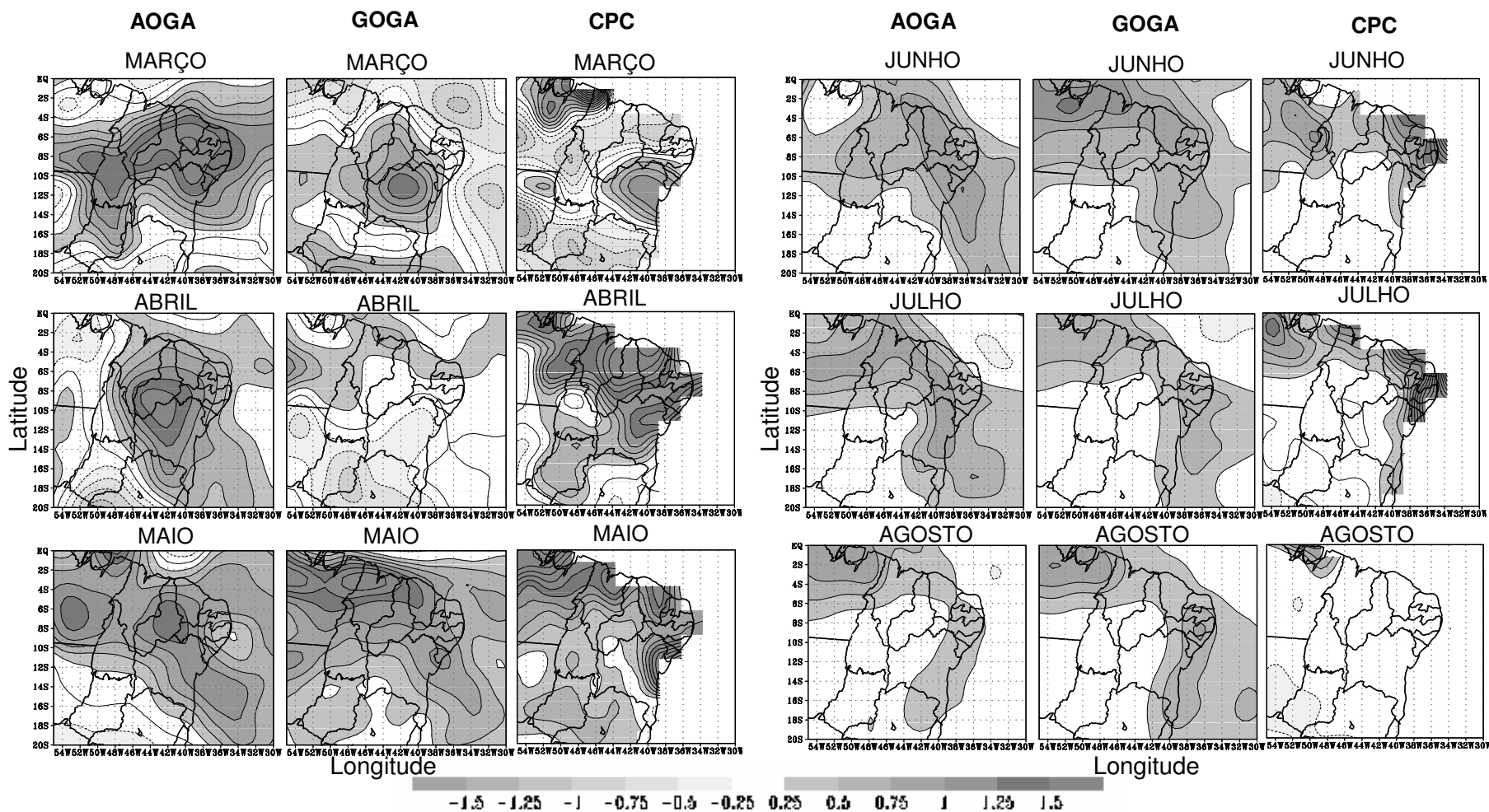


Figura 4.78 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.2.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média

Anos (57/58, 69/70, 82/83, 90/91, 91/92, 94/95)

As anomalias de TSM para o cenário de EN associado à seca sobre a sub-região 2 estão apresentadas na Figura 4.79. Os eventos no Pacífico foram bem configurados e persistentes, e puderam ser visualizados até o mês de agosto. Contudo, o surgimento de um pequeno núcleo de anomalias negativas no Pacífico Equatorial central no mês de julho, intensificando-se em agosto, indicou que o evento EN começou a se dissipar.

No Atlântico, observa-se, desde março, a configuração do GRADM positivo [anomalias da TSM positivas no Hemisfério Norte (HN) e negativas no Hemisfério Sul (HS)]. Nota-se que as anomalias no HN têm o mesmo sinal das anomalias sobre a bacia do Pacífico, reforçando ainda mais os impactos causados pelo EN. Verifica-se que as ATSM positivas tendem a diminuir sua intensidade no decorrer dos meses, enquanto que as anomalias negativas sobre o ATS tendem a aumentar e atingirem seu máximo no bimestre julho-agosto.

As composições da precipitação em anos de EN associado à seca no leste do NEB (Figura 4.80) mostram que as simulações apresentaram basicamente o mesmo padrão a partir de maio. Entretanto, a simulação GOGA conseguiu reproduzir melhor em termos de intensidade. Em março e abril, a simulação AOGA não conseguiu refletir as anomalias negativas visualizadas, tanto nas figuras do CPC como nas da simulação GOGA. Nesse cenário, os dois oceanos agiram conjuntamente para gerar as condições de secas na sub-região leste.

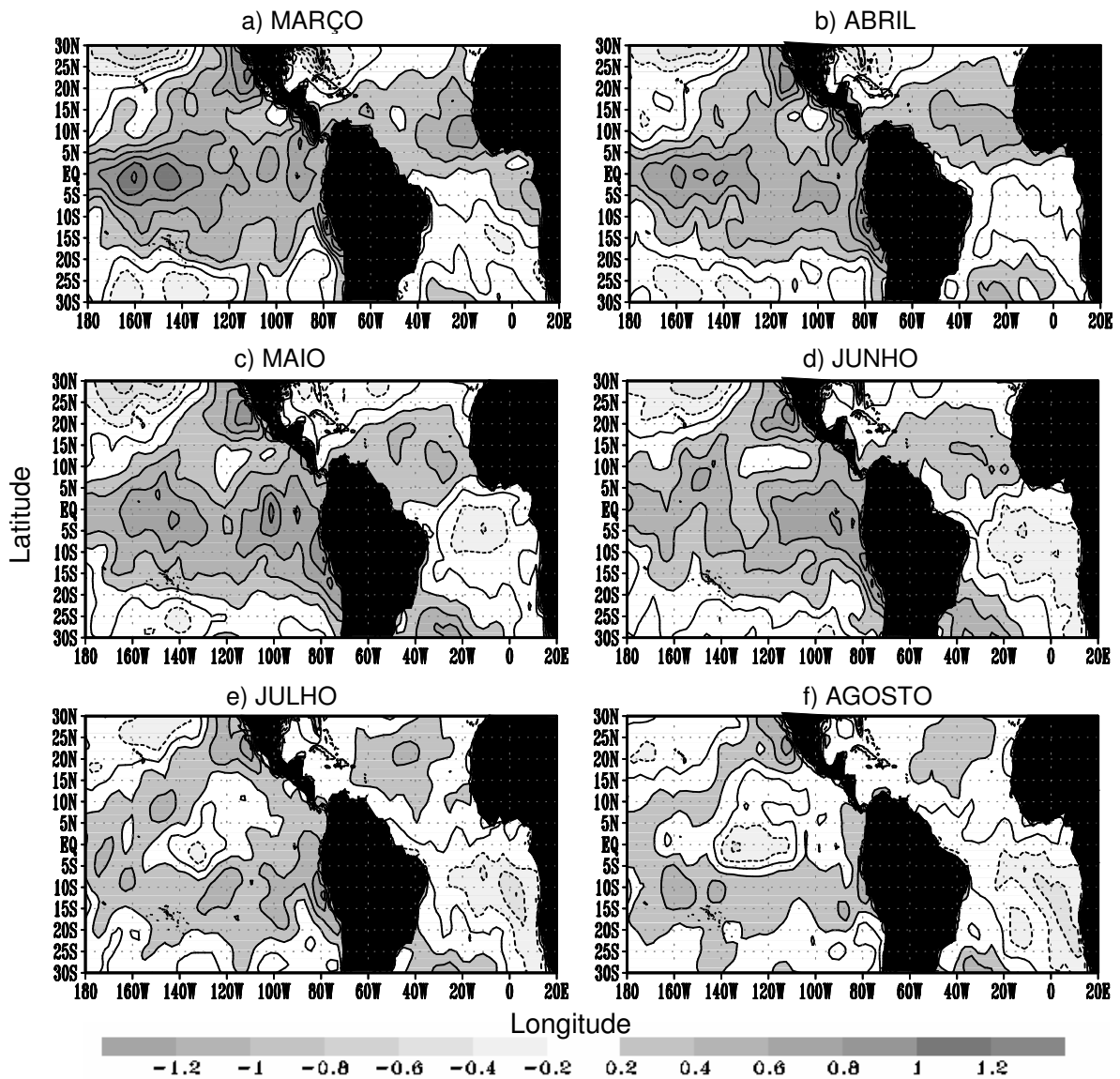


Figura 4.79 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **EN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

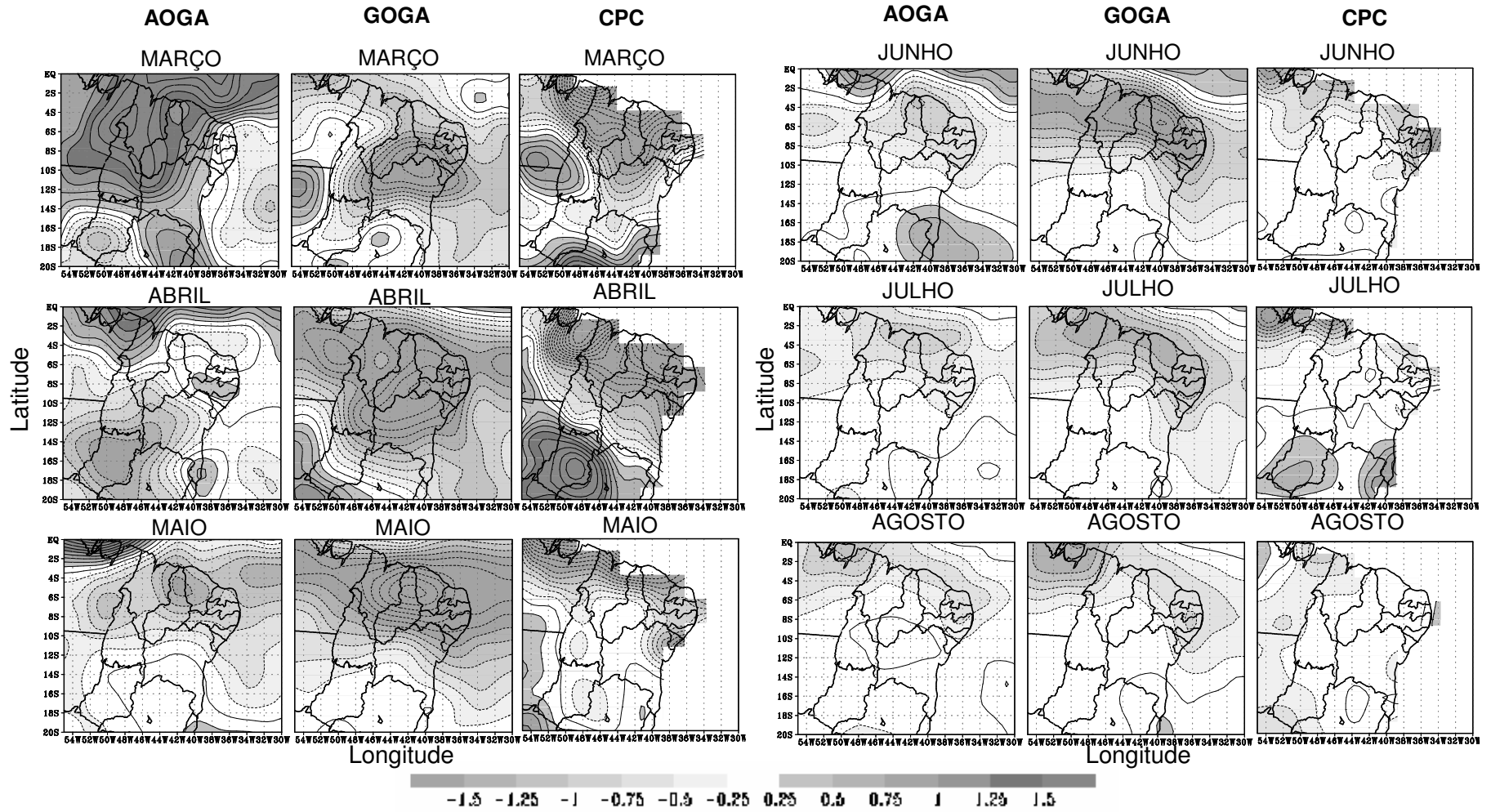


Figura 4.80 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **EN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.2.3 Cenário La Niña associado à precipitação acima da média

Anos (64/65, 70/71, 73/74, 74/75, 84/85, 88/89, 95/96)

Nesse cenário, pode ser observado que o evento LN mostrou-se bem configurado até junho (Figura 4.81). No mês seguinte, nota-se o surgimento de pequenas anomalias positivas, sendo um indicativo que o fenômeno estava se dissipando.

As condições do Atlântico foram anomalias negativas (positivas) no HN (HS) caracterizando assim o GRADM negativo, que, juntamente com o padrão favorável sobre o Pacífico, atua influenciando positivamente a precipitação sobre a sub-região.

As anomalias positivas da precipitação são visualizadas a partir das figuras do CPC (Figura 4.82) do mês de abril até julho. Para esse período, as duas simulações mostram, no geral, os mesmos padrões. Sendo assim, pode-se concluir que o Atlântico tem sua grande importância neste cenário.

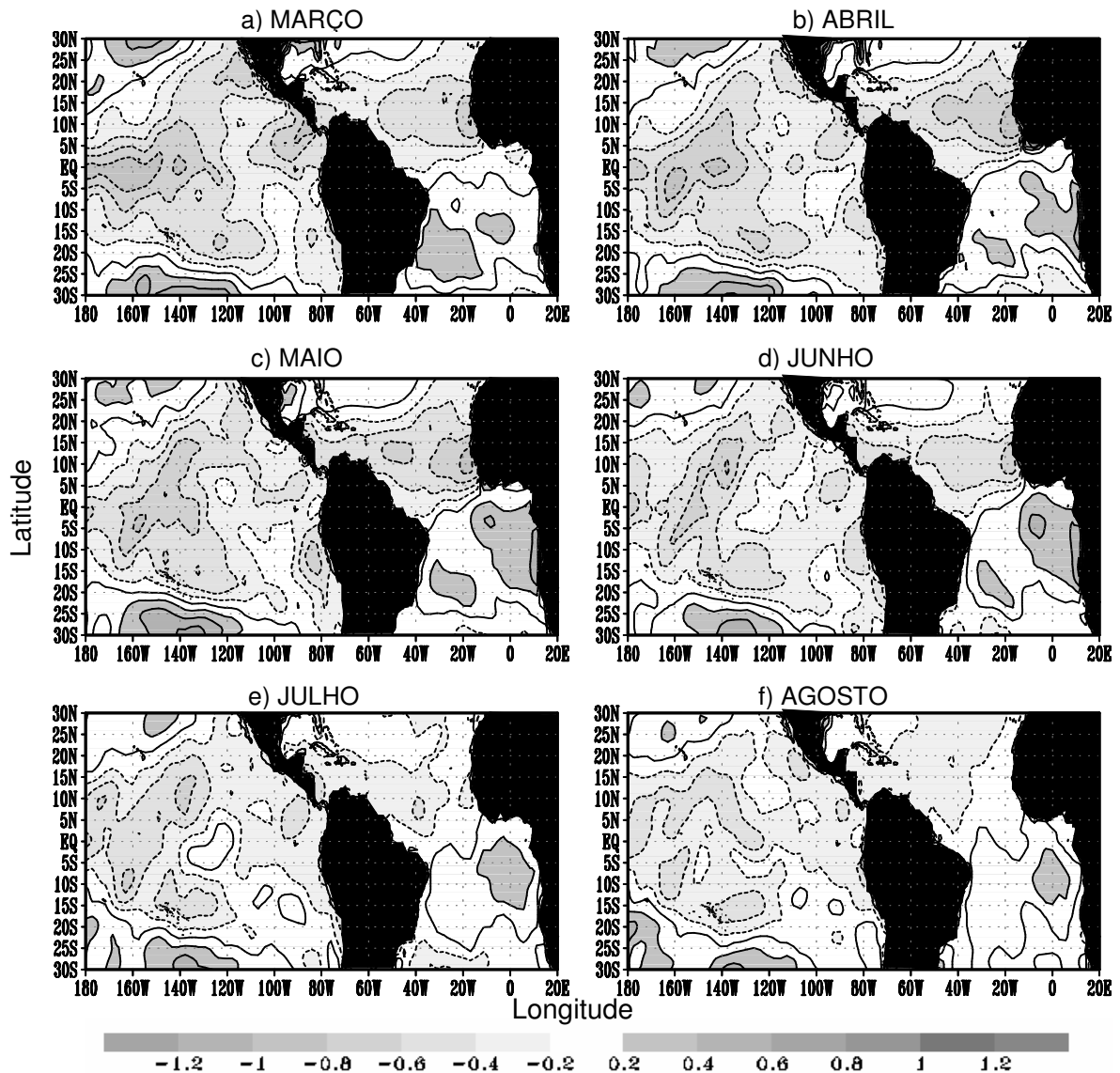


Figura 4.81 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de LN com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

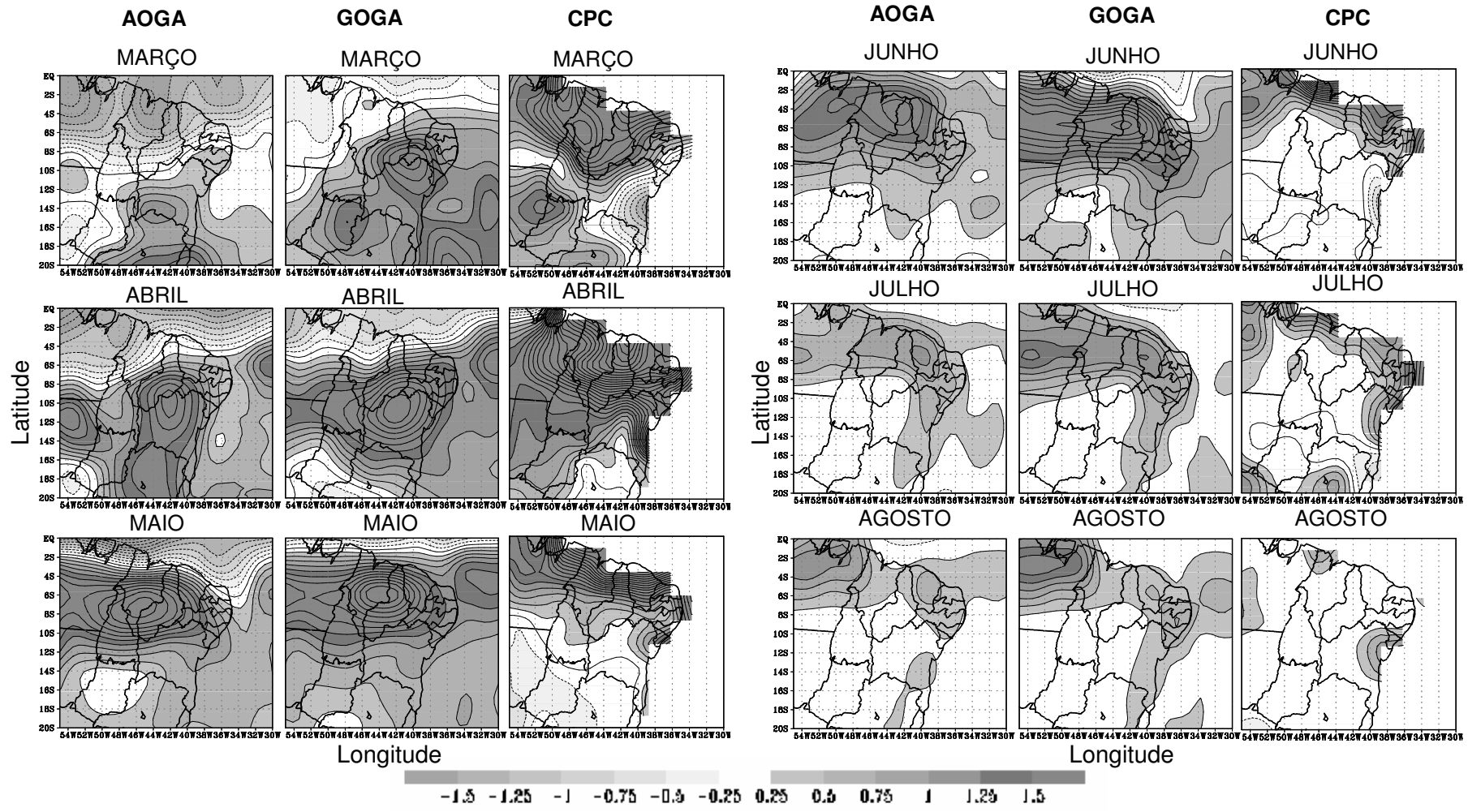


Figura 4.82 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de LN com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.2.4 Cenário La Niña associado à precipitação abaixo da média

Anos (54/55, 55/56, 75/76)

As condições do Pacífico revelaram que, apesar da maioria da região equatorial apresentar ATSM negativas, pode-se observar o surgimento de ATSM positivas na costa da América do Sul, que se espalharam e se intensificaram no decorrer dos meses (Figura 4.83). Anomalias da TSM negativas dominam quase que completamente a bacia do oceano Atlântico. Foi observado apenas um núcleo de anomalias positivas de pequena intensidade no HN, em março, que desintensificou. Em julho e agosto, observaram-se anomalias positivas na costa Africana no HN.

A simulação AOGA conseguiu reproduzir melhor os resultados visualizados nos campos do CPC. Contudo, isto não ocorreu em maio e agosto. A simulação GOGA apresentou-se totalmente oposta ao observado.

Observação: As mesmas influências na precipitação observadas para a sub-região 1 em decorrência da configuração dos padrões de GRADM positivo e negativo foram verificadas para a sub-região leste. Portanto, esses cenários não foram analisados.

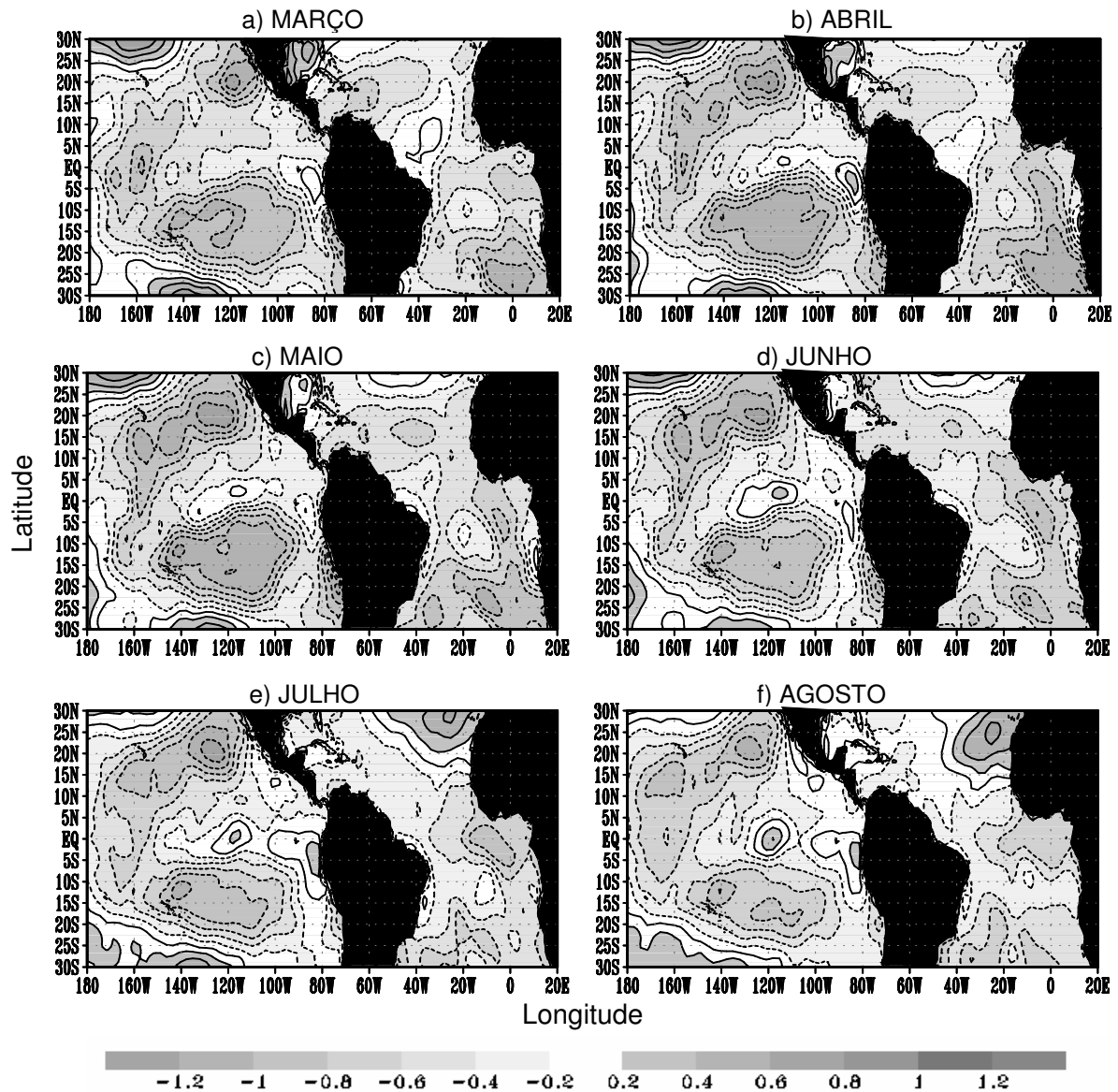


Figura 4.83 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de LN com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

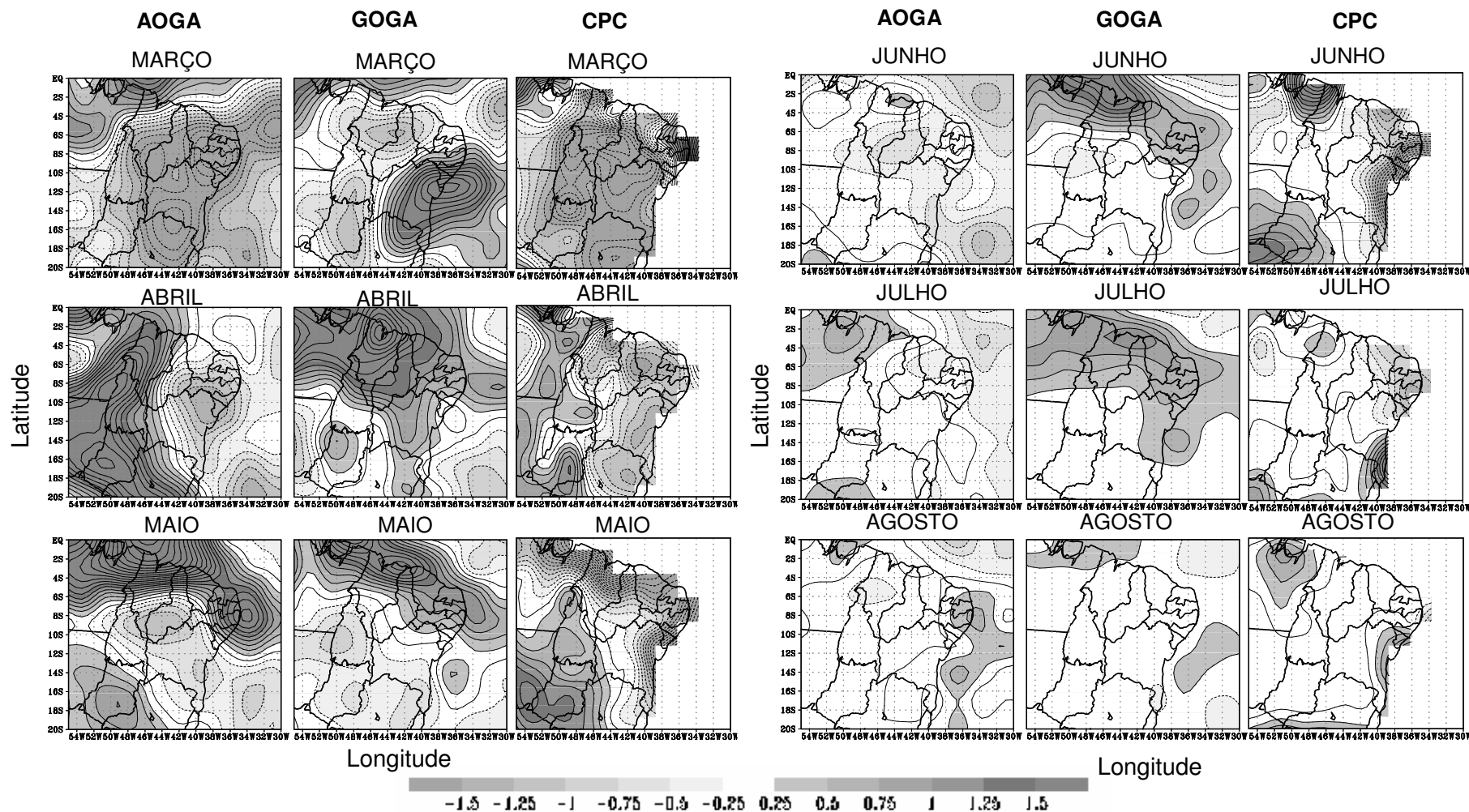


Figura 4.84 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de LN com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 2** (Leste do NEB) para os meses de março a agosto, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.3 SUB-REGIÃO CENTRO/SUL DO NEB

4.5.3.1 Cenário El Niño associado à precipitação acima da média

Anos (57/58, 63/64, 68/69, 69/70, 77/78, 82/83, 91/92)

Observa-se, nas composições da ATSM para esse cenário (Figura 4.85), que o Pacífico apresentou anomalias positivas na sua região equatorial, configurando o fenômeno EN. Tal qual relatado na literatura, pode ser verificado o surgimento de ATSM de mesmo sinal no ATN. A bacia ao sul do Equador no Atlântico apresentou-se, em geral, em torno da média climatológica, com alguns núcleos pequenos de anomalias positivas.

Para esse cenário na sub-região 3 (Figura 4.86), tem-se, que mesmo nos dados observados do CPC, as anomalias positivas apareceram no mês de novembro com um pequeno núcleo sobre o centro da Bahia, que se desenvolve no mês seguinte e abrange toda a região centro/sul em janeiro e fevereiro.

As simulações conseguem reproduzir bem as anomalias que se apresentam em torno da média climatológica nos dois primeiros meses analisados para essa sub-região (setembro e outubro). Contudo, nos meses seguintes, elas não conseguiram reproduzir o padrão visto nos dados observados do CPC, de toda forma a que mais se aproximou foi GOGA que, aparentemente, em janeiro e fevereiro, mostrou a região de anomalias positivas deslocada para sul.

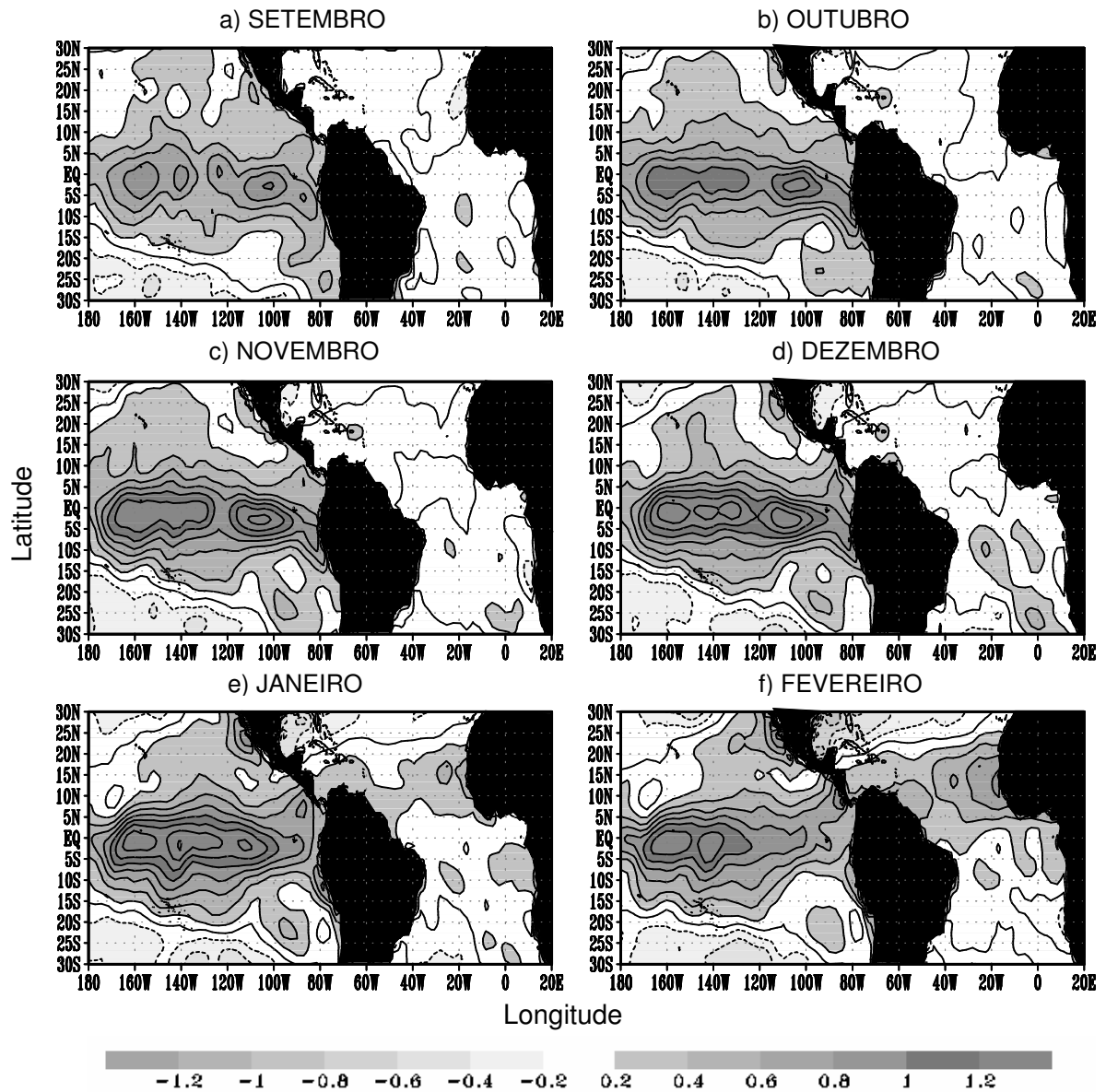


Figura 4.85 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

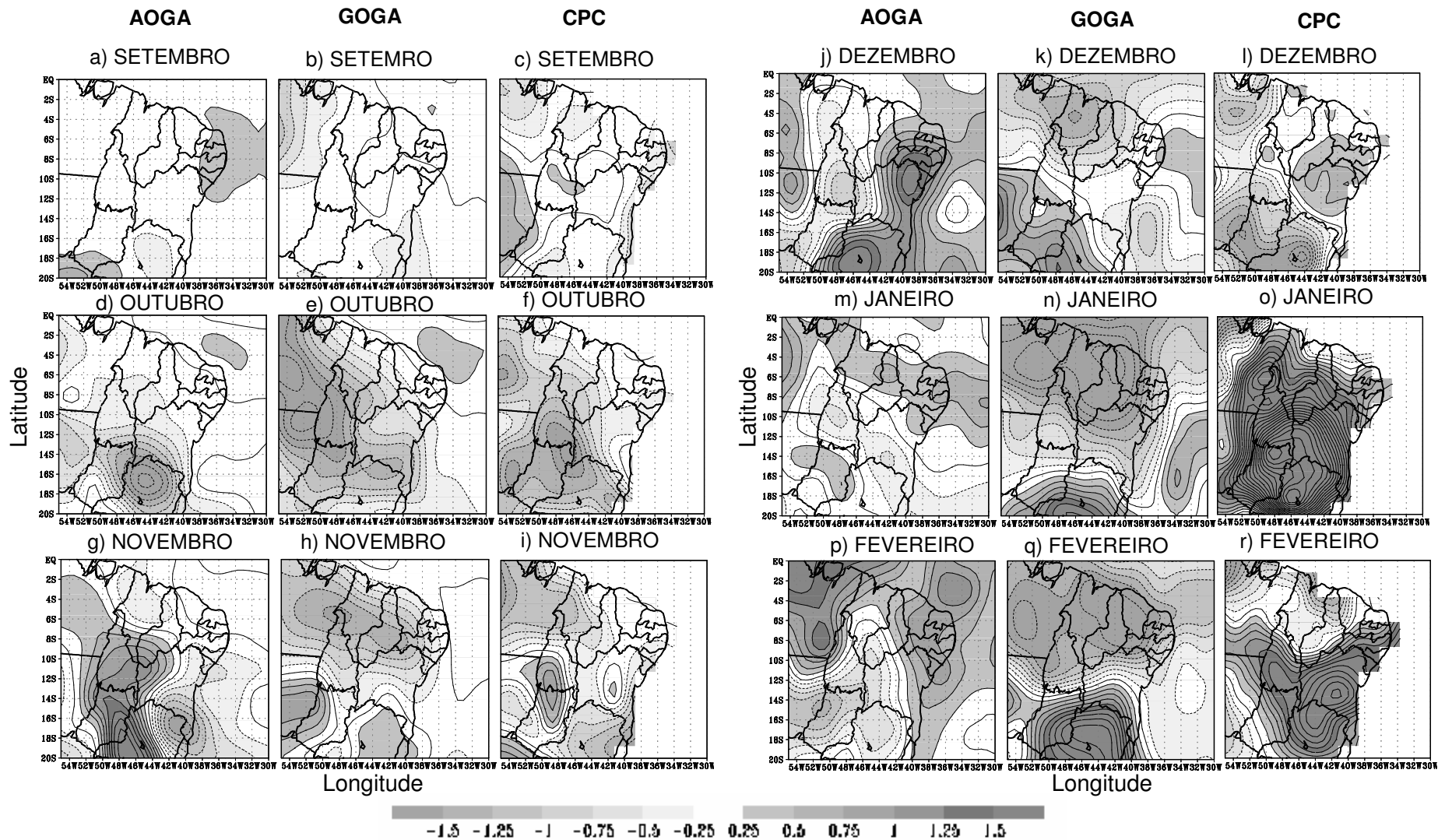


Figura 4.86 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **EN** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.3.2 Cenário El Niño associado à precipitação abaixo da média

Anos (65/66, 72/73, 76/77, 86/87, 87/88, 90/91, 94/95)

No Pacífico, foi observado o padrão de EN (Figura 4.87). O Atlântico apresentou em setembro uma faixa na direção noroeste-sudeste de anomalias positivas que se expandiu e abrange toda a bacia do ATS em novembro. Anomalias negativas podem ser visualizadas a partir de dezembro, indicando o início basicamente do GRADM negativo.

As anomalias de precipitação visualizadas nas composições (Figura 4.88) mostraram que a redução de chuvas na sub-região centro/sul é observada a partir de novembro, isso com os dados observados do CPC. As simulações GOGA e AOGA reproduzem, razoavelmente, a precipitação em setembro e outubro. Entretanto, no período que vai de novembro a fevereiro, a simulação AOGA apresentou os resultados piores. A GOGA reproduziu mais ou menos a redução da precipitação em novembro e dezembro, porém volta a não reproduzir os campos em janeiro e fevereiro.

Do mesmo modo que as condições do Pacífico, nesse e no cenário anterior (EN – chuva) sobre a sub-região 3, pode-se dizer que a diferença está nas condições do Atlântico. Esse apresentou TSM mais elevadas do que a climatologia e isso não contribuiu para a precipitação nessa sub-região, o que difere do encontrado para as outras regiões em que o Atlântico com ATSM positivas favorece a precipitação.

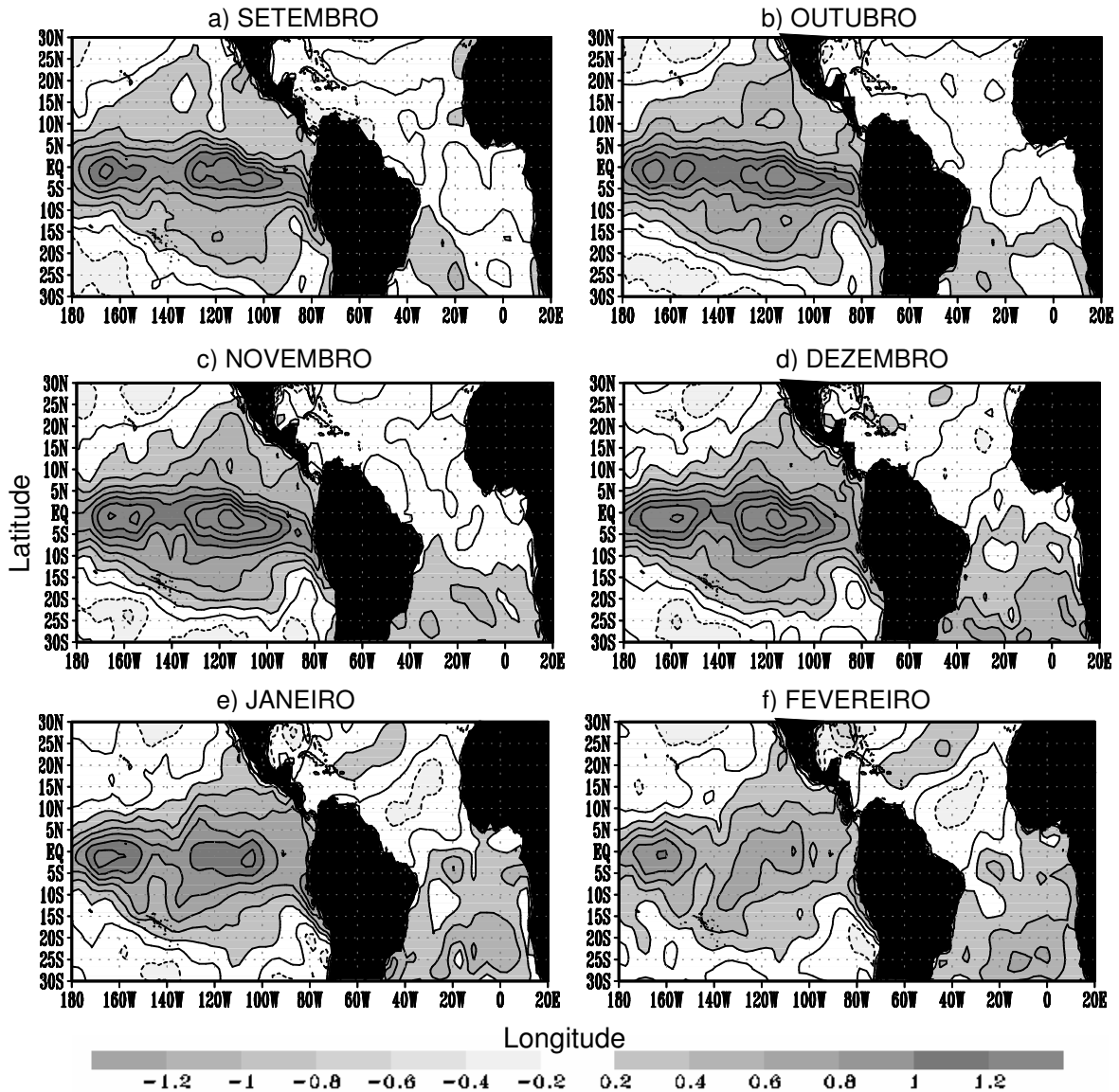


Figura 4.87 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** anos de **EN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

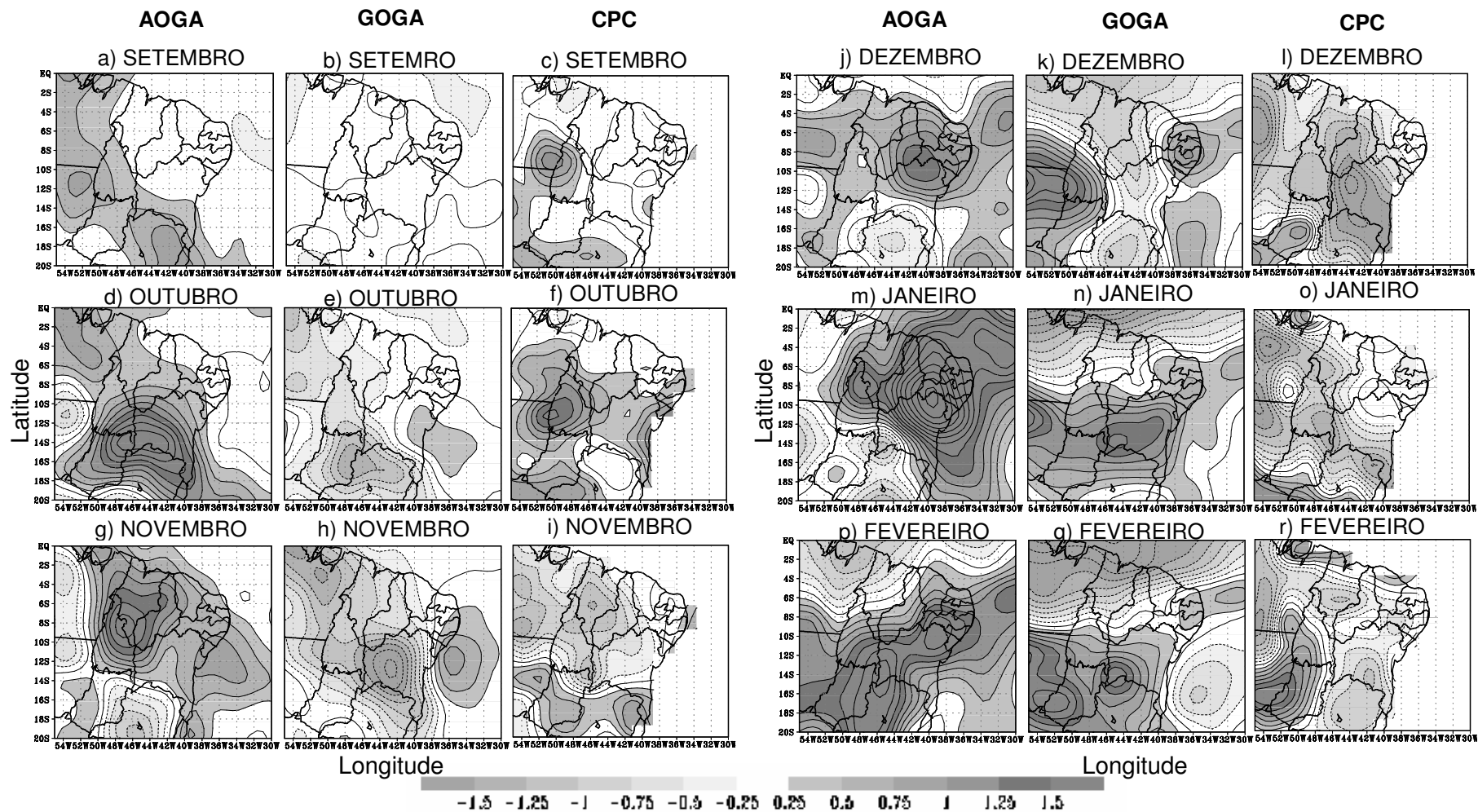


Figura 4.88 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **EN** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.3.3 Cenário Gradiente Meridional Positivo associado à precipitação acima da média Anos (57/58, 69/70, 77/78, 79/80, 82/83)

Apesar de se visualizar um núcleo de anomalias negativas (de intensidade pequena) na costa Africana e valores climatológicos em praticamente todo o ATN, o padrão do GRADM só foi observado em Janeiro. Isso levou a pensar que o Pacífico com o evento EN bem configurado e intenso comande as anomalias de precipitação sobre o centro/sul do NEB. Segundo os resultados da seção 4.3, tem-se que o EN resulta em precipitações acima da média nessa sub-região.

Entretanto, as composições das anomalias de precipitação do CPC para esse cenário (Figura 4.90) mostraram anomalias positivas nos meses de setembro e os subsequentes a novembro, nos meses de outubro e novembro foram observadas anomalias negativas (chuvas abaixo da média). As simulações não apresentaram bons resultados.

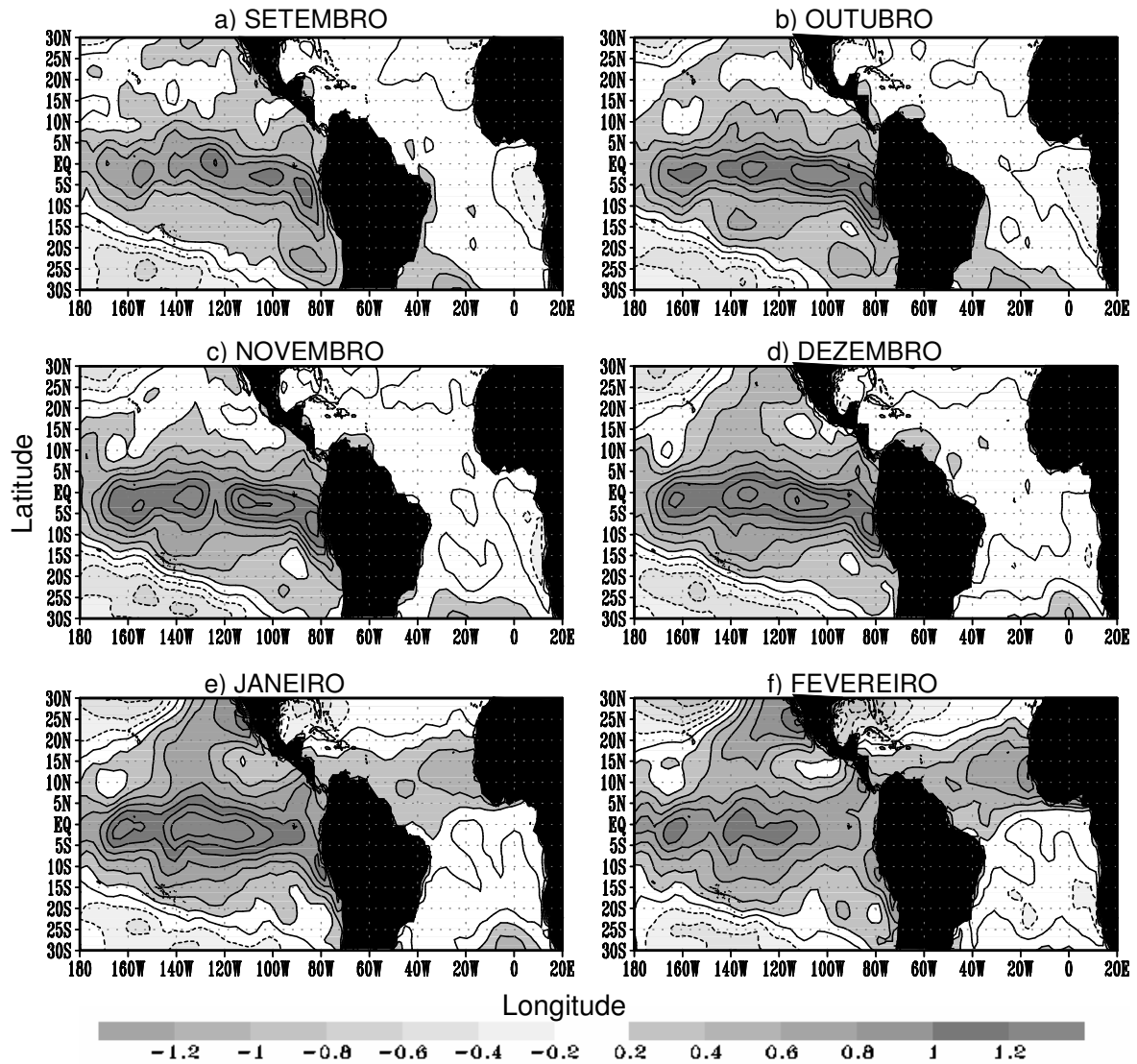


Figura 4.89 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **GRADM positivo** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

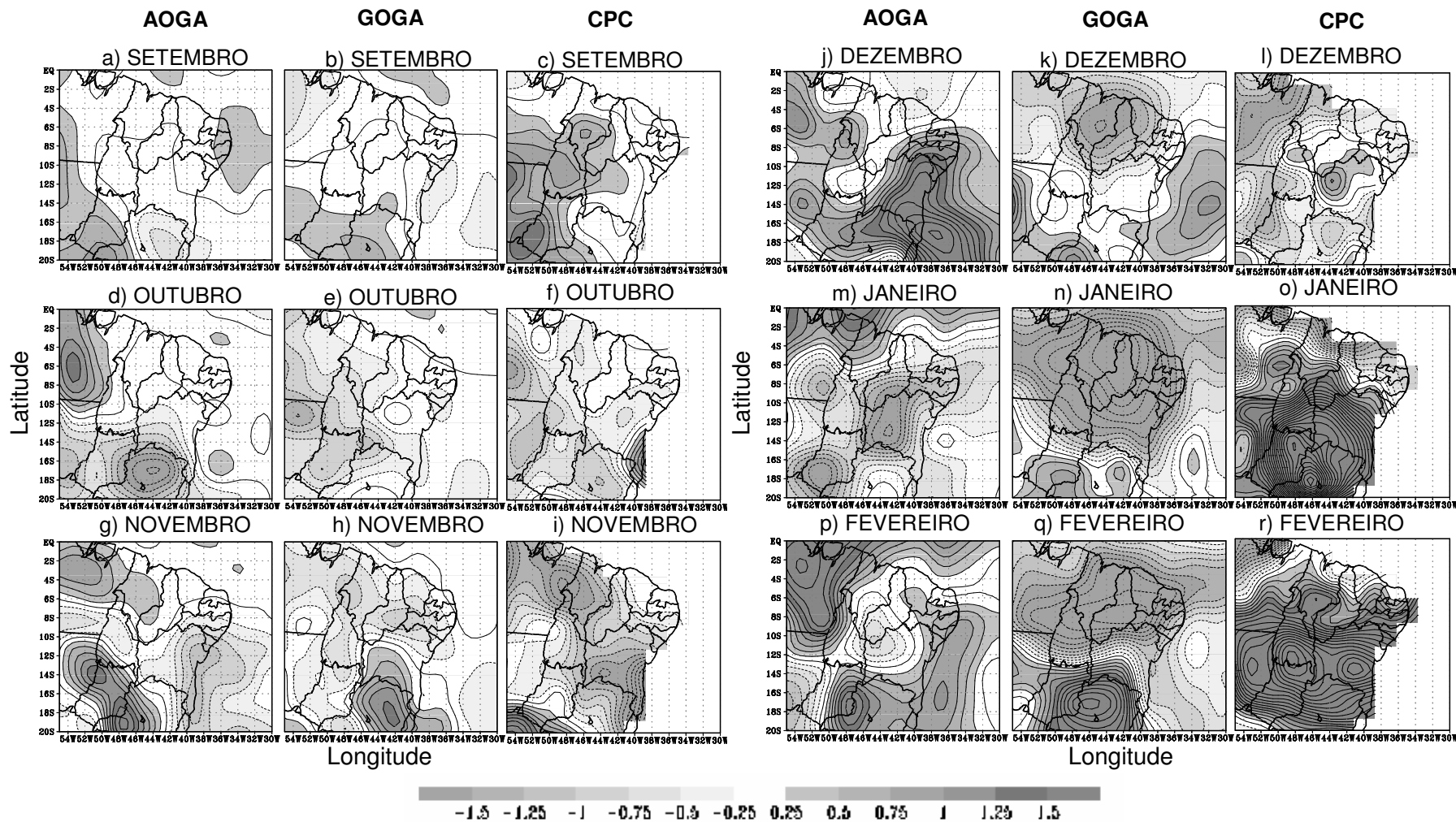


Figura 4.90 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **GRADM positivo** com **precipitações acima da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

4.5.3.4 Cenário Gradiente Meridional Positivo associado à precipitação abaixo da média Anos (50/51, 55/56, 65/66, 80/81, 96/97)

O GRADM positivo já pode ser observado desde setembro (Figura 4.91), apesar das ATSM serem pequenas em ambos os hemisférios. Contudo, foi visualizado melhor a partir de dezembro. O Pacífico apresentou, em geral, na região equatorial, ATSM negativas. Porém, visualizou em janeiro o desenvolvimento de anomalias positivas na costa da América do Sul em torno de 25°S, aproximadamente. Também notam-se anomalias positivas no HN.

As precipitações abaixo da média foram observadas nos dados do CPC (Figura 4.92) nos meses mais chuvosos (DJF). No período anterior, estação pré-chuvosa, observou-se anomalias de precipitação, na maioria, positivas. No geral, a simulação GOGA apresentou os melhores resultados.

Observação: Os cenários LN não foram criados devido à análise da Tabela 4.1 mostrar que na maioria dos anos selecionados para esse evento (69% aproximadamente) apresentou uma influência negativa (precipitação abaixo da média). Nos anos com GRADM negativo, usa-se a mesma explicação, apesar do percentual não ser muito alto, em torno de 44%, para precipitações abaixo da média, os anos que apresentaram um aumento na precipitação foram apenas 2 anos, que são insuficientes para realização das composições.

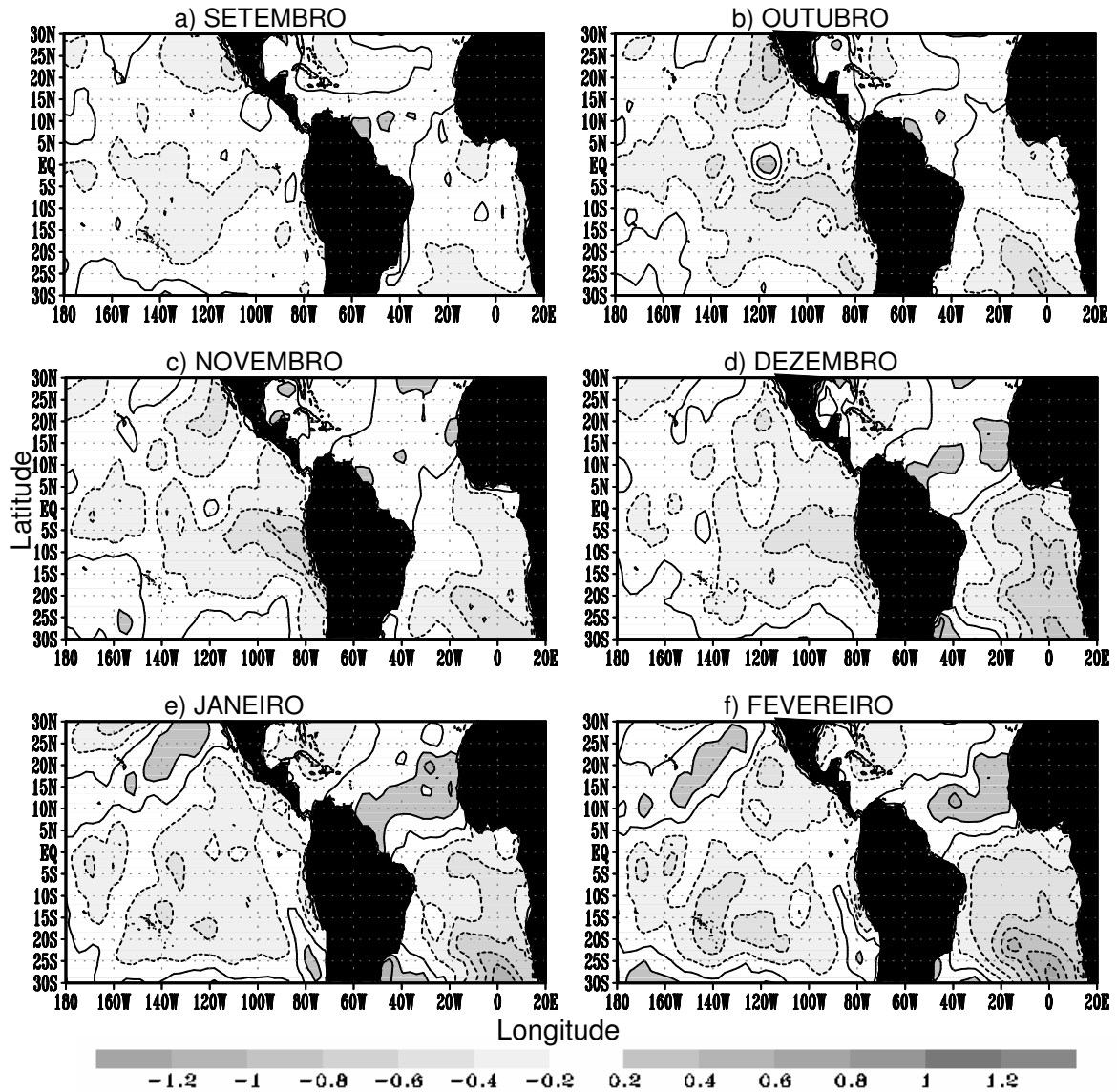


Figura 4.91 – Composições mensais da **anomalia da TSM (°C)** em anos de **GRADM positivo** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores de anomalias positivas (negativas). Intervalo de contorno de 0,2°C. Valores da ATSM acima (abaixo) de 0,2 (-0,2) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

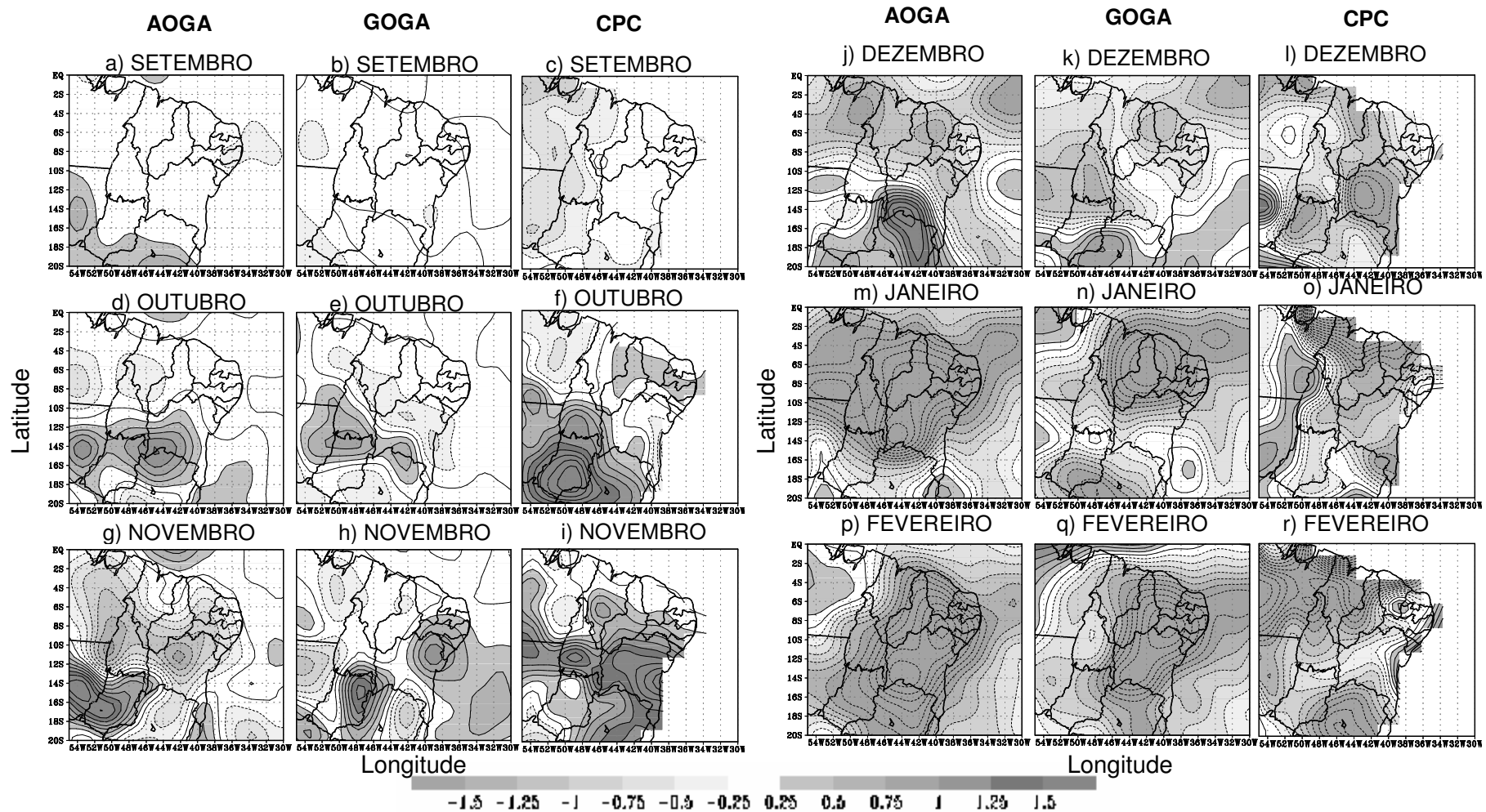


Figura 4.92 - Composições mensais da **anomalia de precipitação** (mm/dia) em anos de **GRADM positivo** com **precipitações abaixo da média** sobre a **sub-região 3** (Centro/Sul do NEB) para os meses de setembro a fevereiro, a partir das simulações GOGA, AOGA e dos dados observados do CPC. Linhas contínuas (tracejadas) referem-se a valores positivos (negativos). Intervalo de contorno de 0,25 mm/dia. Valores acima (abaixo) de 0,25 (-0,25) são sombreados conforme escala de cinza mostrada sob as figuras.

RESUMO DA SEÇÃO 4.5

- Sub-região 1 (norte do NEB)

A análise dos padrões de EN (seção 4.3.1) mostram que esse evento apresentou influência negativa no período chuvoso do norte do NEB, porém isso não é verificado em todos os anos. Realmente, esta influência negativa sobre a precipitação ocorre quando o EN é persistente (podendo ser visto ainda em maio) e quando o Atlântico apresenta condições desfavoráveis (GRADM positivo – ATN com anomalias positivas, mesmo sinal das do Pacífico). A simulação GOGA confirmou essa influência desfavorável dos dois oceanos.

Entretanto, quando o Atlântico está em condições favoráveis (GRADM negativo que pode ser relacionado com o deslocamento da ZCIT para sua posição mais ao sul) e o EN se dissipa rapidamente (em meados de fevereiro), as precipitações sobre a sub-região apresentam-se acima da média, no seu período chuvoso. Isto foi confirmado pelas simulações, nas quais foi observado que o AOGA mostrou resultados melhores da precipitação simulada em comparação com as precipitações do CPC.

Nos cenários para LN associado à qualidade da estação chuvosa, é observado o mesmo padrão de resultados discutido anteriormente para os eventos EN. Quando o ATN apresenta anomalias concordantes com o Pacífico, a resposta sobre a precipitação visualizada na seção 4.3.2 (padrão para anos de LN) é reforçada. A simulação GOGA reproduz esse padrão de anomalias de precipitações positivas. Todavia, quando o ATS apresenta o mesmo sinal do Pacífico (TSM mais quentes), observa-se uma inversão da influência do Pacífico, a sub-região apresenta redução da precipitação no período chuvoso, isso é reproduzido pela simulação AOGA que, de certo modo, mostra a contribuição do Atlântico.

O GRADM positivo (negativo) apresenta os padrões de influência na precipitação, como discutidos e observados na seção 4.3.3 e 4.3.4, resultando precipitações abaixo (acima) da climatologia sobre a sub-região 1, norte do NEB, no período chuvoso.

Por fim, essa sub-região mostrou-se sensível às mudanças ocorridas no Pacífico, entretanto o Atlântico é quem realmente modula a precipitação, fazendo com que os padrões visualizados na seção 4.3 sejam reforçados ou invertidos.

- Sub-região 2 (leste do NEB)

A influência do EN na precipitação sobre essa sub-região são variações abaixo e acima no período pré e chuvoso, respectivamente (seção 4.3.1). Os cenários mostraram que, quando o EN dissipa-se rapidamente e o ATN apresenta-se em sua condição normal ou aquecido, ocorrem chuvas acima da média. O Atlântico apresenta sua influência confirmada com os melhores resultados da simulação AOGA. Todavia, se o EN persiste por mais tempo e o ATN apresenta o mesmo sinal deste (ATSM positivas), isso tende a reduzir a precipitação na região, isso também foi observado em GOGA que consegue refletir as anomalias negativas no leste do NEB.

A concordância das ATSM sobre o ATN e Pacífico apareceram também nestes cenários para LN e definem o impacto dos eventos. Estando os dois, ATN e Pacífico, concordantes (anomalias negativas), as precipitações ficam acima da média, e, ao contrário, Pacífico apresenta-se com anomalias negativas e o ATN com anomalias positivas, geram precipitação abaixo da média climatológica. O que chama a atenção é que, nestes dois cenários, a simulação AOGA apresentou os melhores resultados. Sendo assim, nos anos de LN para a sub-região 2, as condições do Atlântico modulam a precipitação.

O GRADM positivo influencia negativamente a precipitação na estação chuvosa do leste e o oposto é verificado nos anos com GRADM negativo, isso segundo os padrões observados na seção 4.3.3 e que também pode ser confirmado na Tabela 4.1.

- Sub-região 3 (centro/sul do NEB)

O fenômeno EN sobre a sub-região centro/sul age de maneira oposta às outras sub-regiões, ou seja, causando precipitações acima da média. (vide padrões de EN na seção 4.3.1), porém nota-se na Tabela 4.1 que isso aconteceu em 50% dos anos selecionados para EN, os outros apresentaram redução das chuvas no período chuvoso.

Analisando os cenários, pode-se concluir que nos anos em que ocorrem EN e o ATS está mais aquecido do que a média, têm-se precipitações abaixo da média. Já quando o ATS apresenta condições normais e o ATN tende a aquecer-se em janeiro, apresentando o mesmo sinal do Pacífico, tem-se o aumento da precipitação no período chuvoso. As simulações para esta sub-região não conseguem representar muito bem os padrões visualizados com os dados do CPC, principalmente no período chuvoso (DJF).

Nos anos de LN, tem-se que o impacto se dá na redução da precipitação no período chuvoso (vide padrão de LN na seção 4.3.2).

O padrão das precipitações em anos com GRADM positivo são precipitações acima da média, contudo a análise da Tabela 4.1 mostra que isso acontece só na metade dos anos selecionados. A análise das composições para este cenário com chuvas acima da média mostra que este GRADM só é visualizado praticamente em janeiro, e as condições do Pacífico são ATSM positivas. As simulações não apresentaram bons resultados.

As chuvas abaixo da média apresentaram-se no cenário em que se observa ATSM negativas no ATS desde setembro em concordância com as ATSM no Pacífico, a simulação GOGA reproduz melhor o déficit da precipitação.

Em anos com o GRADM negativo, foram observadas, nos padrões para este evento (seção 4.3.4), precipitações variando acima e abaixo da média. Na Tabela 4.1, isso foi confirmado, todavia, nota-se que a maior porcentagem é para anos com precipitação abaixo da média.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários trabalhos têm sido feitos a respeito da influência dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre a precipitação no Nordeste do Brasil. No entanto, a maioria desses, vêem o NEB como um todo, o que mostra resultados apropriados, contudo muito gerais, já que a região possui três sub-regiões climáticas com características diferentes.

Dessa forma, nesse capítulo, serão expostas algumas conclusões e considerações finais com relação aos impactos de eventos climáticos EL Niño, La Niña, Gradiente meridional positivo e negativo sobre a estação chuvosa do norte, leste e centro/sul do NEB.

5.1 CONCLUSÕES

- Os padrões das anomalias da temperatura da superfície do mar em anos de El Niño, como esperado, apresentaram características opostas aos eventos La Niña. O Atlântico Tropical Norte apresentou uma relação com o Pacífico. Em anos de El Niño, essa influência se deu em março-abril-maio, enquanto que nos eventos La Niña, foram evidentes desde o trimestre setembro-outubro-novembro. A célula de Walker deslocou no Pacífico para leste (oeste) em eventos El Niño (La Niña). Sobre o NEB, foi observado um pequeno decréscimo dos movimentos ascendentes em anos de El Niño e uma intensificação desses movimentos em anos de La Niña. O escoamento na região equatorial intensifica nos anos de El Niño, enquanto que nos anos de La Niña, o escoamento anômalo apresentou-se totalmente oposto, sugerindo um enfraquecimento dos mesmos.

- O gradiente meridional negativo mostrou sua configuração desde o trimestre setembro-outubro-novembro, enquanto o gradiente meridional positivo só foi visualizado em dezembro-janeiro-fevereiro. A máxima configuração das anomalias da

temperatura da superfície do mar nos anos de gradiente meridional positivo é em março-abril-maio. Com gradiente meridional negativo, os núcleos das anomalias da temperatura da superfície do mar ao norte e ao sul do equador não apresentaram os seus máximos no mesmo trimestre. O gradiente negativo parece persistir por mais tempo do que o positivo. Não é uma regra, porém, na maioria dos anos com gradiente meridional positivo (negativo) observou no Oceano Pacífico uma tendência a eventos El Niño (La Niña). A célula de Walker sobre o Pacífico em anos de gradiente meridional positivo (negativo) apresentou-se bastante similar com os eventos El Niño (La Niña). A célula de Hadley da mesma forma. Nas composições para os anos com gradiente meridional positivo e negativo observaram-se, tal quais os eventos sobre o Pacífico, configurações opostas com mudança de direção do escoamento no Atlântico equatorial com o gradiente meridional negativo. Nos trimestre dezembro-janeiro-fevereiro e março-abril-maio, a configuração do gradiente positivo se assemelha muito àquela visualizada nos anos de El Niño, porém o escoamento na região tropical nos anos de gradiente positivo parece ficar mais confinado no Hemisfério Sul, ou seja, deslocado mais para o sul.

- Verificou-se uma pequena tendência de aumento da precipitação no período 1948-1976 para as sub-regiões norte e leste do Nordeste do Brasil, que pode estar associada ao maior número de episódios La Niña ocorridos nesse período ou à influência da Oscilação Decadal do Pacífico. Nenhuma tendência foi encontrada para o período subsequente (1977-1997) durante o qual episódios de El Niño foram mais numerosos.

- A resposta interanual da precipitação foi robusta quando se observa o gradiente meridional positivo (induzindo seca) ou negativo (induzindo chuvas), sugerindo uma forte influência climática do Atlântico em relação ao Pacífico sobre as sub-regiões norte e leste do NEB. Entretanto, nos anos com episódios de El Niño ou La Niña configurados, as precipitações sobre as três sub-regiões apresentaram uma alta variabilidade, podendo se observar anos secos ou chuvosos. É importante ressaltar que a sub-região centro/sul, geralmente, apresentou características da precipitação oposta às duas outras sub-regiões. Pode ser observado um dipolo de chuvas com divisor em 12°S.

- Em relação à variabilidade visualizada em anos de eventos extremos sobre o Pacífico, foi verificado que, em anos de El Niño, se as condições do Atlântico forem desfavoráveis – gradiente meridional positivo (favoráveis – gradiente meridional

negativo) o impacto sobre as sub-regiões norte e leste são precipitações abaixo (em torno ou acima) da média no seu período chuvoso. As simulações conseguiram reproduzir esses padrões, ou seja, para os anos em que os dois oceanos estão desfavoráveis as precipitações foram melhores reproduzidas por GOGA, haja vista que nessa simulação as temperaturas da superfície do mar são todas observadas. Nos anos em que o Atlântico mostrou-se com condições favoráveis, a simulação AOGA foi melhor, tendo em vista que, nesta, os eventos El Niño são suprimidos (utiliza-se sobre este oceano temperaturas da superfície do mar climatológicas).

- Com condição de La Niña também foi observada a relação com o Atlântico, quando este evento atua com o Atlântico Tropical favorável, houve o aumento da precipitação sobre o norte e leste do Nordeste, ao contrário, quando o Atlântico está desfavorável têm-se precipitações reduzidas no período chuvoso de cada sub-região. Para a sub-região 1 segue o mesmo raciocínio visto para El Niño, ou seja, anos concordantes entre o Pacífico e Atlântico Norte, ação conjunta dos oceanos, a simulação GOGA reproduz melhor a precipitação, ao contrário AOGA. Entretanto, não foi isso que foi observado para o leste, em que a simulação AOGA foi melhor em ambos os cenários, sugerindo que nesta sub-região em anos de La Niña o Atlântico é quem domina a variabilidade da precipitação, e a influência do Pacífico é relativamente modesta.

- Para o centro/sul do Nordeste do Brasil foi verificado que as simulações não conseguiram reproduzir muito bem os padrões observados para a precipitação nesses anos de eventos sobre o Pacífico. Contudo, as anomalias de precipitação são opostas as que foram visualizadas sobre as sub-regiões norte e leste. Ou seja, em anos de El Niño – Atlântico tropical norte quente, verificaram-se anomalias de precipitações positivas; anos de El Niño – Atlântico tropical norte frio têm-se precipitações reduzidas. Mas vale lembrar que os sistemas que atuam nessa sub-região são diferentes das outras, por exemplo a zona de convergência do Atlântico Sul, esses sistemas são mais parecidos com os que influenciam o sudeste do Brasil. Contudo, a área determinada para essa sub-região pode ser melhor dividida já que nessa ainda visualizam-se dois regimes de chuvas. Por exemplo, no Estado da Bahia, têm-se, ao norte regimes de chuvas que seguem as sub-regiões norte e leste, e, ao sul, segue o regime do sudeste. Isso pode ser uma justificativa para o modelo apresentar dificuldades em representar as precipitações como nas demais sub-regiões. Em anos de La Niña, em geral, esta sub-região tem seu

regime de chuvas reduzido, porém ela depende também do posicionamento da zona de convergência do Atlântico Sul.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi discutido e das conclusões apresentadas pode se detectar que, o Atlântico é quem determina o comportamento das chuvas na sub-região norte e leste, talvez não o gradiente meridional da temperatura da superfície do mar em si, mas as condições do Atlântico Tropical Sul. Por isso, para pesquisas futuras, um dos mais importantes aspectos a se investigar refere-se às condições e modificações do Atlântico Sul, que parece ser uma das chaves para entender o clima do Nordeste do Brasil e principalmente das sub-regiões leste e norte do Nordeste.

É sabido que os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera auxiliam no entendimento da variabilidade climática. O modelo ARPEGE apresentou sua contribuição. Suas simulações forçadas por diferentes padrões da temperatura da superfície do mar se apresentaram como uma possível ferramenta para o entendimento dos impactos diferenciados dos eventos nos oceanos sobre a precipitação.

SUGESTÕES

- Verificar se os mesmos resultados (impactos) são confirmados, quando, para elaborarmos as composições, partimos da seleção dos anos secos e chuvosos e depois associarmos aos eventos sobre os dois oceanos.
- Verificar se os cenários observados neste trabalho são confirmados em eventos climáticos sobre o Pacífico e Atlântico que ocorreram após o período estudado (1948-1997).
- Dividir a sub-região centro/sul mais detalhadamente, para verificar realmente as contribuições dos oceanos separadamente.

- Avaliar, com maiores detalhes, as mudanças que ocorreram na precipitação e em outras variáveis, antes e após o ano de 1976, já que foram significativas e podem estar relacionadas com a Oscilação Decadal do Pacífico, por exemplo.
- Analisar o Atlântico Sul, não só na região tropical como também na região subtropical, com o intuito de entender mecanismos físicos e dinâmicos que agem nesta bacia e em consequência seus impactos sobre a região NEB.
- Comparar os resultados de outros Modelos de Circulação Geral com os do ARPEGE.

REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, 116 (3), 505-524, 1988.
- ADLER, R.F.; HUFFMAN, G.J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.-P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). **Journal of Hydrometeorology**, 4(6), 1147-1167, 2003.
- ALVES, J.M.B.; FERREIRA, A.G.; XAVIER, T.M.B.S. Diferenças na tendência da temperatura da superfície do mar no Atlântico Intertropical em anos de contrastes climatológicos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 579-587 (cd-rom), 2000.
- ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. Estudo preliminar entre as chuvas no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS). **Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, I: 72-76, São Paulo, 1992.
- ALVES, J.M.B.; FERREIRA, F.F.; CAMPOS, J.N.B. Movimento vertical e índices atmosféricos associados às células de Hadley e Walker em anos de contrastes climáticos: Relação com chuvas do setor norte do Nordeste do Brasil-SNNEB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(1), 15-36, 2005.
- ALVES, J.M.B.; FERREIRA, N.S.; REPELLI, C.A. Um estudo diagnóstico das características atmosféricas associadas à atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre Atlântico Tropical Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 11 (1 e 2), 44-58, 1996.
- ANDREOLI, R.V. **Variabilidade e Previsibilidade da Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical**. 224 p. (INPE-9557-TDI/833). Tese (Doutorado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Multi-scale variability of sea surface temperature in the tropical Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, 109, 2004.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade da precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 22 (1), 63-74, 2007.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; GUEDES, R.L.; OYAMA, M.D.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19 (3), p. 337-344, 2004.

ARAGÃO, J.O.R. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas no Nordeste do Brasil**. Tese de Mestrado (Instituto de Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, 51p. 1976.

ARAGÃO, J.O.R. **A influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Dinâmica do Tempo e do Clima do Nordeste do Brasil**. Capítulo do Livro Oceanografia um cenário tropical. Org.: Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão; Costa, M.F.da. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, 97, 163-172, 1969.

BOUGEAULT, P. A simple parameterization of the large scale effects of deep cumulus convection. **Monthly Weather Review**, 113, 2108-2121, 1985.

CARTON, J.A.; CAO, X.; GIESE, B.S.; da SILVA, A.M. Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean. **Journal Physical Oceanography**, 26, 1165-1175, 1996.

CARTON, J.A.; HUANG, B. Warm events in the tropical Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, 24, 888-893, 1994.

CASSOU, C. **Rôle de l'Océan dans la Variabilité Basse Fréquence de l'Atmosphère sur la Région Nord Atlantique – Europe**. Thèse de doctorat. Toulouse: France. 280 p. 2001.

CASSOU, C.; TERRAY, L. Ocean forcing of the wintertime low frequency atmospheric variability in the North Atlantic European sector: a study with the ARPEGE model, **Journal of Climate**, 14 (22): 4266 – 4291, 2001.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **El Niño e La Niña**. Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/enos/> > Acesso em: 22 jan 2008.

CHAN, S.C. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul**. Dissertação de Mestrado. INPE – 5222-TDL/437. 134 p., 1990.

CHANG, P.; JI, L.; LI, H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic ocean from thermodynamic air-sea interactions. **Nature**, 385, 516-518, 1997.

CHANG, P.; SARAVANAN, R.; JI, L. Tropical Atlantic seasonal predictability: The roles of El Nino remote influence and thermodynamic air-sea feedback. **Geophysical Research Letters**, 30(10), 1501, 2003.

CHEN, M.; XIE, P.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A. Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations, **Journal of Hydrometeorology**, 3, 249-266, 2002.

CHU, P.-S. Time and space variability of rainfall and surface circulation in the northeast Brazil-tropical Atlantic sector. **Journal Meteorological Society Japan**, 26, 363-369, 1984.

CLIMATE PREDICTION CENTER/ NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (CPC/NOAA). **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml> Acesso em: 15 nov 2006.

CLIMATE PREDICTION CENTER/ NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (CPC/NOAA). **Previous ENSO Events (1877-present)**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1877-present.shtml> Acesso em: 15 nov 2006.

CRAWFORD, R.J.M.; SIEGFRIED, W.R.; SHANNON, L.V.; VILLACASTIN-HERRERO, C.; UNDERHILL, L.G. Environmental influences on marine biota off southern Africa. **South African Journal of Science**, 86, 330-339, 1990.

CURTIS, S.; ADLER, R.F. ENSO indices based on patterns of satellite-derived precipitation. **Journal of Climate**, 13, 2786-2793, 2000.

CURTIS, S.; ADLER, R.; HUFFMAN, G.; NELKIN, E.; DOLVIN, D. Evolution of tropical and extra-tropical precipitation anomalies during the 1997-1998 ENSO cycle. **International Journal of Climatology**, 21, 961-973, 2001.

CURTIS, S.; HASTENRATH, S. Forcing of anomalous sea surface temperature evolution in the tropical Atlantic during Pacific warm events. **Journal of Geophysical Research**, 100, 15.835-15.847, 1995.

DAI, A.; WIGLEY, T.M.L.; BOVILLE, B.A.; KIEHL, J.T.; BUJA, L.E. Climates of the twentieth and twenty-first centuries simulated by the NCAR climate system model. **Journal of Climate**, 14, 485-519, 2001.

DELECLUSE, P.; SERVAIN, J.; LEVY, C.; ARPE, K.; BENGTSSON, L. On the connection between the 1984 Atlantic warm event and the 1982-83 ENSO. **Tellus**, 46A, 448-464, 1994.

DÉQUÉ, M.; DREVETON, C.; BRAUN, A.; CARIOLLE, D. The climate version of the ARPEGE/IFS: a contribution to the French community climate modelling, *Climate Dynamics*, 10: 249-266, 1994.

DÉQUÉ, M.; SERVAIN, J. Teleconnection between tropical Atlantic sea surface temperature and midlatitude 50 kPa heights during 1964-1986. **Journal of Climate**, 2, 929-944, 1989.

DOMMENGET, D.; LATIF, M. Interannual to decadal variability in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 13, p. 777-792, 2000.

DOTY, B.E. **Using the Grid Analysis and Display System**. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), Maryland, University of Maryland, jan. 1992.

DOUVILLE, H. Validation and sensitivity of the global hydrological budget in stand-alone simulations with the ISBA land surface scheme. **Climate Dynamics**, 14, 151-171, 1998.

ELLIOTT, J.R.; JEWSON, S.P.; SUTTON, R.T. The impact of the 1997/98 El Niño event on the Atlantic ocean. **Journal of Climate**, 14(6), 1069-1077, 2001.

ENFIELD, D.B.; CID-SERRANO, L. Low-frequency changes in El Niño/Southern Oscillation. **Journal of Climate**. 4, 1137-1146, 1991.

ENFIELD, D.B.; MAYER, D.A. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to the El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, 102, 929-945, 1997.

FERREIRA, F.F.; ALVES, J.M.B. Uma análise da evolução termodinâmica no Atlântico tropical em anos de contrastes climáticos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 11(1), 129-140, 2003.

FOLLAND, C. K.; COLMAN, A. W.; ROWELL, D. P.; DAVEY, M. K. Predictability of Brazil rainfall and real-time forecast skill, 1987-89. **Journal of Climate**, 14(9), 1937-1958, 2001.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Informações sobre El Niño**. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEMETS/el_nino/Infotec/nino.htm> Acesso em: 15 jul 2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Dipolo de TSM do Atlântico (1964-2007)**. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEMETS/pirata/dipolo/dipole_servain.gif> Acesso em: 20 dez 2007.

GAN, M.A. **Um estudo observacional sobre as baixas da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. São José dos Campos. 82 p. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Climatological aspects of Hadley, Walker and monsoon circulations in two phases of the Pacific Decadal Oscillation, **Theoretical and Applied Climatology**, 91, 117-127, 2008.

GARREAU, R.D.; BATTISTI, D.S. Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern tropospheric circulation, **Journal of Climate**, 12, 2113-2123, 1999.

GIANNINI, A.; CANE, M.A.; KUSHNIR, Y. Interdecadal changes in the ENSO teleconnection to the Caribbean region and the north Atlantic oscillation. **Journal of Climate**, 14, 2867-2879, 2001.

GIANNINI, A.; SARAVANAN, R.; CHANG, P. The predictioning role of Tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, 22(8), 839-855, 2004.

GRIMM, A.M. **Meteorologia Básica – Notas de aula**. 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>> Acesso em: 20 ago 2007.

GUILDERTON, T.P.; SCHRAG, D.P. Abrupt shift in subsurface temperatures in the tropical Pacific associated with changes in El Niño. **Science**, 281, 240-243, 1998.

HANDOH, I.C.; BIGG, G.R. A self-sustaining climate mode in the tropical Atlantic, 1995-1997: Observations and modeling. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 126, 807-821, 2000.

HANDOH, I.C.; BIGG, G.R.; MATTHEWS, A.J.; STEVENS, D.P. Interannual variability of the tropical Atlantic independent of and associated with ENSO: Part II. The South Tropical Atlantic. **International Journal of Climatology**, 26, 1957-1976, 2006b.

HANDOH, I.C.; MATTHEWS A.J.; BIGG, G.R.; STEVENS, D.P. Interannual variability of the tropical Atlantic independent of and associated with ENSO: Part I. The North Tropical Atlantic. **International Journal of Climatology**, 26, 1937-1956, 2006a.

HANLEY, D. E.; BOURASSA, M. A.; O'BRIEN, J. J.; SMITH, S. R.; SPADE E. R. A quantitative evaluation of ENSO indices. **Journal of Climate**, 16(8), 1249-1258, 2003.

HASTENRATH, S. Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. **Journal of Atmospheric Sciences**, 33(2), 202-215, 1976.

HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal of Atmospheric Sciences**, 35(12), 2222-2231, 1978.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the Tropical Atlantic sector. **Monthly Weather Review**. 112, 1097-1107, 1984.

HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**. D. Riedel. Dordrecht. 312p. 1985.

HASTENRATH, S. Prediction of northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, 3(8), 893-904, 1990.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, 6, 743-758, 1993.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 102, 77-92, 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. **Climatic Atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. University of Wisconsin Press, 113 p. 1977.

HIRST, A.C. Slow instabilities in tropical ocean basin-global atmosphere models. **Journal of Atmospheric Sciences**, 45, 830-852, 1988.

HOERLING, M.P.; HURRELL, J.W.; EISCHEID, J.; PHILLIPS, A.S. Detection and Attribution of 20th Century Northern and Southern African Monsoon Change. **Journal of Climate**, 19, 3989-4008, 2006.

HOERLING, M.P.; KUMAR, A. Why do North American Climate anomalies differ from one El Niño event to another? **Geophysical Research Letters**, 24, 1059-1062, 1997.

HOERLING, M.P.; TING, M.; KUMAR, A. Zonal flow-stationary wave relationship during El Niño: Implications for seasonal forecasting. **Journal of Climate**, 8, 1838-1852, 1995.

HOUGHTON, R.W.; TOURRE, Y. Characteristics of low frequency sea surface fluctuations in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, 5, 765-771, 1992.

HUANG, B.; SCHOPF, P.S.; PAN, Z. The ENSO effect on the tropical Atlantic variability: A regionally coupled model study. **Geophysical Research Letters**, 29(21), 2039, 2002.

HUANG, B.; SHUKLA, J. Characteristics of the interannual and decadal variability in a general circulation model of the tropical Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, 27, 1693-1712, 1997.

HURRELL, J.M. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation. **Science**. 269, 676-679, 1995.

HURRELL, J.M. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. **Geophysical Research Letters**, 23, 665-668, 1996.

HURRELL, J.W.; HOERLING, M.P.; PHILLIPS, A.; XU, T. Twentieth Century North Atlantic climate change. Part I: Assessing determinism. **Climate Dynamics**, 23, 371-389, 2004

HURRELL, J.W.; VISBECK, M.; BUSALACCHI, A.; CLARKE, R.A.; DELWORTH, T.L.; DICKSON, R.R.; JOHNS, W.E.; KOLTERMANN, K.P.; KUSHNIR, Y.; MARSHALL, D.; MAURITZEN, C.; McCARTNEY, M.S.; PIOLA, A.; REASON, C.; REVERDIN, G.; SCHOTT, F.; SUTTON, R.; WAINER, I.; WRIGHT, D. Atlantic Climate Variability and Predictability: A CLIVAR Perspective. **Journal of Climate**, 19, 5100-5121, 2006.

INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY (IRI). **Overview of the ENSO System / Monitoring ENSO**. Disponível em: < <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html> > Acesso em: 6 set 2007.

JANOWIAK, J.E.; GRUBER, A.; KONDRAGUNTA, C.R.; LIVEZEY, R.E.; HUFFMAN, G.J. A comparison of NCEP NCAR reanalysis precipitation and the GPCP

rain gauge satellite combined dataset with observational error considerations. **Journal of Climate**, 11, 2960-2979, 1998.

JOINT INSTITUTE FOR THE STUDY OF THE ATMOSPHERE AND OCEAN (JISAO). **The Pacific Decadal Oscillation (PDO)**. Disponível em: < <http://jisao.washington.edu/pdo/> > Acesso em: 2 out 2007.

KANE, R.P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology**, 17, 655-65, 1997.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. **Journal Geophysical Research-Oceans**, 109(C11011), Nov. 2004.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. **Journal of Climatology**, 8(5), 477-488, 1988.

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, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, 77(3), 437-471, 1996.

KIDSON, J.W. Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, 103, 187-196, 1975.

KILADIS, G. N.; DIAZ, H. D. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 2(9), 1069-1090, 1989.

KILADIS, G; WEICKMANN, K. M. Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. **Monthly Weather Review**, 120, 1900-1923, 1992.

KODAMA, Y. M. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 70 (4), 813-836, 1992.

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

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, 108(4), 488-498, 1980.

KOUSKY, V.E. Pentad outgoing long wave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 3, 217-231, 1988.

KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 56 , 457-465, 1978.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 6(33), 538-551, 1981.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, 36A, 490-504, 1984.

KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.F. Extremes in the southern oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. **Revista Brasileira de Meteorologia.**, 4, 351-363, 1989.

LAU, N.C.; NASH, M.J. The role of the “atmospheric bridge” in linking tropical Pacific ENSO events to extratropical SST anomalies. **Journal of Climate**, 9: 2036-2057, 1996.

LIU, Z.; ZHANG, Q.; WU, L. Remote impact on tropical Atlantic climate variability: statistical assessment and dynamic assessment. **Journal of Climate**, 17, 1529-1549, 2004.

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

LOUIS, J.; TIEDKE, M.; GELEYN, J. A short history of the operational PBL parameterization at ECMWF. Proc. ECMWF Workshop on planetary boundary layer parameterization. Tech. Rep. 59-80, ECMWF, Reading, United Kingdom.

LUCENA, D.B. **Influência da temperatura da superfície do mar próximo à costa leste na precipitação do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande: UFCG, 56 p., 2001.

MARKHAM, C.G.; MACLAIN, P.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, Northeast Brazil. **Nature**, 265 (5592), 320-322, 1977.

MARQUES, V. S.; RAO, V. B; MOLION, L. C. B. Interannual and seasonal variation in the structure and energetics of the atmosphere over Northeast Brazil. **Tellus**, v. 35A, n. 2, p. 136-148, Mar. 1983.

MARSHALL, J.; KUSHNIR, Y.; BATTISTI, D.; CHANG, P.; CZAJA, A.; DICKSON, R.; HURRELL, J.; McCARTNEY, M.; SARAVANAN, R.; VISBECK, M. North Atlantic climate variability: Phenomena, impacts and mechanisms. **International Journal Climatological**, 21, 1863-1898, 2001.

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, 1069-1079, 1997.

MÉLICE, J. L.; SERVAIN, J. The Tropical Atlantic Meridional SST Gradient Index and its relationships with SOI, NAO and Southern Ocean. **Climate Dynamics**, 20(5), 447-464, 2003.

MESTAS-NUÑEZ, A.M.; ENFIELD, D.B. Eastern equatorial Pacific SST variability: ENSO and non-ENSO components and their climatic associations. **Journal of Climate**, 14, 391-402, 2001.

MO, K.C.; HÄKKINEN, S. Interannual variability in the tropical Atlantic and linkages to the Pacific. **Journal of Climate**, 14, 2740-2762, 2001.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. *Climanálise* 8 (agosto), 2005. Disponível em <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, 17(1)1-10, 2002.

MOKHOV, I.I.; ELISSEV, A.V.; KHVOROST'YANOV, D.K. Evolution of the characteristics of interannual climate variability associated with the El Niño and La Niña phenomenon. **Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics.**, 36, 681-690, 2000.

MORCRETTE, J. Impact of changes to the radiative transfer parameterizations plus cloud optical properties in the ECMWF model. **Monthly Weather Review**, 118, 847-873, 1990.

MOURA, G.B de A.; ARAGÃO, J.O.R. de; LACERDA, F.F.; PASSAVANTE, J.Z.de O. Relação entre a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4 (2), 247-251, 2000.

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

MURTUGUDDE, R.G.; BALLABRERA-POY, J.; BEAUCHAMP, J.; BUSALACHI, A.J. Relationship between zonal and meridional modes in the tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, 28, 4463–4466, 2001.

NEWELL, R.E.; KIDSON, J.W.; VICENT, D.G.; BOER, G.J. **The general circulation of the tropical atmosphere and interaction with extratropical latitudes.** Massachusetts: MIT Press, 258 pp. 1972.

NATIONAL OCEANIC & ATMOSPHERIC ADMINISTRATION/EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY/PHYSICAL SCIENCES DIVISION (NOAA). **Multivariate ENSO Index (MEI)**. Disponível em: < <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html> > Acesso em: 3 mar 2008.

NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the Tropical Atlantic basin.** University of Maryland, 151p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - University of Maryland at College Park, 1993.

NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. **The climatology of droughts and drought prediction, the effect of climatic variation on agriculture.** In: Parry, M.P.; Carter,

T.R. e Kinijn, N.T. (Ed.), Assessments in semiarid regions, Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 305-323, 1988.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variation of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, 9, 2464-2479, 1996.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K.C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, 125, 279-291, 1997.

OORT, A.H.; YIENGER, J.J. Observed interannual variability in the Hadley circulation and its connection to ENSO. **Journal of Climate**, 9 (11), 2751-2767, 1996.

PAEGLE, J.N.; MO, K.C. Linkage between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. **Journal of Climate**, 15(12), 1389-1407, 2002.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4)**. Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Geneva, Suíça. 2007.

PENLAND, C.; MATROSOVA, L. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperature using linear inverse modeling. **Journal of Climate**, 11, 483-496, 1998.

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

PHILANDER, S. **El Niño, la niña and the southern oscillation**. Academic Press, San Diego, U.S.A. 1990.

RAMIREZ, M.C.V.; KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. **Atmosfera**, 12, 75-88, 1999.

RAO, V.B.; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, 6, 1754-1763, 1993.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, 42(1), 81-91, 1990.

RASMUSSEN, E.M.; CARPENTER, T.H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, 110, 354-384, 1982.

RAYNER, N.A.; HORTON, E.B.; PARKER, D.E.; FOLLAND, C.K.; HACKETT, R.B. Version 2.2. of the Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature data set, 1903-1994, Tech. Rep. CRTN 74, 21 pp., Hadley Centre, UKMO, Bracknell, Berks.

REIS, T. G. **Impacto dos eventos extremos de ENOS nas precipitações sazonais do Nordeste Brasileiro**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos. INPE – 14440 – TDI/1135. 96 p. 2006.

RICARD, J.; ROYER, J. A statistical cloud scheme for use in AGCM. **Annales Geophysicae**, 11, 1095-1115, 1993.

ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, 128 (8), 2947-2957, 2000.

ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C.R.; KIM, Y.J. The influence of Atlantic sea surface temperature anomalies on the North Atlantic Oscillation. **Journal of Climate**, 13, 122-38, 2000.

RODRIGUEZ, J.L. **Atlas Escolar da Paraíba**. Ed. GRAFSET, 2ª edição. João Pessoa, 112 p, 1999.

RODWELL, M.J.; POWELL, D.P.; FOLLAND, C.K. Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. **Nature**, 398, 320-323, 1999.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, 115, 2352-2362, 1987.

ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 2 (3), 268-284, 1989.

RUIZ-BARRADAS, A.; CARTON, J.A.; NIGAM, N. Structure of interannual-to-decadal climate variability in the tropical Atlantic sector. **Journal of Climate**, 13, 3285-3297, 2000.

SALVADOR, M. A. A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o Regime de Chuvas na Costa Leste do Nordeste Brasileiro (NEB). **Dissertação de Mestrado em Meteorologia**. Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT). Maceió/AL. UFAL. 48p. 2006.

SARAVANAN, R.; CHANG, P. Interaction between tropical Atlantic variability and El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**.13(13), 2177 – 2194, 2000.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA Dias, P.L. **Tropics-South America**. Chapter in Meteorology of the Southern Hemisphere. In: D.J.Karoly e D.G. Vincent. ed. **Meteorological Monograph** Boston: American Meteorology Society, Chapter 3A. p.119-139, 1998.

SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research**, 96, 15.137 – 15.146, 1991.

SERVAIN, J.; BUSALACCHI, A.J.; McPHADEN, M.J.; MOURA, A.D.; REVERDIN, G., VIANNA, M.; ZEBIAK, S.E. A pilot research moored array in the

tropical Atlantic (PIRATA). **Bulletin of American Meteorological Society**, 79 (10), 2019-2031, 1998.

SERVAIN, J.; LUKAS, S. **Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1985-1989**. IFREMER: Brest, France. ISBN 2-905-434-28-7. 133 pp., 1990.

SERVAIN, J.; SEVA, M. On relationships between Tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. **Ocean Air Interactions**, 1(2), 183-190, 1987.

SERVAIN, J.; WAINER, I.; McCREARY JR., J.P.; DESSIER, A. Relationship between the equatorial and meridional modes of climatic variability in the tropical Atlantic. **Geophysical research letters**, 26(4), 485-488, February 15, 1999.

SERVAIN, J.; WAINER, I.; AYINA, L.H.; ROQUET, H. The relationship between the simulated climatic variability modes of the Tropical Atlantic. **International Journal of Climatology**, 20, 939-953, 2000.

SILVA, A.B.P. **Estudo de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do nordeste do Brasil**. Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT). Maceió/AL, UFAL-MS/ 004. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 2002.

SILVA, L.F. **Precipitação do norte e nordeste Brasileiro e padrões de temperatura da superfície e pressão ao nível médio do mar: relações com as fases do ENOS e ODP**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos. INPE – 14080-TDI/1068. 95 p. 2006.

SOUZA, E.B.; ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do Semi-Árido Nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 6(2), 277-283, 1998.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulations. **Atmosphere**, 15, 105-120, 2002.

STEPHENSON, D.B.; CHAUVIN, F.; ROYER, J.-F. Simulation of the Asian summer monsoon and its dependence on model horizontal resolution. **Journal of Meteorological Society of Japan**. 76, 237-265, 1998.

STRANG, G.M.G.D. **Análise climatológica das normais pluviométrica do nordeste do Brasil**. CTA. São José dos Campos. 29 p. 1972.

SUTTON, R.T.; JEWSON, S.P.; ROWELL, D.P. The elements of climate variability in the tropical Atlantic region. **Journal of Climate**, 13, 3261-3284, 2000.

SUTTON, R.T.; NORTON, W.A.; JEWSON, S.P. The North Atlantic Oscillation – What role for the ocean? **Atmospheric Science Letters**, 1, 89-100, 2001.

TERRAY, L. Sensitivity of climate drift to atmospheric physical parameterizations in a coupled Ocean-Atmospheric General Circulation Model. **Journal of climate**, 11, 1633-1658, 1998.

TERRAY, L.; CASSOU, C. Modes of low frequency climate variability and their relationships with land precipitation and surface temperature: application to the Northern Hemisphere winter climate. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 14, 339-369, 2000.

TOURRE, Y.M.; RAJAGOPALAN, B.; KUSHNIR, Y. Dominant patterns of climate variability in the Atlantic Ocean during the last 136 years. **Journal of Climate**, 12, 2285-2299, 1999.

TRENBERTH, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin American Meteorological Society**, 78, 2771-2777, 1997.

TRENBERTH, K.E. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 71, 988-993, 1990.

TRENBERTH, K.E.; GUILLEMONTT, C.J. Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP reanalysis. **Climate Dynamics**, 14, 213-231, 1998.

TRENBERTH, K.E.; HOAR, T.J. The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record. **Geophysical Research Letters**, 23, 57-60, 1996.

TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate**, 14, 1697-1701, 2001.

UVO, C. **A Zona de Convergência e sua relação com a precipitação no Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos. 120 p. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. 1989.

VENEGAS, S.A.; MYSAK, L.A.; STRAUB, D.N. Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**, 10, 2904-2920, 1997.

VISBECK, M.H.; HURRELL, J.W.; POLVANI, L.; CULLEN, H.M. The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. **From the Academy**, 98 (23), 12876-12877, 2001.

WAGNER, R.G.; da SILVA, A. Surface conditions associated with anomalous rainfall in the Guinea Coastal region. **International Journal of Climatology**, 14, 179-199, 1994.

WALKER, G.T.; BLISS, E.W. World Weather V. **Memorial Royal of Meteorological Society**, 4(36), 53-84, 1932.

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

WANG, C. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 15, 399-419, 2002a.

WANG, C. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells. **Journal of Climate**, 15, 1516-1536, 2002b.

WANG, B.; AN, S.-I. A mechanism for decadal changes of ENSO behavior: roles of background wind changes. **Climate Dynamics**, 18, 475-486, 2002.

WANG, C.; PICAUT, J. Understanding ENSO Physics—A Review. In: Wang, C.; Xie, P.; Carton, J. A. (eds), **Earth's Climate: The Ocean Atmosphere Interaction**. AGU, Geophysical Monograph Series, 147, 21-48, AGU, Washington, 2004.

WEARE, B.C. Empirical orthogonal analysis of Atlantic Ocean surface temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 103, 467-478, 1977.

WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. **Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index**. *Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, OK, NOAA/N MC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma, 52-57, 1993.

XIE, S.-P.; PHILANDER, S.G.H. A coupled ocean- atmosphere model of relevance to the ITCZ in the central Pacific. **Tellus**, 46A, 340-350. 1994.

XIE, S.-P.; TANIMOTO, Y.A. pan-Atlantic decadal climate oscillation. **Geophysical Research Letters**, 25, 2185-2188, 1998.

XIE, S.-P.; TANIMOTO, Y.; NOGUCHI, H.; MATSUNO, T. How and why climate variability differs between the tropical Pacific and Atlantic. **Geophysical Research Letters**, 26, 1609-1612, 1999.

YANG, S.; LAU, K.-M. ; SCHOPF, P.S. Sensitivity of the tropical Pacific Ocean to precipitation-induced freshwater flux. **Climate Dynamics**, 15, 737-750, 1999.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal Meteorological Society of Japan**, 55, 205-207, 1977.

ZEBIAK, S.E. Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region. **Journal of Climate**, 6, 1567-1586, 1993.

ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D.S. ENSO-like interdecadal variability: 1990-93. **Journal of Climate**, 10, 1004-1020, 1997.