



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14080-TDI/1068

**PRECIPITAÇÃO DO NORTE DO NORDESTE BRASILEIRO E
PADRÕES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E PRESSÃO AO
NÍVEL DO MAR: RELAÇÕES COM AS FASES DO EL
NIÑO/OSCILAÇÃO SUL E OSCILAÇÃO
DECADAL DO PACÍFICO**

Ludimila Fabiana da Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos
doutores Mary Toshie Kayano e Nelson Jesus Ferreira, aprovada em
13 de fevereiro de 2006.

INPE
São José dos Campos
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

551.5 : 551.46(812/813)

Silva, L. F.

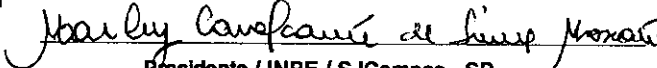
Precipitação do norte e nordeste brasileiro e padrões de temperatura da superfície e pressão ao nível do mar: relações com as fases do El Niño/oscilação sul e oscilação decadal do pacífico / L. F. Silva. – São José dos Campos: INPE, 2006.

95p.; (INPE-14080-TDI/1068).

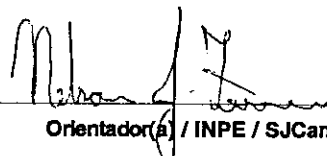
1.Precipitação. 2.Nordeste brasileiro. 3.Temperatura da superfície do mar. 4.El Niño. 5.Oscilação sul. 6.Zona de Convergência Intertropical. I. Título

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

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati


Residente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Nelson Jesus Ferreira


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

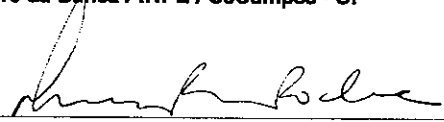
Dra. Mary Toshie Kayano


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo


Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha


Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Ludimila Fabiana da Silva

São José dos Campos, 13 de fevereiro de 2006

“Aprender uma coisa significa entrar em contato com um mundo do qual não se tem a menor idéia. É preciso ser humilde para aprender”.

PAULO COELHO

*A meus pais,
JOSÉ BENEDITO DA SILVA e
IZILDINHA APARECIDA CAMPOS FUZARI.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado e pelas viagens a congressos nacionais.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

Aos meus orientadores Profs. Drs. Mary Toshie Kayano e Nelson Jesus Ferreira, pelo conhecimento transmitido, pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

À Lílian, César e Rafael por estarem sempre dispostos a ajudar.

A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado ao longo da realização deste trabalho, me apoiando e incentivando.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

À minha irmã Andréa e ao meu cunhado Claudemir por estarem sempre ao meu lado, me ajudando nas horas mais difíceis.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo aprimorar o entendimento da relação entre modos de variabilidade dos Oceanos tropicais Pacífico e Atlântico com as precipitações do Norte do Nordeste Brasileiro (NNEB). Para tanto, inicialmente foram apresentados alguns conceitos básicos sobre os modos de variabilidade: El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e variabilidade de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico tropical (AT). Foram utilizados dados mensais de TSM, pressão ao nível do mar (PNM), e de precipitação em Fortaleza (representativa do NNEB). O período base para a análise foi de 1910 a 2000, época em que as fases da ODP estiveram bem definidas. A técnica de quantis foi usada para classificar os anos em chuvosos, secos e normais, e os anos de El Niño, La Niña e neutros foram identificados pelo índice Niño-3 de anomalias de TSM (ATSM). Por meio de análise de compostos os padrões anômalos de TSM e PNM, associados a extremos climáticos no NNEB foram identificados. Com a realização deste trabalho foi possível identificar padrões distintos de ATSM nas duas fases da ODP. Notou-se que esta interfere não somente no desenvolvimento dos episódios extremos do ENOS, mas também na sua intensidade. Em alguns casos pode-se notar que ENOS e a variabilidade de TSM do AT agiram no mesmo sentido, acentuando as anomalias de precipitação no NNEB, enquanto que em outros eles agiram em sentidos opostos atenuando ou até invertendo o sinal das anomalias de precipitação na região em questão. Assim, pode se concluir que para um bom monitoramento climático do NNEB é preciso levar em consideração a variabilidade dos Oceanos Pacífico equatorial leste e AT.

NORTHERN NORTHEAST BRAZIL PRECIPITATION AND SEA SURFACE
TEMPERATURE AND SEA LEVEL PRESSURE PATTERNS: RELATIONS TO
THE EL NIÑO/SOUTHERN OSCILLATION AND PACIFIC DECADAL
OSCILLATION PHASES

ABSTRACT

The main objective of this study was to improve the understanding of the relationship between variability modes in the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the precipitation over Northern Northeast Brazil (NNEB). Initially, the basic concepts on the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and Pacific Decadal Oscillation (PDO) modes and on the sea surface temperature (SST) variability in the tropical Atlantic (TA) were presented. Monthly data of SST, sea level pressure (SLP) and precipitation in Fortaleza (representative of the NNEB) were used. The base period of analysis was from 1910 to 2000, a period when both phases of the PDO were well-defined. While, the quantiles technique was used to classify wet, dry and normal years, El Niño, La Niña and neutral years were identified using the Niño-3 index for the SST anomalies (SSTA). Using composites, the anomaly patterns of the SST and SLP related to climate extremes in the NNEB were identified. In this work, distinct SSTA patterns were identified for the two phases of the PDO. It was noted that the PDO influences not only the development of the ENSO extremes but also their intensities. For some cases, the ENSO and the SST variability in the TA act in the same direction, in such a way that the precipitation anomalies in the NNEB are reinforced. For other cases, they act in opposite directions, in such a way that the precipitation signs in the NNEB are weakened even reversed. Hence, for an efficient climate monitoring of the NNEB, the SST variability in the eastern equatorial Pacific and in the TA should be taken into account.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	25
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 El Niño/Oscilação Sul (ENOS)	29
2.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).....	30
2.3 Variabilidade de TSM do AT	32
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA.....	37
3.1 Dados	37
3.2 Metodologia	38
3.2.1 Técnica dos Quantis.....	39
3.2.2 Técnica de Trenberth.....	39
3.2.3 Fases da ODP.....	40
3.2.4 Análise de Compostos	40
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Padrões de ATSMs em anos de El Niño nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas.....	45
4.2 Padrões de ATSMs em anos de La Niña nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas.....	50
4.3 Padrões de ATSMs em anos NEUTROS nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas.....	53
4.4 Padrões de APNMs para alguns casos selecionados	56
4.5 Evolução de ATSMs e de APNMs para os casos selecionados.....	59
4.5.1 Anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB	59
4.5.2 Anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB	65
4.5.3 Anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB	69
4.5.4 Anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB	74
4.5.5 Anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB	79
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	85
5.1 Conclusões	85
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

- 4.1 – Composições de ATSMs em anos de El Niño nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. O intervalo das isolinhas é de 0,5. Linhas contínuas (pontilhadas) indicam valores positivos (negativos) de ATSMs. A linha contínua mais espessa é o contorno de zero. Áreas hachuradas são significativas..... 49
- 4.2 – Composições de ATSMs em anos de La Niña nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 52
- 4.3 – Composições de ATSMs em anos NEUTROS nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 55
- 4.4 – Composições de APNMs em anos de El Niño e NEUTROS com ocorrência de seca na ODP(+), e em anos de La Niña e NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva na ODP(-). Linhas contínuas (pontilhadas) e indicam valores positivos (negativos) de APNMs. O intervalo das isolinhas é de 0,3. Áreas hachuradas são significativas 58
- 4.5 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 62
- 4.6 – Evolução de APNMs em anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4 63
- 4.7 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 64
- 4.8 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 67
- 4.9 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 68
- 4.10 – Evolução de ATSMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 71
- 4.11 – Evolução de ATSMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 72
- 4.12 – Evolução de APNMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4 73
- 4.13 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 76
- 4.14 – Evolução de APNMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4 77
- 4.15 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1 78

4.16 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1	81
4.17 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1	82
4.18 – Evolução de APNMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4.....	83

LISTA DE TABELAS

- 4.1 – Classificação dos anos de acordo com a estação chuvosa do NNEB, as fases do ENOS e da ODP. Os anos listados se referem aos anos de início do El Niño/La Niña/NEUTRO. As classificações da estação chuvosa se referem ao ano seguinte.
..... 45

LISTA DE SÍMBOLOS

- \bar{a} - Média da amostra
- A - Coeficiente utilizado no Método dos Mínimos Quadrados
- B - Coeficiente utilizado no Método dos Mínimos Quadrados
- m - Número de anos da série utilizado na Técnica dos Quantis
- N - Número de casos
- n - Número de valores utilizado no Método dos Mínimos Quadrados
- ODP(+) - Fase positiva da Oscilação Decadal do Pacífico
- ODP(-) - Fase negativa da Oscilação Decadal do Pacífico
- S - Desvio padrão
- t - Valor tabelado da distribuição t de Student
- x - Ordem numérica dos valores y_i
- y_i - i -ésimo valor com tendência linear
- $(y_i)_s$ - i -ésimo valor sem tendência linear
- (0) - Indica o ano em que se iniciou a fase do El Niño/Oscilação Sul
- (+1) - Indica o ano seguinte ao que iniciou a fase do El Niño/Oscilação Sul

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APNM	- Anomalia de pressão ao nível do mar
AT	- Atlântico tropical
ATN	- Atlântico tropical norte
ATS	- Atlântico tropical sul
ATSM	- Anomalia de temperatura da superfície do mar
ENOS	- El Niño/Oscilação Sul
FMAM	- fevereiro/março/abril/maio
IODP	- Índice de Oscilação Decadal do Pacífico
IOS	- Índice de Oscilação Sul
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NEB	- Nordeste Brasileiro
NNEB	- Norte do Nordeste Brasileiro
ODP	- Oscilação Decadal do Pacífico
OS	- Oscilação Sul
PNM	- Pressão ao nível do mar
TSM	- Temperatura da superfície do mar
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Existem diversos modos de variabilidade, também conhecidos como oscilações, que afetam o clima de determinadas regiões. Os modos mais conhecidos e que serão tratados no presente trabalho são: El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e variabilidade de temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Atlântico tropical (AT).

Uma das principais regiões da América do Sul que sofre com a influência desses modos de variabilidade é o Nordeste Brasileiro (NEB), conhecido por possuir uma estação seca prolongada, causando problemas sociais e econômicos (Hastenrath e Heller, 1977). O ENOS, no Pacífico tropical, tem sido considerado um dos fenômenos que causa variações climáticas nesta região (Kayano *et al.*, 1988; Aceituno, 1988). Entretanto, este não é o único modo de variabilidade de TSM no Pacífico, um outro modo semelhante é a ODP (Zhang *et al.*, 1997; Mantua *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 1998). Além destes dois modos, a variabilidade de TSM no AT também pode influenciar o clima no NEB (Markham e McLain, 1977; Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Andreoli e Kayano, 2004).

Na maioria das vezes, ao se falar em El Niño/La Niña rapidamente se associa com seca/chuva no NNEB, mas vários estudos mostram que a correlação entre o El Niño e seca no NEB é fraca (i.e., Kane, 1997). De acordo com esse estudo, para 46 eventos de El Niño, fortes e moderados, durante o período de 1849-1992, somente 21 estiveram associados com secas em Fortaleza, Ceará, ou seja, 46%. Isso o levou a argumentar que em mais da metade dos casos, as previsões de secas baseadas na ocorrência deste evento podem estar erradas. Desta forma, podem existir fatores, como a ODP e variabilidade de TSM do AT, relacionados com os El Niños (La Niñas) que não causam seca (chuva)

(Kane, 1997). O problema é que na maioria das vezes estes fatores e o ENOS são estudados como eventos isolados. Mas em determinadas regiões e épocas eles podem se sobrepor acentuando as anomalias climáticas; ou podem agir de forma contrária, diminuindo-as.

Assim, visando o monitoramento climático e sua aplicação prática este trabalho tem como objetivo reavaliar as condições atmosféricas/oceânicas predominantes em anos extremos, bem como em anos normais no norte do NEB (NNEB), mas considerando as fases do ENOS (El Niño, La Niña, neutro) e da ODP (positiva e negativa). Por ter sido identificada apenas no final da década de 90, os efeitos da ODP no clima da América do Sul ainda não são bem compreendidos. Desta forma, estudar como esta oscilação afeta o desenvolvimento do ENOS e seus efeitos sobre o NNEB é de grande interesse científico e operacional para a meteorologia brasileira.

Para que haja um maior entendimento da problemática mencionada, serão investigados o início e a evolução do ENOS e da variabilidade de TSM no AT que precedem anos secos, chuvosos e normais no NNEB. Estas condições, dependendo do número de casos, serão analisadas para as duas fases da ODP.

No capítulo 2 será feita a revisão bibliográfica sobre o assunto tratado neste trabalho. No capítulo 3 serão apresentados os dados e a metodologia a serem utilizados para: identificar as fases do ENOS e da ODP; classificar a estação chuvosa do NNEB em seca, chuvosa ou normal e identificar os padrões anômalos relacionados a cada caso. Os resultados e as discussões correspondentes encontram-se no capítulo 4. No capítulo 5, serão explicitadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros e, por último, será mostrada a bibliografia referenciada no trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A compreensão da variabilidade interanual da precipitação média no NEB constitui-se um dos desafios da meteorologia tropical, por este motivo esta região é vista como um dos “problemas climáticos da Terra” (Trewartha, 1961; Rabistona, 1976; Riehl, 1979). A precipitação média anual do NEB está entre 600 e 200 mm, que se concentra em diferentes épocas do ano e em diferentes sub-regiões (Strang, 1972; Kousky, 1979; Moura e Shukla, 1981; Rao *et al.*, 1993). A parte leste do NEB tem sua estação chuvosa entre maio e agosto. Na parte sul o máximo de precipitação ocorre em novembro e dezembro e na parte norte entre fevereiro e maio (Kousky, 1979; Moura e Shukla, 1981; Rao e Hada, 1990, Lima, 1992; Uvo *et al.*, 1998). O enfoque do presente estudo será dado à última sub-região.

Estudos anteriores têm identificado relações entre a precipitação do NEB e o ENOS, a variabilidade de TSM do Atlântico, posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico e frentes frias (Namias, 1972; Rabistona, 1976; Markham e McLain, 1977; Hastenrath e Heller, 1977; Kouky, 1979; Moura e Shukla, 1981; Kayano *et al.* 1988; Uvo, 1989). Neste trabalho serão estudadas as relações entre a precipitação do NNEB e a variabilidade de TSM do AT e Pacífico tropical leste.

O ENOS, no Pacífico tropical, é um dos fenômenos mais importantes que causa variações climáticas na América do Sul (Hastenrath, 1976; Kousky *et al.*, 1984; Kayano *et al.*, 1988; Ropelewski e Halpert, 1987 e 1989; Rao e Hada, 1990). Walker (1928) foi o primeiro a observar a coincidência da elevação da TSM no Pacífico equatorial leste e secas no NEB. Posteriormente vários estudos foram feitos para aprimorar a compreensão dos mecanismos que causam estas anomalias no clima da América do Sul.

Evidências observacionais da relação entre anomalias de TSM (ATSMs) sobre o Atlântico e a precipitação sobre o NEB foram apresentadas por Markham e McLain (1977) e Hastenrath e Heller (1977). Hastenrath e Heller (1977) e Hastenrath (1978) mostraram que em anos de secas, as ATSMs no AT mostram um padrão com valores positivos ao norte e negativos ao sul do equador. Para anos mais chuvosos que o normal, este padrão tem sinais invertidos. Eles sugerem a existência de uma conexão inversa entre a precipitação sobre o NEB e a Guiana, atribuída ao deslocamento meridional da ZCIT.

Stoeckenius (1981) notou que a precipitação sobre o NEB tem uma significativa correlação positiva com o índice de Oscilação Sul (IOS), obtido através da diferença da anomalia de pressão ao nível do mar (PNM) entre Taiti e Darwin. Ropelewski e Halpert (1987, 1989) documentaram padrões de anomalias de precipitação relacionados às fases do ENOS no nordeste da América do Sul, que inclui o NEB.

Entretanto, o ENOS não é o único fenômeno que provoca alterações no clima do NEB. Moura e Shukla (1981) mostraram que em alguns anos a seca nesta região pode estar associada a um dipolo meridional de ATSMs no AT. Eles sugeriram que as condições dinâmicas e termodinâmicas associadas a este dipolo interferem de forma sensível na posição e na intensidade da ZCIT, que por sua vez influencia a precipitação do NEB. Quando a TSM está acima da média climatológica no Atlântico tropical norte (ATN) e abaixo desta média no Atlântico tropical sul (ATS), a ZCIT encontra-se ao norte de sua posição climatológica. Nesta configuração, o ramo descendente da célula de Walker intensifica-se, causando forte subsidência no NEB reduzindo a precipitação nesta região.

A seguir, apresenta-se um detalhamento dos modos de variabilidade de TSM do Pacífico e AT, conceitos importantes no contexto do presente estudo.

2.1 El-Niño/Oscilação Sul (ENOS)

Desde Bjerknes (1966, 1969) o ENOS tem sido considerado como um fenômeno interanual que envolve interações oceânicas e atmosféricas associadas com a circulação de Walker no Pacífico (i.e., Philander, 1990; Neelin *et al.*, 1998). Variações na circulação de Walker mostram que o movimento interanual leste-oeste da célula de Walker, associado com anomalias na convecção atmosférica, desempenham um papel importante na evolução do ENOS (Wang, 2002a).

A componente atmosférica do fenômeno ENOS, a Oscilação Sul (OS), caracteriza-se por uma diferença de anomalias de PNM (APNMs) entre o Pacífico central (Taiti) e o Pacífico oeste (Darwin/Austrália). Já a componente oceânica é representada pelo evento El Niño/La Niña, nome dado ao aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico equatorial central e leste (Rasmusson e Carpenter, 1982). O fenômeno ENOS pode ser quantificado (intensidade e fase) pelo IOS, que representa a diferença de APNM entre o Pacífico central (Taiti) e o Pacífico oeste (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos baixos níveis da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos (positivos) do IOS são indicadores da fase negativa (positiva) do ENOS com a ocorrência de El Niño (La Niña). As condições oceânicas e atmosféricas geralmente oscilam entre estas duas fases extremas (Philander, 1990).

Durante a fase quente do ENOS, ou El Niño, as PNM são mais altas que o normal no Pacífico tropical oeste e mais baixas que o normal no Pacífico tropical sudeste; as ATSMs são positivas e os ventos alísios estão enfraquecidos no Pacífico central equatorial e leste; a termoclina 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. Em episódios de La Niña, as características anômalas de TSM,

PNM, ventos, convecção e profundidade da termoclina são inversas (Rasmusson e Arkin, 1985).

Variações na precipitação de algumas regiões dos trópicos têm sido relacionadas com o ENOS. Uma destas regiões é o NEB, onde a condição de seca durante sua estação chuvosa tem sido relacionada com o El Niño. A conexão do ENOS com 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 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, TSM, precipitação no NEB são observados em episódios de La Niña (Kousky e Ropelewski, 1989; Kayano e Andreoli, 2004).

2.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

Desde o final da década de 80 vários estudos mostraram a existência de um padrão dominante de variabilidade climática sobre o Oceano Pacífico. A esse regime oscilatório de grande escala, Mantua *et al.* (1997) deu o nome de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que difere da oscilação norte-sul de PNM entre o Alaska e Hawaii, conhecida como Oscilação do Pacífico norte. No caso da ODP, as ATSMs do Oceano Pacífico apresentam uma configuração semelhante ao fenômeno ENOS, porém com amplitudes maiores em latitudes médias do que em latitudes baixas e uma maior extensão de anomalias equatoriais para altas latitudes no lado leste do Pacífico e variações temporais mais longas (Mantua *et al.*, 1997).

Há autores que referem a ODP como uma variabilidade climática na escala de 20-30 anos e outros de 50-70 anos (Liu *et al.*, 2002; Minobe, 2000). No primeiro caso foi dado o nome de oscilação bidecadal e no segundo pentadecadal (Minobe, 2000). Além

disso, ele sugeriu que quando a mudança de fase destas duas oscilações coincidem, há uma mudança brusca de um regime frio para o quente da ODP e vice-versa.

A fase quente da ODP está relacionada com um inverno mais quente e ar mais seco no noroeste do Pacífico, menos precipitação e neve nas montanhas, águas aquecidas no Pacífico tropical leste e na estreita banda ao longo da costa do Alasca e do oeste dos Estados Unidos e do Canadá. Além disso, observam-se águas mais frias que o normal em uma grande área do Pacífico norte. Desta forma, as ATSMs são positivas no Pacífico tropical leste e negativas no Pacífico extratropical. A fase fria apresenta uma configuração invertida, com ATSMs negativas no Pacífico tropical leste e positivas no Pacífico extratropical norte e sul.

Para medir a fase e a intensidade da ODP utiliza-se um índice definido por Mantua *et al.* (1997), o IODP. Este índice baseia-se na componente principal do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas das ATSMs ao norte de 20°N no Pacífico. Quando o IODP é positivo, ou regime quente, prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico tropical e leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico norte; para IODP negativo, o padrão de TSM apresenta configuração inversa. A partir desta secção serão usadas as siglas ODP(+) e ODP(-) para se referir às fases positiva e negativa da ODP, respectivamente.

Mantua *et al.* (1997) comparando o IODP com o inverso do IOS, durante o período de 1900 a 2000, notaram que durante a ODP(+) (1925-1946 e 1977-2000) houve uma maior ocorrência de El Niños, enquanto que na ODP(-) (1910-1924 e 1947-1976) observou-se um maior número de La Niñas apenas no período 1910-1924. Isto mostra que a ODP(+) pode atuar de forma construtiva para a ocorrência de El Niños.

Wang e Picaut (2004) mostraram através de composições, calculadas pela média de ATSMs durante o período março-maio do ano de El Niño, que há um comportamento distinto entre os El Niños durante a ODP(+) e a ODP(-). El Niños que ocorrem na

ODP(-) começam com o aquecimento próximo às costas do Peru e Equador, e a área aquecida se expande para oeste. El Niños que ocorrem na ODP(+) começam com o aquecimento no lado oeste do Pacífico tropical, e a área aquecida se expande para leste (Wang e Picaut, 2004).

2.3 Variabilidade de TSM no AT

Evidências observacionais, teóricas e resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, indicam que as condições oceânicas e atmosféricas sobre a Bacia do AT influem fortemente na 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), particularmente sobre a América do Sul. Uma das regiões mais influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do AT é o NEB (Namias, 1972; Hastenrath e Heller, 1977; Markham e McLain, 1977; Moura e Shukla, 1981; Hastenrath, 1984; Hastenrath, 1990; Alves *et al.*, 1993; Nobre, 1993; Rao *et al.*, 1993; Nobre e Shukla, 1996).

Diversos aspectos de variabilidade da TSM no AT têm recebido considerável atenção nos últimos 10 anos. A variabilidade do AT pode ser explicada por cinco modos: o modo equatorial, gradiente inter-hemisférico de ATSMs, padrão do tipo dipolo e modos separados do ATS e ATN.

Estudos conduzidos independentemente por Zebiak (1993) e Wagner e Silva (1994) mostraram que uma parte significativa da variabilidade interanual do Atlântico é atribuída ao modo equatorial. Este modo é caracterizado por ATSMs extremas situadas quase zonalmente no leste do Atlântico equatorial, que se relacionam com alísios no Atlântico equatorial oeste mais fracos/fortes que o normal durante os episódios quente/frios. A fase quente alcança seu máximo na segunda metade do ano, com manifestações focadas primeiramente próximo ao equador (Zebiak, 1993; Carton e Huang, 1994; Latif e Grotzner, 2000; Wang, 2002b). Normalmente este aquecimento se

inicia durante o verão boreal, em agosto. Esta característica sazonal deve estar ligada ao regime de ventos alísios atuando na circulação oceânica desta região. Um enfraquecimento (fortalecimento) dos alísios na região equatorial pode causar um enfraquecimento (fortalecimento) da circulação nesta região e uma diminuição (aumento) da inclinação da termoclina equatorial, levando aos eventos extremos quentes (frios) (Góes *et al.*, 2003). O início deste modo ainda não é muito bem explicado. Mas, de acordo com Zebiak (1993), o modo equatorial pode iniciar-se de forma rápida, em escalas de poucas semanas a meses, por causa da excitação e propagação de ondas de Kelvin e Rossby equatorial forçadas pelo vento.

O gradiente inter-hemisférico de ATSMs apresenta um padrão anômalo de ATSMs anti-simétrico em relação ao equador com centros na região dos ventos alísios de nordeste e sudeste (i.e., Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996; Servain *et al.*, 1999). O modo equatorial é mais pronunciado na escala interanual (Zebiak, 1993), enquanto o modo inter-hemisférico é mais visível na escala decadal (Servain, 1991; Houghton e Tourre, 1992; Carton *et al.*, 1996; Chang *et al.*, 1997; Tourre *et al.*, 1999).

Diversos trabalhos utilizando análises observacionais e estatísticas (Lough, 1986; Servain, 1991; Ward e Folland, 1991; Nobre, 1993; Hastenrath e Greischar, 1993; Nobre e Shukla, 1996; Wagner, 1996; Souza, 1997), assim como simulações numéricas obtidas com modelos de circulação geral da atmosfera (Moura e Shukla, 1981; Carton *et al.*, 1996; Huang e Shukla, 1997), mostraram evidências de que o padrão de dipolo é o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala mais importante sobre a Bacia do AT, durante os meses do outono austral. O padrão de dipolo foi descoberto por Hastenrath (1976); Hastenrath e Heller (1977) e Hastenrath (1978) quando tentavam investigar, através de análises observacionais, as configurações da circulação atmosférica sobre o AT, juntamente com os eventos climáticos regionais extremos (secas e inundações) observados sobre as regiões da América Central, Caribe e NEB.

Durante a fase negativa do dipolo sobre a região do Atlântico equatorial, os padrões de TSM anormalmente quente e pressões mais baixas do que o normal sobre do ATS, aliados à ocorrência de alísios intensos de nordeste e confluência-convergência do vento, posicionados ao sul do equador, são condições favoráveis ao posicionamento e manutenção da ZCIT também ao sul do Atlântico equatorial (Rao *et al.*, 1999). Em consequência disso, sobre o setor norte do Atlântico equatorial nota-se a presença de anomalias negativas de nebulosidade e de precipitação. Na fase positiva, tem-se o padrão oposto: anomalias positivas de cobertura de nuvens e de precipitação associada à localização da ZCIT, atuando sobre o Atlântico equatorial norte, atingindo principalmente o litoral da África. Além disso, ao sul do equador, nota-se a presença de anomalias negativas de nebulosidade e de precipitação cobrindo grande parte do Atlântico equatorial sul (Souza e Nobre, 1998).

No entanto, diversos estudos observacionais e de modelagem têm questionado a existência do padrão do tipo dipolo de ATSMs no AT (Houghton e Tourre, 1992; Enfield e Mayer, 1997; Mehta, 1998; Enfield *et al.*, 1999; Dommenges e Latif, 2000). Estes estudos dão ênfase ao fato de que a correlação observada entre as ATSMs do norte e sul do equador não é fortemente significativa como deveria ser numa configuração de dipolo. O modo de dipolo necessita da existência de uma anticorrelação da variabilidade entre os dois hemisférios e a resposta atmosférica ao gradiente inter-hemisférico de ATSMs. Este último processo pode ser importante na ausência do dipolo (Enfield *et al.*, 1999). Na verdade o que contribui para a precipitação no NEB é a resposta atmosférica a este gradiente e não a presença do dipolo (Saravanan e Chang, 2000).

Estudos sobre a relação entre o ENOS e os modos de variabilidade de TSM no AT mostraram que o modo gradiente de ATSMs pode ser forçado remotamente pelo ENOS (Saravanan e Chang, 2000; Sutton *et al.*, 2000). Enfield e Mayer (1997) analisaram as estruturas espacial e temporal da variabilidade de TSM no AT relacionando-as com a variabilidade de TSM no Pacífico equatorial. Eles concluíram que a variabilidade de

TSM no Pacífico equatorial está mais fortemente correlacionada com a variabilidade das TSMs do ATN na escala interanual, ao longo da região de 10°N-20°N. O aquecimento nesta região ocorre 4-5 meses após a fase madura do evento quente no Pacífico em resposta à redução da velocidade dos ventos alísios de nordeste em superfície. Isto tende a reduzir o fluxo de calor latente e sensível sobre a região em questão (Enfield e Mayer, 1997).

A influência do ENOS no AT é observada durante a primavera boreal (março-maio) (Enfield e Mayer, 1997; Saravanan e Chang, 2000) e está associada com anomalias na circulação de Walker. O ENOS contribui de forma significativa para a correlação entre a estrutura de dipolo de ATSMs do AT e a precipitação do NNEB (Saravanan e Chang, 2000).

Chang *et al.* (1997), sugeriram que o modo de dipolo do Atlântico envolve principalmente dinâmicas locais e não é fortemente influenciado por processos globais. Um fator de grande importância para a variabilidade de TSM no AT é o fluxo de calor em superfície (Carton *et al.*, 1996; Chang *et al.*, 1997). As anomalias de fluxo de calor em superfície associadas com o ENOS, sobre o AT, são causadas por mudanças na velocidade dos ventos e na diferença de temperatura entre atmosfera-oceano (Saravanan e Chang, 2000).

Carton *et al.* (1996) mostram que o principal mecanismo responsável por mudanças na TSM do Atlântico é a evaporação. Eles sugerem que o padrão decadal de ATSMs é controlado principalmente por mudanças na evaporação devido alterações na velocidade dos ventos em superfície. Uma pequena mudança inicial nas ATSMs de sinais opostos no ATN e ATS perturbam as APNMs (Hastenrath e Greischar, 1993a, b) induzindo mudanças nos ventos alísios sobre o ATN e ATS. Como consequência, o gradiente de ATSMs original acentua-se reforçando as condições iniciais.

Na ausência do ENOS, a precipitação no NEB se correlaciona mais fortemente com as ATSMs do ATS do que com as do ATN (Saravanan e Chang, 2000). A variabilidade de TSM do Pacífico equatorial não produz fortes mudanças locais nas ATSMs do ATS, pois a influência do ENOS no Atlântico sul é fraca comparada à sua influência no Atlântico norte (Enfield e Mayer, 1997).

O papel das ATSMs sobre o AT durante episódios extremos de ENOS foi investigado através de simulações com o modelo de circulação geral da atmosfera, por Pezzi e Cavalcanti (2001). Os autores observaram que em condições de El Niño, sobre o Oceano Pacífico, e dipolo positivo (TSM mais alta que o normal no ATN e abaixo do normal no ATS), são observadas condições de seca sobre o NEB. Por outro lado, na presença de dipolo negativo (TSM mais baixa que o normal no ATN e acima do normal no ATS), ocorre precipitação acima da média no NNEB. Em condições de La Niña e dipolo positivo (negativo), o NEB apresenta precipitação abaixo (acima) do normal. Dessa forma, eles mostraram que nem sempre condições de El Niño (La Niña) sobre o Pacífico são suficientes para determinar a condição seca (chuvosa) sobre o NEB.

A relação entre o desenvolvimento de episódios extremos de ENOS e da variabilidade de TSM no AT foi estudada por Giannini *et al.* (2004). De acordo com este trabalho a forma em que as ATSMs do AT e o ENOS estão se desenvolvendo pode ser uma condição prévia para o desenvolvimento de uma teleconexão. Para anos em que a interação entre o ENOS e a variabilidade do AT reforça a resposta a esta combinação (anos concordantes - El Niño/La Niña com gradiente de ATSMs para norte/sul), a relação entre as ATSMs do AT e a precipitação do NEB é mais forte e as amplitudes das anomalias de precipitação são maiores e mais significativas. Em anos discordantes (El Niño/La Niña com gradiente de ATSMs para sul/norte) esta relação é mais fraca, pois o AT age no sentido contrário ao ENOS, limitando ou até mesmo invertendo o sinal das anomalias de precipitação sobre o NEB.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados mensais de TSM, de PNM e de precipitação em Fortaleza ($3^{\circ} 47' S$, $38^{\circ} 32' W$). Usando dados de estações meteorológicas de superfície, Kane e Trivedi (1988) mostraram que Fortaleza é positivamente correlacionada com todas as estações no NEB ao norte de $10^{\circ} S$. Isto justifica usar os dados de precipitação de Fortaleza para representar o NNEB. Os dados de TSM consistem de séries mensais reconstruídas por Smith e Reynolds (2003) para o período de 1854-2000. Os campos mensais de PNM para o período de 1871-1994 foram obtidos do portal: <http://www.badc.rl.ac.uk/> do “British Atmospheric Data Centre”. Os dados de TSM e PNM encontram-se em pontos de grade nas resoluções de 2° por 2° e 5° por 5° latitude-longitude, respectivamente. A série temporal de precipitação foi fornecida por Roberto L. Guedes do Centro Técnico Aeroespacial e está disponível para o período de 1856 a 2004. Parte desta série, 1871-1970, foi extraída de Strang (1972). As análises de TSM (PNM) foram feitas para o domínio espacial entre $46^{\circ} N$, $46^{\circ} S$ ($50^{\circ} N$ e $50^{\circ} S$). O período base de análise foi de 1910 a 2000, quando as fases da ODP estiveram bem definidas (Mantua *et al.*, 1997). Foram realizados alguns testes com os campos de PNM obtidos da reanálise do NCEP/NCAR, para o período de 1948 a 1994, com uma resolução de $2,5^{\circ}$ de latitude por $2,5^{\circ}$ de longitude.

A fim de remover o ciclo anual dos dados foram calculadas as anomalias de TSM (PNM) mensais para cada ponto de grade, a partir das médias de 1910-2000 (1910-1994). Em seguida, foi removida a tendência linear das anomalias (em cada ponto) que foram normalizadas pelos correspondentes desvios padrão. Assim, torna-se possível a comparação dos padrões anômalos de PNM e TSM para as diversas regiões.

A tendência linear foi removida através do Método dos Mínimos Quadrados. Sejam n valores y_0, \dots, y_n , cuja ordem numérica de 1 a n está representada por x_0, \dots, x_n , o i -ésimo valor sem tendência linear é obtido através da seguinte equação:

$$(y_i)_s = y_i - (Ax_i + B) \quad (3.1)$$

em que:

$(y_i)_s$ é o i -ésimo valor sem tendência linear;

y_i é o i -ésimo valor com tendência linear;

A e B são coeficientes obtidos pelas equações 3.2 e 3.3, respectivamente.

$$A = \frac{n\dot{a}_{xy} - \dot{a}_y\dot{a}_x}{n\dot{a}_{x^2} - (\dot{a}_x)^2} \quad (3.2)$$

$$B = \frac{\dot{a}_y}{n} - A \frac{\dot{a}_x}{n} = \frac{\dot{a}_y - A\dot{a}_x}{n} \quad (3.3)$$

em que:

$$\dot{a}_{\dots} = \sum_{i=1}^n \dot{a}_{\dots i}$$

3.2 Metodologia

Para a realização deste estudo, inicialmente classificou-se todas as estações chuvosas do NNEB (fevereiro a maio - FMAM), do período de 1910 a 2000, em seca, normal e chuvosa. Para isto a técnica utilizada foi a dos Quantis (ou Percentis). Em seguida estes anos foram classificados de acordo com as fases do ENOS (El Niño, La Niña, neutro). Por último estes anos foram agrupados de acordo com as fases da ODP. A Tabela 4.1

mostra os 18 casos possíveis. Para a classificação dos anos de El Niño, La Niña e neutros foi utilizada a técnica de Trenberth (1997). As fases da ODP foram obtidas pelo índice de Mantua *et al.* (1997).

3.2.1 Técnica dos Quantis

A classificação da estação chuvosa do NNEB foi feita através da Técnica dos Quantis, que consiste em dar o valor 1 ao ano com a menor precipitação sazonal e o valor m (número de anos da série) para o ano com a maior precipitação sazonal. Em seguida, estes valores são normalizados por m , obtendo-se desta forma uma série com valores entre 0 e 1 (Meisner, 1976). Os anos que apresentaram quantis menores ou iguais a 0,33 foram considerados secos, entre 0,33 e 0,66 normais e aqueles com quantis maiores ou iguais a 0,66, chuvosos.

3.2.2 Técnica de Trenberth

Para identificar as fases do ENOS, foi utilizado o critério empírico apresentado em Trenberth (1997). Ele sugeriu que o El Niño pode ser identificado através do cálculo da média móvel de 5 meses das ATSMs na região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W). Assim, o ano é classificado como ano de El Niño se apresentar no mínimo 6 meses consecutivos com ATSMs maior a 0,4 °C. Entretanto, neste trabalho optou-se por utilizar a região do Niño-3 (5°N-5°S, 90°W-150°W), por estar mais próxima à costa da América do Sul. Primeiramente, calcularam-se as médias mensais de ATSMs para a área limitada em 4°N, 4°S, 90°W e 150°W. Posteriormente obteve-se uma série mensal suavizada pelas médias móveis de cinco meses de ATSMs mensais. Finalmente, nesta série foram classificados como anos de El Niño (La Niña) aqueles que apresentaram pelo menos 6 meses consecutivos com ATSMs maior ou igual a + 0,5 °C (menor ou igual a - 0,5 °C). Os anos complementares foram considerados neutros em termos do ENOS. Será usado o termo “NEUTROS” para se referir a estes anos. Esta definição é

utilizada pela Agência Meteorológica do Japão. A média móvel de cinco meses de ATSMs foi feita para suavizar as possíveis variações no oceano Pacífico tropical.

3.2.3 Fases da ODP

Para definir a fase e a intensidade da ODP foi utilizado o índice definido por Mantua *et al.* (1997), o IODP, que é baseado na componente principal do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas da TSM ao norte de 20°N no Pacífico. A ODP esteve na fase positiva nos períodos de 1925-1946 e 1977-2000, e negativa de 1910 a 1924 e de 1947 a 1976.

3.2.4 Análise de Compostos

A técnica da composição foi utilizada para identificar as características atmosféricas/oceânicas dos padrões anômalos observadas durante eventos extremos do ENOS, bem como em anos normais. Inicialmente foram feitos compostos dos casos com número de anos que garantisse significância estatística, de El Niño, La Niña e NEUTROS com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas sobre o NNEB durante FMAM, para a ODP(+) e ODP(-). Obtendo-se composições de 16 casos. Em seguida foram selecionados os casos que permitissem comparar as fases da ODP que resultara num total de 10. Estes foram analisados em termos da evolução temporal dos padrões por médias bimestrais a partir de fevereiro do ano que iniciou uma das fases do ENOS até maio do ano seguinte, quando foi feita a classificação da estação chuvosa. Foram excluídos os compostos relacionados à ocorrência de condições normais de precipitação sobre o NNEB para a comparação entre as fases da ODP, que não tem interesse prático.

Como a série temporal de PNM termina em 1994, a composição de APNMs não foi feita para todos os casos, pois alguns deles não apresentaram um número suficiente de

anos que garantisse significância estatística (Tabela 4.1). Um outro problema encontrado é que parte dos campos não se mostrou coerente com as composições de ATSMs, desta forma foram feitos testes com dados da reanálise do NCEP/NCAR para avaliar sua consistência. De fato, estes apresentaram melhores resultados, mas como esta série possui somente 52 anos não seria possível compor a maioria dos casos, sendo assim, optou-se por continuar com os dados originais.

A significância estatística dos compostos foi obtida através do teste estatístico t-Student. Como os dados foram normalizados, considerou-se que estes possuem uma distribuição normal e assumiu-se a hipótese nula, ou seja, a média da população é considerada nula fora do intervalo de confiança em questão. Desta forma, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$-t \frac{S}{\sqrt{N-1}} < \bar{a} < +t \frac{S}{\sqrt{N-1}} \quad (3.4)$$

Ou,

$$|\bar{a}| > t \frac{S}{\sqrt{N-1}} \quad (3.5)$$

Em que,

t é o valor tabelado da distribuição t de Student correspondente ao nível de significância escolhido;

S é o desvio padrão;

\bar{a} é a média da amostra;

N é o número de casos.

Os valores de t para níveis de probabilidades específicas são dados em tabelas (Panofsky e Brier, 1968). Para a utilização deste teste foi feita a suposição de que os

pontos em espaço são independentes um do outro, entretanto nem sempre isso ocorre (Livesey e Chen, 1983). Como este trabalho teve por objetivo identificar os padrões e não delimitar áreas contornou-se o problema da interdependência dos pontos em espaço adotando o um alto nível de confiança (95%).

Vale ressaltar que do ponto de vista do monitoramento climático e previsão seria interessante atribuir probabilidades a cada caso apresentado, entretanto a análise de compostos é deficiente neste ponto.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão mostradas as composições de ATSMs para os anos de El Niño, La Niña e NEUTROS com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas sobre o NNEB durante as duas fases da ODP, obtidas através das médias das anomalias mensais durante FMAM. Na Tabela 4.1 são listados os anos de início do El Niño/La Niña/NEUTRO e a classificação de FMAM se refere ao ano seguinte. Analisando esta tabela observa-se que durante a ODP(+) ocorreram, no total, 13 El Niños: 7 deles foram coincidentes com ocorrência de seca durante FMAM, 3 com ocorrência de anomalias positivas de precipitação e em 3 a estação chuvosa do NNEB manteve-se normal. É notável a predominância de El Niños coincidentes com condições de seca sobre o NNEB no período de 1977 a 2000. Durante a ODP(-), 11 episódios de El Niños foram observados, 3 coincidentes com uma estação seca, 5 com precipitação acima da média e 3 com estação chuvosa normal. É interessante notar, que o número de El Niños com ocorrência de seca durante a ODP(+) foi bem maior do que na ODP(-), enquanto que a quantidade de episódios coincidentes com chuva excessiva no NNEB foi superior na ODP(-). Na categoria El Niño com estação chuvosa normal, o número de eventos encontrados foi idêntico para as duas fases.

Durante a ODP(-) ocorreram, no total, 19 La Niñas e na ODP(+) somente 7. Das 19 La Niñas observadas, 8 delas coincidiram com precipitação acima da média no NNEB durante sua estação chuvosa, 4 com ocorrência de seca e 7 com condições normais de precipitação. Na ODP(+) somente 2 eventos coincidiram com condições de seca, 1 com estação chuvosa normal e 4 com chuva excessiva. Um aspecto interessante é que além da quantidade de La Niñas ter sido maior durante a ODP(-), a maioria dos episódios com o efeito esperado da La Niña (excesso de precipitação no NNEB) ocorreram durante esta fase.

Na categoria de anos NEUTROS, no total, foram observados 25 anos durante a ODP(+) e 15 na ODP(-). O número de casos com ocorrência de seca no NNEB durante a ODP(+) foi bem superior (11) ao número de eventos na ODP(-) (3). Durante a ODP(+) 7 anos coincidiram com precipitação acima do normal durante FMAM e na ODP(-) somente 4. Em condições normais de precipitação no NNEB durante sua estação chuvosa, observaram-se 7 episódios na ODP(+) enquanto que na ODP(-) ocorreram 8.

A análise quantitativa da Tabela 4.1 sugere que a ODP(+) há uma maior tendência de ocorrerem episódios de El Niño, enquanto que na ODP(-) eventos de La Niña. Além disso, pode-se observar uma quantidade superior de El Niños (La Niñas) com ocorrência de condições secas (chuvosas) durante a ODP(+) (ODP(-)). Isto mostra que quando ENOS e ODP atuam no mesmo sentido (El Niño e ODP(+) ou La Niña e ODP(-)), há uma maior probabilidade de que os efeitos das fases extremas do ENOS sejam os esperados. Entretanto, quando estes dois modos de variabilidade agem em sentidos opostos (El Niño e ODP(-) ou La Niña e ODP(+)) o número de episódios de El Niño (La Niña) com ocorrência de condições secas (chuvosas) tendem a ser reduzidos.

Na ausência de eventos extremos de ENOS, é interessante notar que durante a ODP(+) não só a quantidade de anos NEUTROS foi superior, como o número de anos com condições secas durante FMAM. Neste caso o fraco aquecimento das águas superficiais do Pacífico tropical associado a uma oscilação de grande escala, a ODP, pode contribuir direta ou indiretamente com a condição de seca sobre o NNEB. Seria esperado uma maior ocorrência de anos NEUTROS com ocorrência de condições chuvosas durante a ODP(-), entretanto isto não foi observado. As fracas ATSMs negativas do Pacífico tropical resultantes desta fase não devem ter contribuído na precipitação de FMAM. O que mostra uma relação não linear entre a fase neutra do ENOS e a ODP.

TABELA 4.1 – Classificação dos anos de acordo com a estação chuvosa do NNEB, as fases do ENOS e da ODP. Os anos listados se referem aos anos de início do El Niño/La Niña/NEUTRO. As classificações da estação chuvosa se referem ao ano seguinte.

Fase da ODP	Fase do ENOS	Estação Chuvosa do NEB		
		Seca	Chuvosa	Normal
Positiva (1925-1946/ 1977-2000)	El Niño	1940, 1941, 1979, 1982, 1986, 1991, 1997	1925, 1993, 1994	1930, 1939, 1987
	La Niña	1942, 1988	1933, 1938, 1944, 1984	1999
	Neutro	1927, 1929, 1931, 1932, 1935, 1978, 1980, 1981, 1989, 1992, 1996	1928, 1934, 1946, 1983, 1985, 1990, 1995	1926, 1936, 1937, 1943, 1945, 1977, 1998
Negativa (1910-1924/ 1947-1976)	El Niño	1914, 1953, 1957	1911, 1951, 1963, 1968, 1972	1965, 1969, 1976
	La Niña	1954, 1955, 1961, 1971	1915, 1916, 1920, 1922, 1948, 1949, 1973, 1975	1910, 1917, 1924, 1956, 1964, 1967, 1970
	Neutro	1918, 1950, 1952	1912, 1923, 1966, 1974	1913, 1919, 1921, 1947, 1958, 1959, 1960, 1962

4.1 Padrões de ATSMs em anos de El Niño nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas

A Figura 4.1 ilustra os campos compostos de ATSMs em anos secos, chuvosos e normais no NNEB coincidentes com ocorrências de eventos El Niño, na OPD(+) e OPD(-). É possível observar diferenças marcantes nos padrões entre os casos. Na Figura 4.1a, observa-se aquecimento (ATSMs significativas) em uma ampla área ao longo da costa das Américas e no Pacífico tropical leste. Esta área aquecida está

circundada a oeste, norte e sul por ATSMs negativas significativas. Embora mais intenso nos trópicos o padrão de ATSMs observado no Pacífico tropical é similar ao notado para a ODP(+) (Mantua *et. al.*, 1997; Zhang *et al.*, 1997). Portanto, El Niños na ODP(+) mostram ATSMs positivas ao longo da costa das Américas, embora mais fracas do que na faixa equatorial do Pacífico. No ATN nota-se a presença de uma extensa área aquecida (ATSMs significativas), que gera um gradiente meridional de ATSMs para o norte. Por apresentar ATSMs de mesmo sinal no Pacífico tropical leste e no ATN, este caso é conhecido na literatura como El Niño canônico (Enfield e Mayer, 1997). A combinação de El Niño e gradiente inter-hemisférico de ATSMs para o norte resultam em anomalias negativas de precipitação sobre o NNEB, pois a presença de ATSMs positivas no ATN e de ATSMs negativas (quase nulas) no ATS durante a estação chuvosa pode manter a ZCIT no hemisfério Norte (Giannini *et al.*, 2004).

Observando a Figura 4.1d, nota-se que o comportamento do El Niño na ODP(-) difere do El Niño na ODP(+). O comportamento evolutivo distinto das ATSMs no Pacífico nas duas fases da ODP já foi ilustrado anteriormente por Wang e Picaut (2004). Na presente análise, durante a ODP(-) observa-se que as ATSMs positivas, com valores significativos aproximadamente entre 20°N e 20°S, ficam confinadas no Pacífico equatorial central e são circundadas por fracas ATSMs negativas ao norte e sul. Nota-se também, que a distribuição das ATSMs no AT é distinta do caso de El Niño na ODP(+). No caso da ODP(-) as ATSMs negativas no ATS estão melhor definidas do que no caso da ODP(+). Assim, o ATN mais aquecido que o normal e o ATS mais frio que o normal estabelece um padrão de ATSMs no AT similar a um dipolo positivo. Para este modo, Moura e Shukla (1981) sugeriram a existência de uma circulação anômala termicamente direta, no sentido meridional, com movimento anômalo ascendente sobre a região com ATSMs positivas (fonte de calor) e movimento descendente anômalo sobre a região com ATSMs negativas (sumidouro de calor). Este padrão de ATSMs gera um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico equatorial dirigido de sul para norte. Diversos autores mostram que este padrão juntamente com padrões anômalos associados de vento e pressão em superfície influencia a intensidade e a migração norte-sul da ZCIT sobre o AT e em consequência a distribuição de precipitação no NEB

(Hastenrath e Heller, 1977; Hastenrath e Greischar, 1993; Moura e Shukla, 1981; Nobre, 1993; Nobre e Shukla, 1996; Souza, 1997). Este resultado se mostra concordante com os resultados simulados por Pezzi e Cavalcanti (2001), que encontraram em condições de El Niño sobre o Pacífico e dipolo positivo de ATSMs no AT, anomalias negativas de precipitação sobre o NEB. O dipolo positivo de ATSMs faz com que a ZCIT migre para o norte de sua posição climatológica, ocasionando a condição de seca sobre o NNEB.

Comparando o El Niño nas duas fases da ODP, fica evidente que seu efeito e intensidade durante a ODP(+) devem ser mais fortes do que na ODP(-), pois na primeira delas as águas do Pacífico leste já se encontram mais quentes que o normal e acabam contribuindo de forma construtiva para o desenvolvimento e intensificação da fase quente do ENOS.

No caso de excesso de precipitação na estação chuvosa no NNEB durante a ODP(+) (Figura 4.1b), observa-se um aquecimento em uma ampla área no Pacífico tropical. É interessante notar que neste caso as ATSMs positivas significativas no Pacífico estão em forma de “V” deitado, não sendo possível observar uma extensão meridional de ATSMs positivas no lado leste do Pacífico tropical, como foi notado no caso com ocorrência de seca. Anomalias negativas características da ODP(+), são observadas no Pacífico subtropical oeste em ambos os hemisférios. No entanto, há uma redução na similaridade com o padrão da ODP, devido a uma pequena área com fracas ATSMs negativas ao longo da costa oeste da América do Sul. No AT nota-se um padrão que se assemelha ao modo equatorial com anomalias positivas. Este aquecimento na região equatorial do Atlântico está relacionado a um enfraquecimento dos alísios na região equatorial causando um enfraquecimento da circulação nesta região e uma diminuição da inclinação da termoclina equatorial, alterando o padrão de ressurgência levando a um aquecimento das águas superficiais (Góes *et al.*, 2003). A presença de ATSMs positivas favorecem a formação de chuvas convectivas na região, afetando a distribuição da precipitação nas regiões adjacentes, neste caso o NNEB. De acordo com Zebiak (1993),

este modo pode se iniciar de forma rápida, em escalas de poucas semanas a meses, devido à excitação e propagação de ondas de Kelvin e Rossby equatorial, forçadas pelo vento.

Na fase oposta da ODP (Figura 4.1e), nota-se o confinamento das ATSMs positivas significativas no Pacífico equatorial central, entre 180°W e 120°W. Neste caso, no lado leste do Pacífico as ATSMs positivas (fracas) tem menor extensão meridional do que no caso da ODP(+) (Figura 4.1b). Novamente, no AT observam-se anomalias positivas significativas, que caracterizam o modo equatorial. Mais uma vez o fator dominante para a variabilidade de precipitação do NNEB está associado às ATSMs do AT.

Para condições normais de precipitação durante FMAM na ODP(+) (Figura 4.1c), o padrão de ATSMs no Pacífico tropical não difere muito dos outros casos, com fracas ATSMs positivas no Pacífico tropical leste. Assim, a normalidade da estação chuvosa não deve ter sido relacionada a este padrão. No entanto, notam-se ATSMs de mesmo sinal (positivas) por todo o AT, o que pode justificar uma estação chuvosa normal. Uma explicação para este comportamento é que a presença de ATSMs positivas no AT, em especial no ATS, neutralizam os efeitos do El Niño no NNEB. De acordo com Enfield e Mayer (1997) em anos de El Niños canônicos, ao contrário do que é visto neste caso, há uma tendência de ATSMs negativas se estabelecerem no ATS.

Em anos normais no NNEB durante a ODP(-) (Figura 4.1f), observam-se fracas ATSMs positivas no Pacífico equatorial central e uma área com ATSMs negativas ao longo da costa da América do Sul. No ATS, próxima à costa da África ocorrem ATSMs negativas significativas. No ATN, anomalias positivas fracas permanecem ao sul de 20°N, estendendo-se do norte da América do Sul até o continente Africano. As ATSMs tanto no Pacífico como no AT são fracas o que justifica o estabelecimento de uma estação chuvosa normal no NNEB.

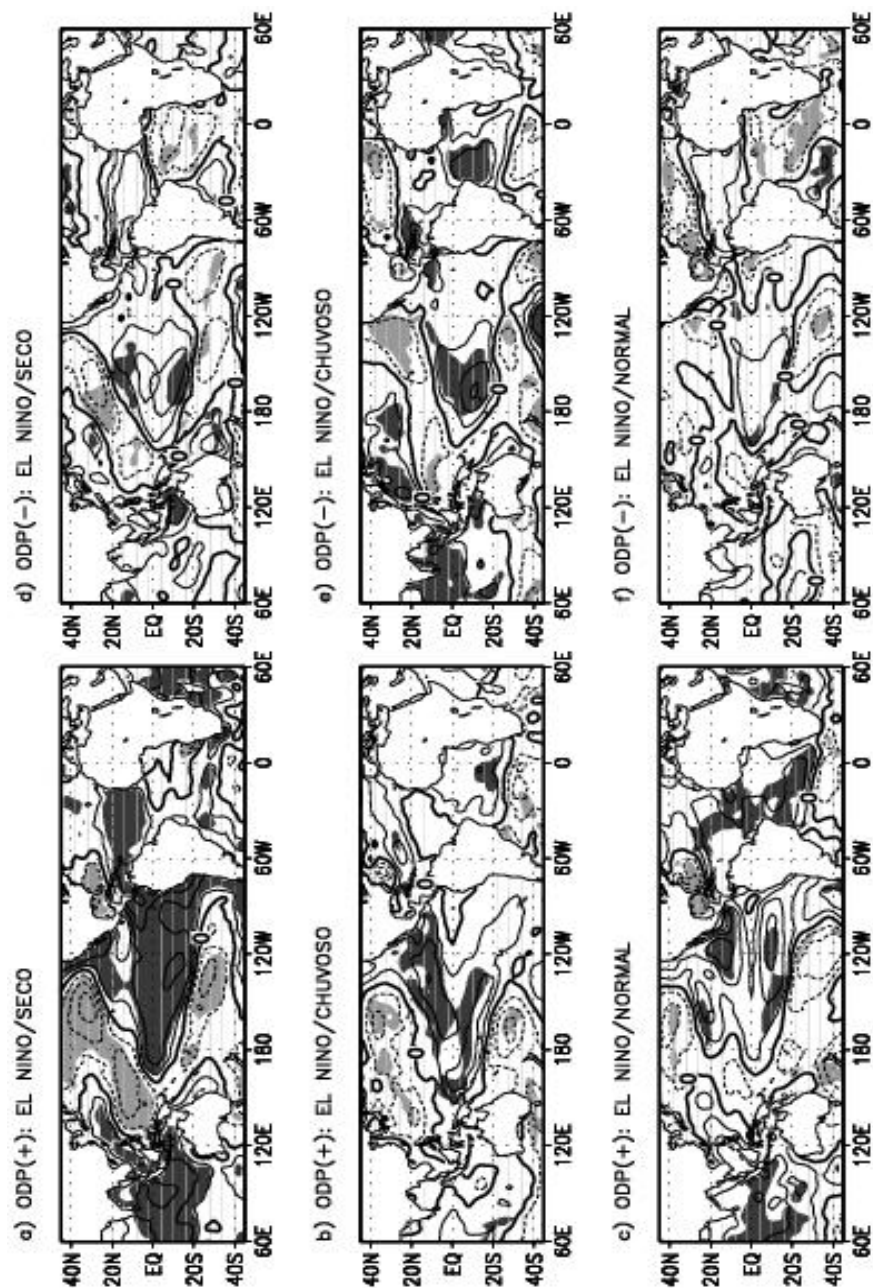


FIGURA 4.1 – Composições de ATSMs em anos de El Niño nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. O intervalo das isolinhas é de 0,5. Linhas contínuas (pontilhadas) indicam valores positivos (negativos) de ATSMs. A linha contínua mais espessa é o contorno de zero. Áreas hachuradas são significativas.

4.2 Padrões de ATSMs em anos de La Niña nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas.

Devido ao pequeno número de casos de La Niña com ocorrência de condições normais e de secas durante a ODP(+) (Tabela 4 1), o único caso apresentado para esta fase da ODP foi o de La Niña em anos chuvosos no NNEB (Figura 4.2a). Neste caso, observa-se um confinamento das águas anormalmente frias (ATSMs significativas) no Pacífico equatorial central. No ATN há a presença de uma pequena região com ATSMs negativas fracas e ao longo do equador, próximo à costa do Brasil, notam-se anomalias positivas fracas. Embora fraco, o padrão de ATSMs no ATN observado neste caso é similar ao esperado para La Niñas canônicas (Enfield e Mayer, 1997; Ambrizzi *et al.*, 2005). Portanto, a La Niña e a permanência dessas águas aquecidas na região equatorial do AT contribuem de forma construtiva para o aumento da convecção e conseqüentemente para o excesso de precipitação sobre o NNEB.

Ainda com condições chuvosas sobre o NNEB, mas durante a ODP(-), tem-se um caso canônico de La Niña (Enfield e Mayer, 1997) (Figura 4.2c), ou seja, há a permanência de ATSMs significativas de mesmo sinal no Pacífico e no ATN. Nota-se uma maior abrangência das anomalias negativas significativas ao longo da América do Sul e do equador do que no caso anterior. Isto pode ser devido a fase da ODP, pois durante a fase negativa as águas superficiais do Pacífico tropical estão mais frias que o normal. Assim, a ODP(-) acaba contribuindo de forma construtiva para a intensificação da La Niña. Uma outra característica da ODP(-), observada neste caso, é a presença de centros com ATSMs positivas significativas em ambos os hemisférios no Pacífico subtropical (Mantua *et al.*, 1997), aproximadamente entre 180°W e 120°W. Por outro lado, a permanência de ATSMs negativas no ATN gera um gradiente de ATSMs, para o sul, o que desloca a ZCIT para sul de sua posição climatológica e portanto, favorecendo a ocorrência de anomalias positivas de precipitação sobre o NNEB. Este resultado concorda com o obtido anteriormente por Pezzi e Cavalcanti (2001) através de

simulações. Eles mostram que em condições de La Niña sobre o Pacífico e de dipolo de TSM negativo no AT, anomalias positivas de precipitação ocorriam em todo o NEB.

Na Figura 4.2b tem-se o campo de ATSMs para anos de La Niña com ocorrência de seca sobre o NNEB na ODP(-). Anomalias negativas são observadas em quase todo Pacífico tropical com centros significativos no nordeste e no Pacífico subtropical sudeste. Assim, tal como no caso chuvoso (Figura 4.2c) observa-se uma extensão meridional de ATSMs negativas, embora fracas, no Pacífico tropical leste. No ATS há indícios de ATSMs negativas, que provavelmente desfavorecem o posicionamento da ZCIT no hemisfério sul, contribuindo para as condições de seca sobre o NNEB.

No caso de La Niña com a ocorrência de uma estação chuvosa normal sobre o NNEB na ODP(-) (Figura 4.2d), notam-se anomalias negativas no Pacífico entre 20°N e 20°S, sendo que a região mais extensa encontra-se entre o equador e 20°S. O ATN apresenta águas superficiais mais frias que o normal. No ATS também há a presença de uma pequena região com ATSMs negativas próxima à costa do Brasil, entre 20°S e 40°S. A permanência de anomalias de mesmo sinal nos dois hemisférios pode explicar a normalidade da estação chuvosa sobre o NNEB. Isto se justifica porque, com esta configuração de ATSMs não há formação de gradiente de temperatura, e conseqüentemente não há variação na posição climatológica da ZCIT.

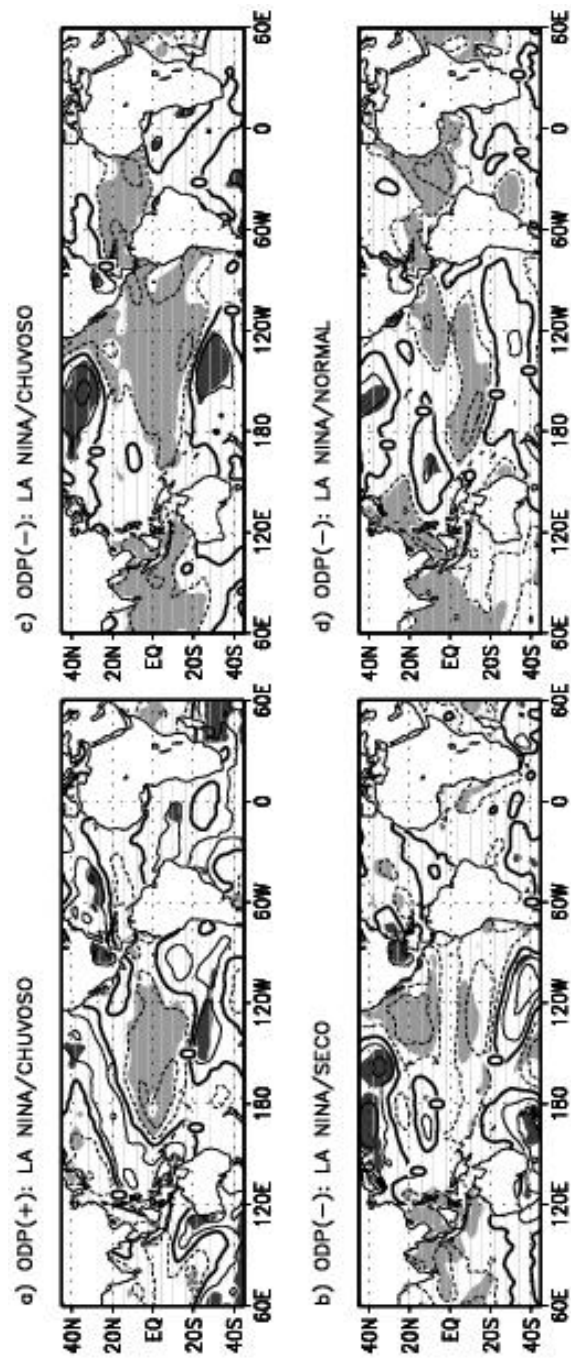


FIGURA 4.2 – Composições de ATSMs em anos de La Niña nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

4.3 Padrões de ATSMs em anos NEUTROS nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, normais e chuvosas.

Campos de ATSMs para anos NEUTROS durante a ODP(+) são apresentados no lado esquerdo da Figura 4.3, e na ODP(-) no lado direito. Para os casos com ocorrência de seca na ODP(+) (Figura 4.3a), como já era esperado, não ocorrem fortes anomalias no Pacífico tropical. No entanto, ATSMs positivas significativas são observadas em uma pequena região do Pacífico tropical leste relacionadas a ODP(+), que podem estar associadas com a condição de seca no NNEB. Por outro lado, anomalias negativas significativas são encontradas no ATS e no ATN há a presença e de uma pequena área aquecida (ATSMs positivas significativas). Isso caracteriza um gradiente para norte de ATSMs. Neste caso, o fator responsável por anomalias negativas de precipitação no NNEB foi o gradiente meridional de ATSMs, pois ele faz com que a ZCIT se desloque para norte de sua posição climatológica, desfavorecendo ou até mesmo impedindo a formação de chuvas convectivas na região do NNEB, ocasionando, conseqüentemente, a condição de seca.

Ainda com ocorrência de seca, mas na ODP(-) (Figura 4.3d) é notável a presença de uma vasta região anormalmente fria no ATS e uma maior extensão de anomalias positivas no ATN do que no caso anterior. Este padrão espacial de ATSMs gera um gradiente inter-hemisférico, posicionando a ZCIT mais ao norte de sua posição climatológica, causando a condição de seca sobre o NNEB. Observam-se também ATSMs positivas no Pacífico equatorial, embora não sejam significativas. Portanto, neste caso a variabilidade de TSM no Pacífico e no AT parece ter sido importante para definir a qualidade da estação chuvosa.

No ATN são encontradas fracas ATSMs negativas no caso de anos NEUTROS com ocorrência de uma estação chuvosa anormalmente positiva durante a ODP(+) (Figura 4.3b). Ao sul do equador e bem próximo à costa oeste da África notam-se ATSMs

positivas significativas. Este padrão de anomalias é similar ao modo equatorial cuja circulação anômala associada favorece o aumento da precipitação no NNEB.

A precipitação acima da média sobre o NNEB na ausência de extremos do ENOS durante a ODP(-) (Figura 4.3e) se deve às anomalias positivas entre o equador e 20°S, e negativas ao norte do equador que configuram o gradiente de ATSMs para sul no AT. No Pacífico tropical leste são observadas fracas anomalias negativas, que podem estar relacionadas à ODP(-).

As composições de ATSMs para anos NEUTROS com ocorrência de uma estação chuvosa normal durante a ODP(+) e ODP(-) são ilustradas nas Figuras 4.3c e 4.3f, respectivamente. Na primeira delas é notável a presença de fracas ATSMs positivas ao longo da costa norte e leste da América do Sul. Com este padrão, a ZCIT mantém-se em sua posição climatológica não afetando a qualidade da estação chuvosa do NNEB. Na fase oposta da ODP, as ATSMs no AT também são bem pequenas, explicando a normalidade da estação chuvosa.

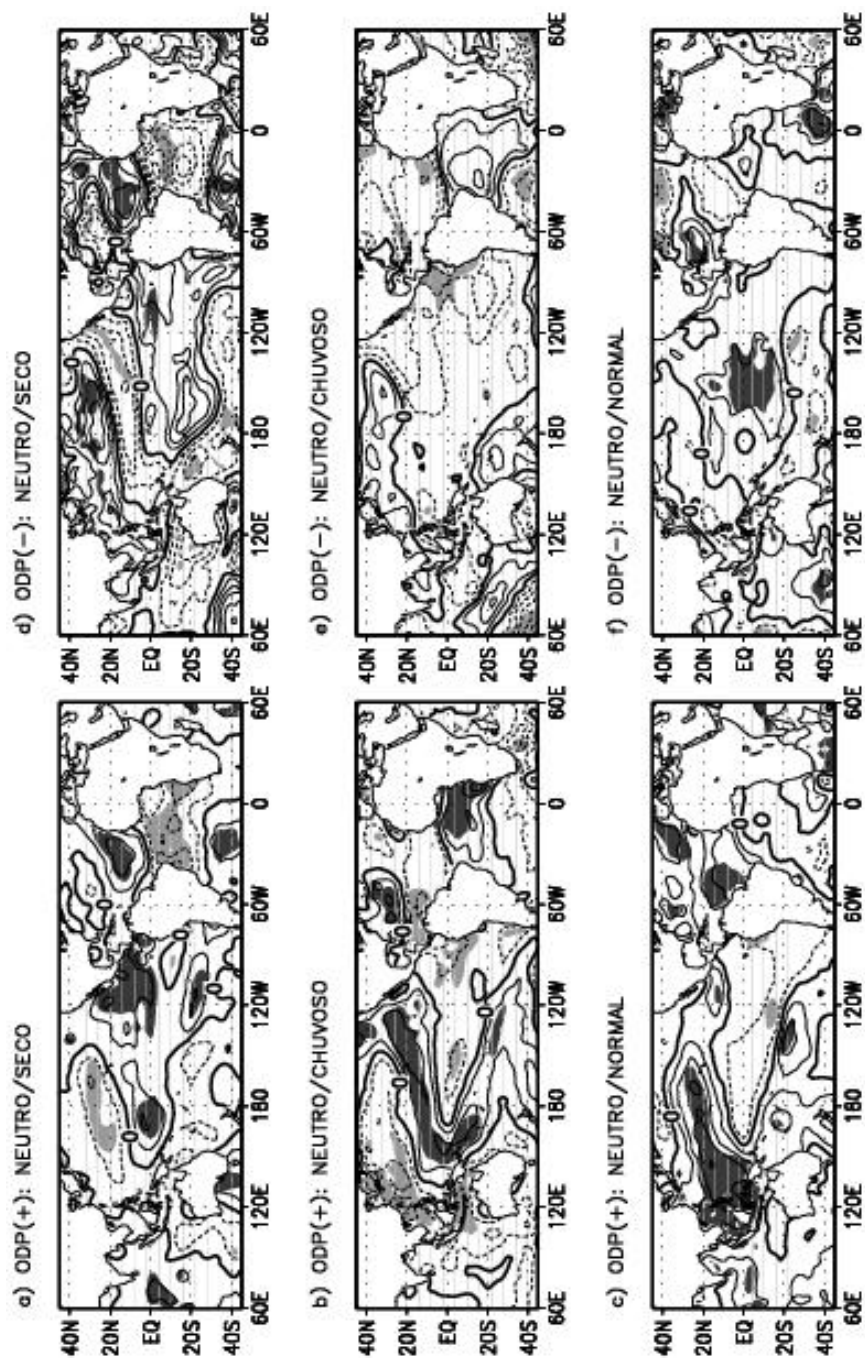


FIGURA 4.3 – Composições de ATSMs em anos NEUTROS nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas, chuvosas e normais durante FMAM. A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

4.4 Padrões de APNMs para alguns casos selecionados

A Figura 4.4 apresenta os campos de APNMs durante a estação chuvosa do NNEB, somente para alguns casos selecionados e que se mostraram concordantes com as ATSMs. Em geral, na fase quente do ENOS, a alta subtropical e a circulação associada aos ventos estão enfraquecidas no ATN e fortalecidas no ATS (Enfield e Mayer, 1997). Este fortalecimento (enfraquecimento) da alta subtropical do ATS (ATN) em anos de El Niño com ocorrência de seca sobre o NNEB durante a ODP(+) pode ser visto na Figura 4.4a. Também se observam nesta figura APNMs negativas significativas, por quase todo o Pacífico tropical e positivas sobre a Austrália e Indonésia. Este padrão de APNMs é uma característica marcante de anos de El Niño, e que está associado ao deslocamento anômalo para leste da circulação de Walker, fazendo com que sobre a Austrália/Indonésia e o AT se estabeleçam movimentos subsidentes e sobre o Pacífico tropical central, ascendentes.

Para anos NEUTROS coincidentes com condições de seca sobre o NNEB durante a ODP(+) (Figura 4.4b), há indícios de anomalias negativas significativas no Pacífico tropical leste, enquanto que no AT APNMs positivas significativas estão posicionadas bem próximas ao NEB, indicando a presença de movimentos subsidentes e inibição de chuvas convectivas que levam à anomalias negativas de precipitação sobre a região.

Na Figura 4.4c, tem-se a composição de APNMs para o caso de La Niña com anos chuvosos no NNEB durante a ODP(-). APNMs negativas significativas são notadas na região da Austrália e anomalias positivas significativas são observadas sobre o Pacífico leste equatorial e sul, se estendendo pelo noroeste da América do Sul, América Central e ATN oeste. Uma extensa área com APNMs negativas significativas é visualizada no AT equatorial, ATS e sobre a África. Este sistema anômalo de pressão relativamente baixa está associado aos movimentos ascendentes que favorecem o aumento da convecção e, conseqüentemente, da precipitação no NNEB.

Uma vasta área com APNMs negativas sobre o AT equatorial e ATS é observada durante a ODP(-) em anos NEUTROS com ocorrência de condições chuvosas sobre o NNEB (Figura 4.4d). Estas APNMs mais baixas que o normal sobre o leste e nordeste do Brasil explicam o excesso de precipitação no NNEB. No Pacífico leste, anomalias positivas, relativamente fracas, são visualizadas entre o equador e 50°S, que podem estar relacionadas com as ATSMs negativas apresentadas na Figura 4.3e.

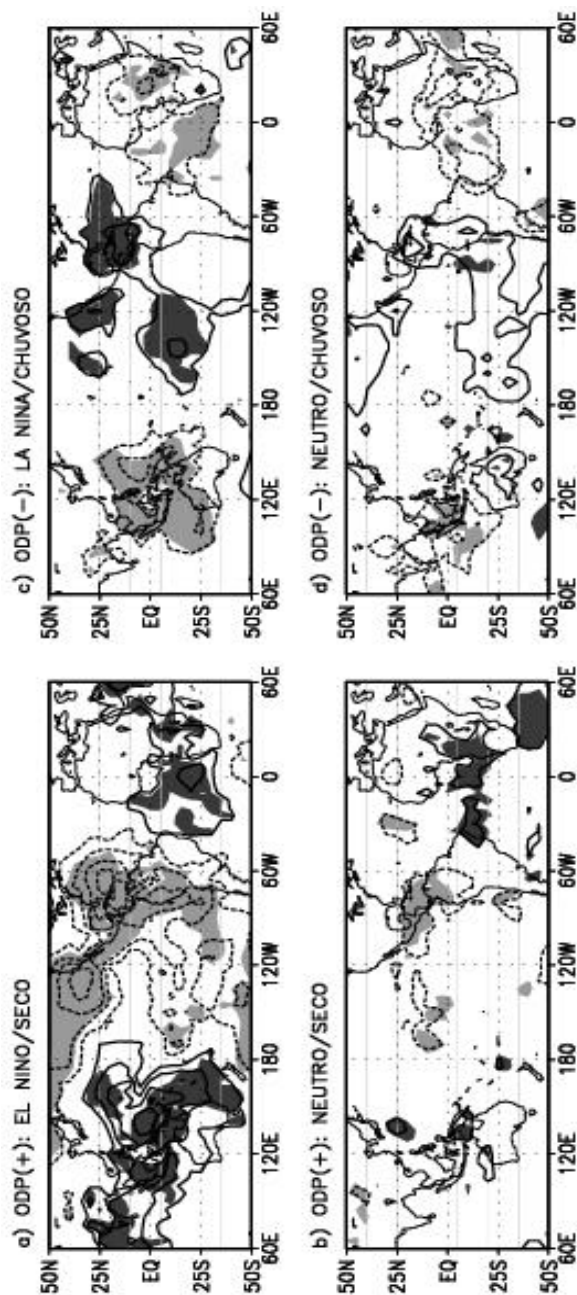


FIGURA 4.4 – Composições de APNMs em anos de El Niño e NEUTROS com ocorrência de seca na ODP(+), e em anos de La Niña e NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva na ODP(-). Linhas contínuas (pontilhadas) e indicam valores positivos (negativos) de APNMs. O intervalo das isolinhas é de 0,3. Áreas hachuradas são significativas.

4.5 Evolução de ATSMs e de APNMs para os casos selecionados

A evolução espaço/temporal de ATSMs para anos de El Niño, La Niña e NEUTROS nas duas fases da ODP com ocorrência de condições secas e chuvosas no NNEB durante FMAM e a evolução de APNMs para alguns casos selecionados serão analisadas a seguir. A partir da Figura 4.5 os símbolos (0) e (+1) que seguem os meses denotam o ano em que se iniciou a fase do ENOS, e o ano seguinte, respectivamente.

4.5.1 Anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB

ODP(+)

Durante a ODP(+), nos casos de El Niño com ocorrência de seca sobre o NNEB (Figura 4.5), ATSMs positivas significativas no Pacífico tropical central norte são observadas desde Fevereiro (0)/Março (0) (Figura 4.5a). Estas anomalias se fortalecem gradualmente e simultaneamente se expandem para leste de forma que em Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.5e), o El Niño se encontra bem configurado. Neste bimestre anomalias máximas de +1,5 desvios padrão encontram-se no Pacífico equatorial leste. Em Fevereiro (+1)/Março (+1), as ATSMs positivas significativas começam a se enfraquecer (Figura 4.5g). Assim como em Giannini *et al.* (2004), nota-se a ausência de ATSMs significantes no AT, especialmente no ATS, durante o início e desenvolvimento do El Niño. Nos bimestres iniciais existem indícios de ATSMs positivas no ATN que persistem e se fortalecem nos dois últimos bimestres. Este aquecimento pode ter sido remotamente influenciado pelo ENOS. Esta conexão ocorre através de circulações anômalas de Walker e de Hadley. A circulação de Walker anômala caracteriza-se por movimentos ascendentes anômalos no Pacífico equatorial leste, divergência na troposfera superior e no setor leste movimentos descendentes anômalos sobre o Atlântico equatorial.

Associada a este comportamento, a circulação anômala de Hadley configura-se com movimentos ascendentes anômalos na região da alta subtropical no ATN, e movimentos descendentes anômalos no Atlântico equatorial (Wang, 2002c). Além disso, há uma redução da PNM no ATN associada a ventos alísios de nordeste mais fracos, que diminuem a evaporação e conduzem a ATSMs positivas sobre o ATN durante a primavera seguinte ao ano de início do El Niño (Wang, 2002c). O aquecimento no ATN gera um gradiente de ATSMs para norte que induz um gradiente de APNMs para sul causando a migração da ZCIT para norte da sua posição climatológica (Carton *et al.*, 1996). Nesta configuração, o ramo descendente da célula de Walker intensifica-se, causando forte subsidência no NEB, inibindo a formação de nuvens e reduzindo a precipitação. Estudos anteriores (Enfield e Mayer, 1997; Saravanan e Chang, 2000) mostram que a correlação entre o ENOS e o ATN é mais forte na escala interanual e ao longo de 10°N-20°N e que, normalmente, o aquecimento nesta região ocorre 4-5 meses após a fase madura do El Niño, ou seja, durante a primavera boreal, que corresponde à estação chuvosa do NNEB. De fato, observam-se ATSMs positivas mais fortes no ATN nos dois últimos bimestres (Figuras 4.5g e 4.5h). Um outro aspecto interessante é a presença de ATSMs negativas no Pacífico subtropical norte e sul e de ATSMs positivas ao longo da costa oeste das Américas, que são características marcantes da ODP(+) (Mantua *et al.* 1997) e contribuem de forma construtiva para a intensificação do El Niño.

O campo evolutivo de APNMs correspondente ao caso apresentado anteriormente encontra-se ilustrado na Figura 4.6. No terceiro bimestre do período analisado (Figura 4.6c) já se observa uma extensa área de anomalias negativas significativas sobre Pacífico tropical leste. No AT e na parte oeste da América do Sul há a presença de APNMs positivas significativas, que alcançam o sul do continente africano e se estendem sobre a Austrália. Em Dezembro (0)/Janeiro (+1) (Figura 4.6f), o padrão de anomalias negativas no Pacífico tropical leste e positivas no AT, África e sobre a região da Austrália, característico de anos de El Niño, encontra-se bem configurado (com valores significativos) e persiste nos bimestres seguintes. Entretanto, em Abril (+1)/Maio (+1) (Figura 4.6h) este padrão se mostra consideravelmente enfraquecido. É

interessante notar que as APNMs negativas significativas no ATN só se estabelecem em Fevereiro (+1)/Março (+1) (Figura 4.6g), justamente na época em que as ATSMs positivas significativas são mais fortes neste setor.

ODP(-)

Na evolução espaço/temporal das ATSMs, durante a ODP(-) no caso de El Niño com precipitação abaixo do normal sobre o NNEB (Figura 4.7) nota-se um aquecimento próximo à costa oeste da América do Sul em Fevereiro (0)/Março (0) (Figura 4.7a), que se fortalece e se expande para o Pacífico tropical oeste ao longo do ano. Em Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.7e), quase não há ATSMs positivas de magnitudes significantes ao longo da costa oeste da América do Sul, mas há no Pacífico equatorial central. No AT surgem anomalias positivas no lado leste e fracas ATSMs negativas no ATS. No mapa seguinte (Figura 4.7f) o El Niño apresenta-se bem configurado, com anomalias máximas de +1,5 desvios padrão centradas na faixa equatorial entre 180°W e 12°W, e as anomalias negativas no ATS se mostram mais intensas. Nos bimestres Outubro (0)/Novembro (0) e Dezembro (0)/Janeiro (+1) (Figuras 4.7e e 4.7f) as ATSMs positivas do Pacífico tropical leste encontram-se confinadas nas latitudes equatoriais. Isso pode ser devido ao fato de o ENOS e a ODP estarem em fases opostas, ou seja, El Niño na ODP(-). A partir de Fevereiro (+1)/Março (+1) (Figura 4.7g), as ATSMs positivas do Pacífico equatorial central já se mostram reduzidas, mas o padrão de anomalias positivas no ATN e negativas no ATS, semelhante a um dipolo, se mantém. Este padrão de ATSM no AT, através da formação de um gradiente meridional de ATSMs e da circulação atmosférica associada ocasiona anomalias negativas de precipitação no NNEB.

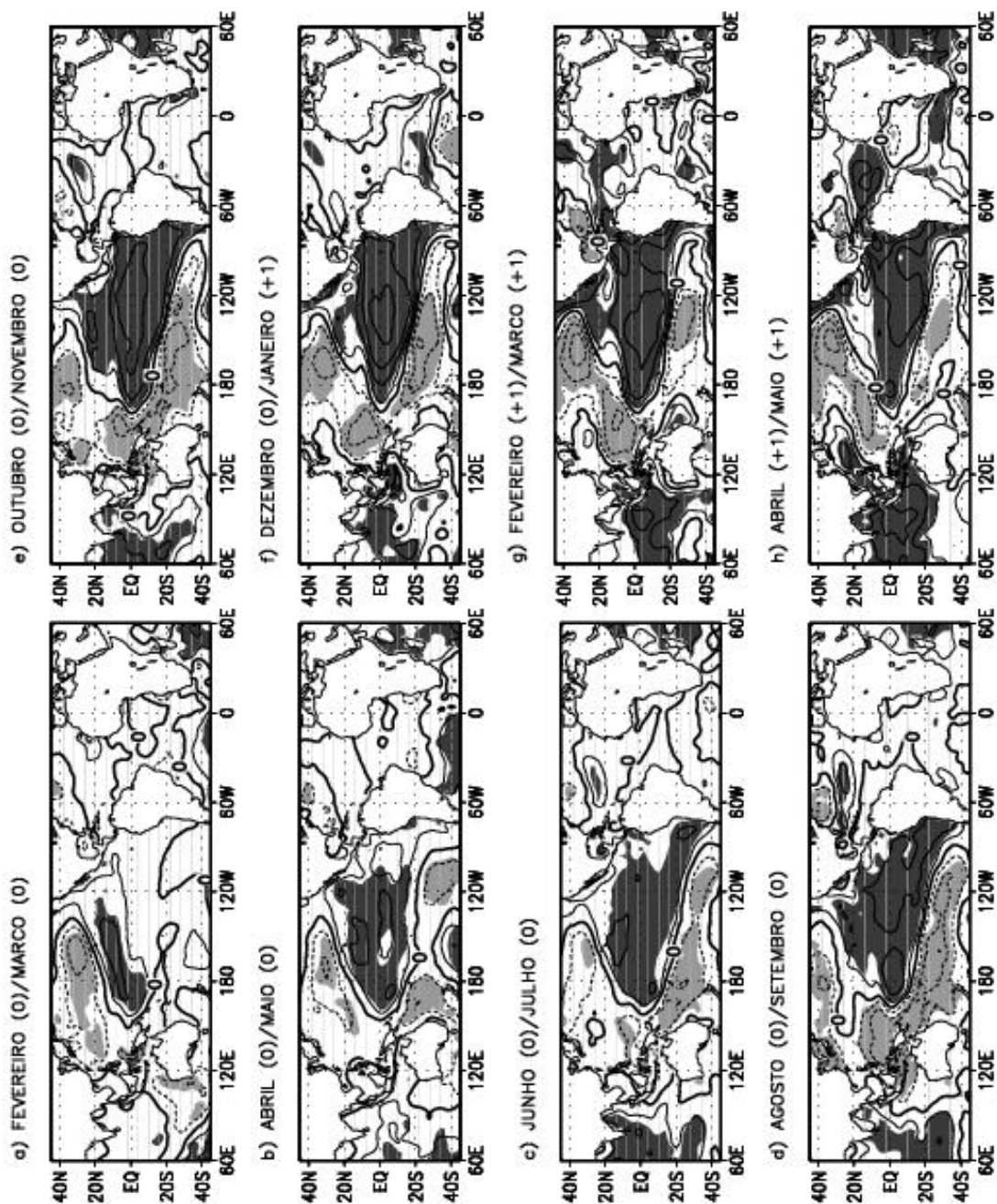


FIGURA 4.5 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de seca m NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

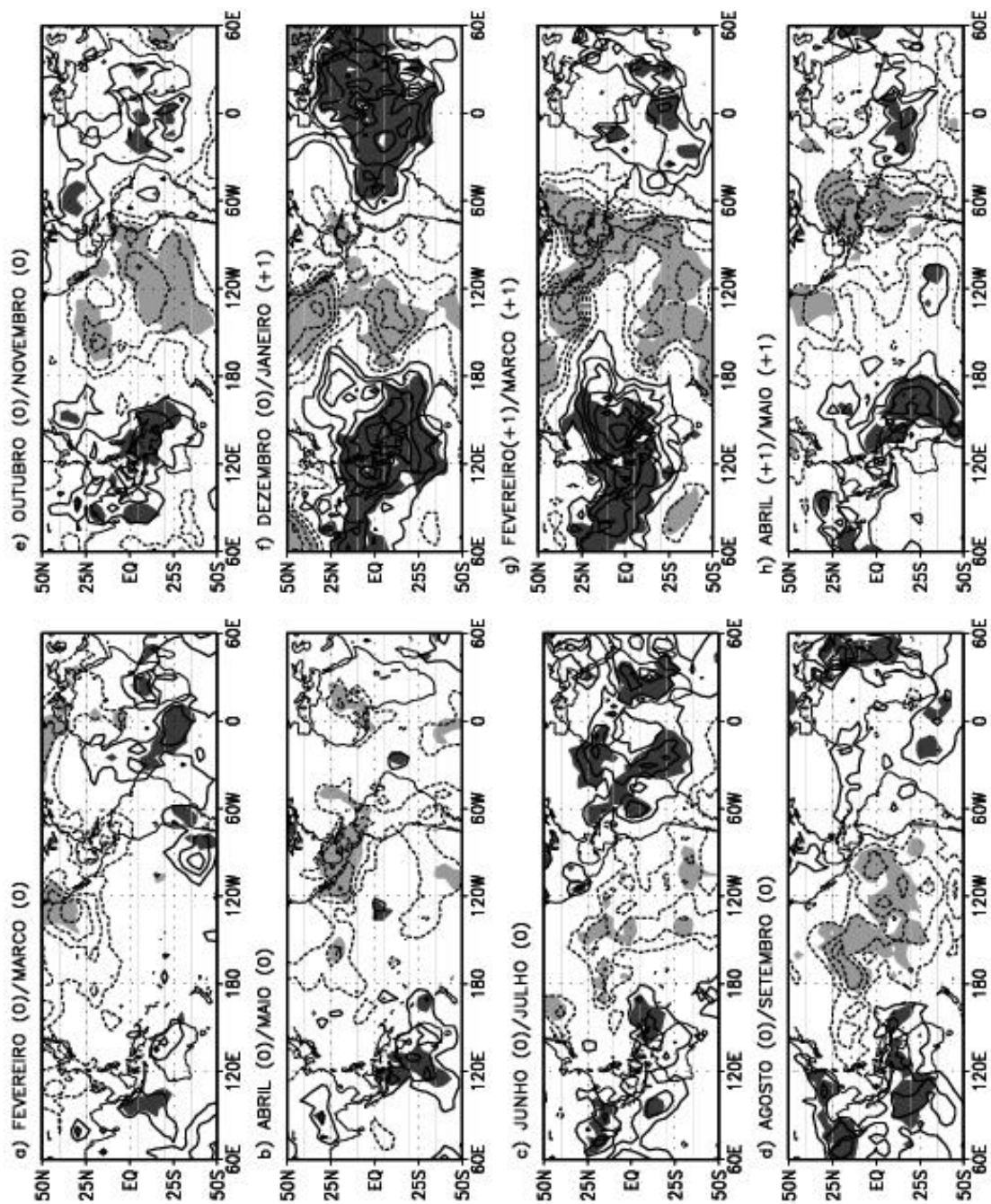


FIGURA 4.6 – Evolução de APNMs em anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4.

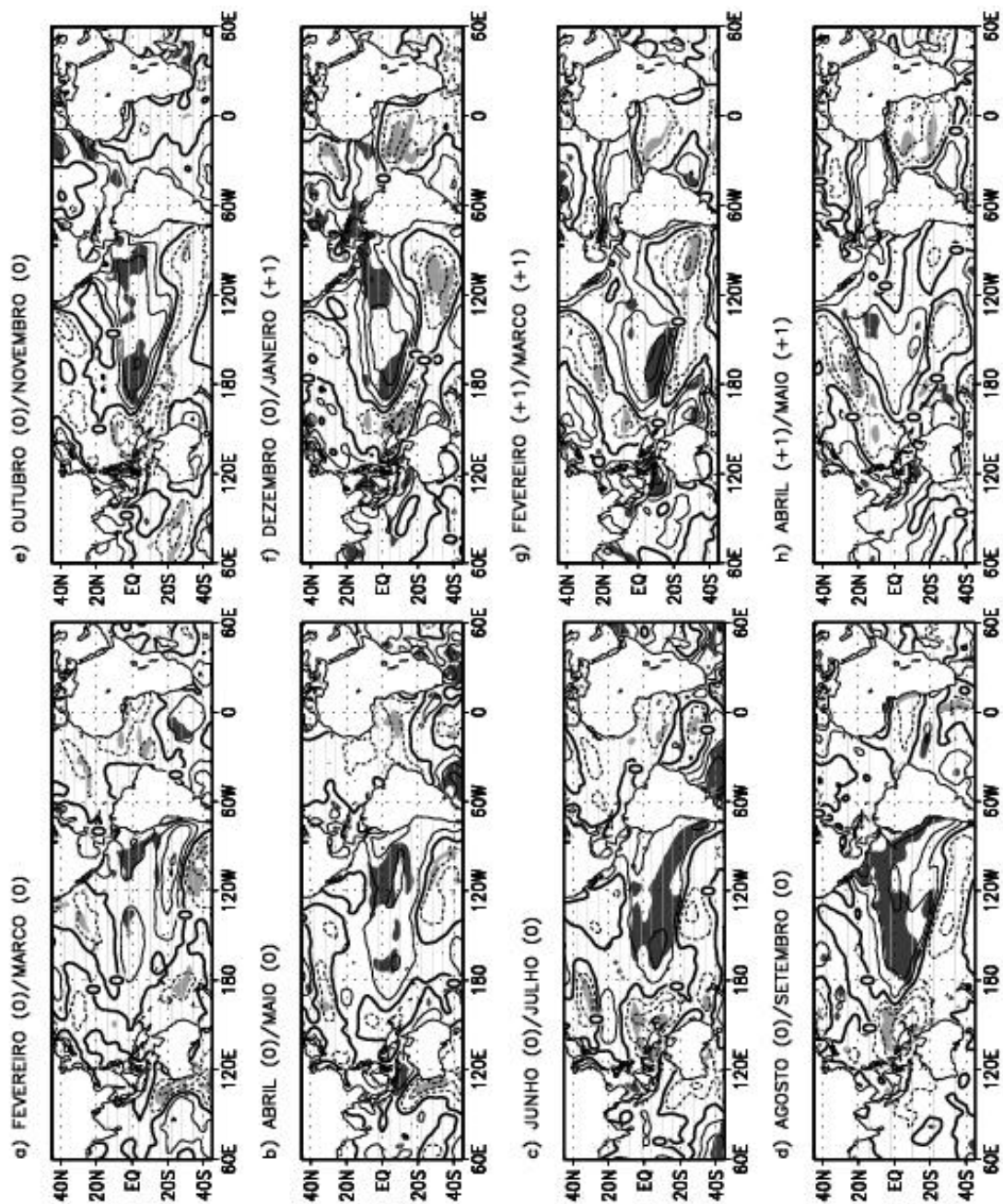


FIGURA 4.7 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

4.5.2 Anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB

ODP(+)

A Figura 4.8 ilustra o caso de El Niño, durante a ODP(+) com ocorrência de excesso de chuva no NNEB. ATSMs positivas estão presentes no Pacífico tropical leste, e no restante da Bacia do Pacífico predominam ATSMs negativas desde Fevereiro (0)/Março (0) (Figura 4.8a), que persistem ao longo do ano. Em Agosto (0)/Setembro (0) (Figura 4.8d) ATSMs positivas significativas de 1 desvio padrão encontram-se no Pacífico equatorial central. Estas ATSMs positivas expandem-se para leste tal que em Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.8e) o El Niño encontra-se bem configurado. As ATSMs positivas no Pacífico tropical leste apresentam uma ampla extensão meridional que é também uma característica da ODP(+).

A partir de Fevereiro (+1)/Março (+1) (Figura 4.8g) os valores significativos das anomalias positivas assumem o formato de um “V” deitado, persistindo até o fim da estação chuvosa, quando aparece uma pequena área de ATSMs negativas ao longo da costa do Peru e Equador. Estas anomalias positivas no Pacífico tropical leste são circundadas a oeste, norte e sul por ATSMs negativas, que são características da ODP(+). Este padrão persiste até Fevereiro (+1)/Março (+1) (Figura 4.8g). Desde o primeiro bimestre é notável a presença de ATSMs negativas no ATN e positivas no lado leste do ATS; no entanto as anomalias negativas se mostram enfraquecidas e as positivas fortalecidas na segunda metade da sequência analisada, de tal forma que o modo equatorial positivo se mostra configurado em Outubro (0)/Novembro (0), persistindo até Abril (+1)/ Maio (+1) (Figura 4.8h). Mais uma vez o excesso de precipitação do NNEB durante sua estação chuvosa é explicado pela presença do modo equatorial positivo. Neste caso, o ENOS não forçou ATSMs de mesmo sinal no ATN como no caso ilustrado na Figura 4.5. De acordo com Giannini *et al.* (2004) a presença de ATSMs no AT durante as estações anteriores à fase madura do ENOS, que são observadas na presente análise, induz um gradiente meridional de sinal oposto ao

esperado. Deste modo, a resposta coerente do vento em superfície e TSM para este gradiente impede o desenvolvimento completo da teleconexão entre ENOS e ATN, e o efeito na precipitação do NEB é mais imprevisível e potencialmente mais fraco devido a oposição das forçantes local e remota.

ODP(-)

Durante a ODP(-) desenvolvem-se ATSMs positivas significativas no Pacífico equatorial leste a partir de Junho (0)/Julho (0) (Figura 4.9c). Nesta mesma época surge uma pequena área aquecida no Atlântico equatorial leste. As ATSMs positivas no Pacífico equatorial leste se fortalecem e o El Niño se estabelece em Outubro (0)/Novembro (0) com máximas ATSMs positivas de 1,5 desvios padrão confinados entre 20°N e 20°S (Figura 4.9e). Este confinamento latitudinal de ATSMs positivas está relacionado com a ODP(-), pois neste caso o ENOS e a ODP estão fora de fase, de forma que a sobreposição destes dois modos de variabilidade resultam em padrões anômalos menos amplos e menos intensos. Neste mesmo bimestre, no ATS, a área com águas superficiais mais quentes que o normal ocupam uma área mais extensa. Estas anomalias se fortalecem e se propagam até a costa do Brasil, dando origem ao modo equatorial de ATSMs. Em Fevereiro (+1)/ Março (+1) (Figura 4.9g) as ATSMs positivas do Pacífico (próximas à costa oeste da América do Sul) se desintensificam, restando uma pequena área aquecida no Pacífico equatorial central (Figura 4.9h). Neste caso, apesar da presença de ATSMs positivas no oeste do ATN durante FMAM, a qualidade da estação chuvosa do NNEB foi definida pela persistência de ATSMs positivas significativas no Atlântico equatorial e no ATS. A presença do modo equatorial no AT favorece as chuvas convectivas.

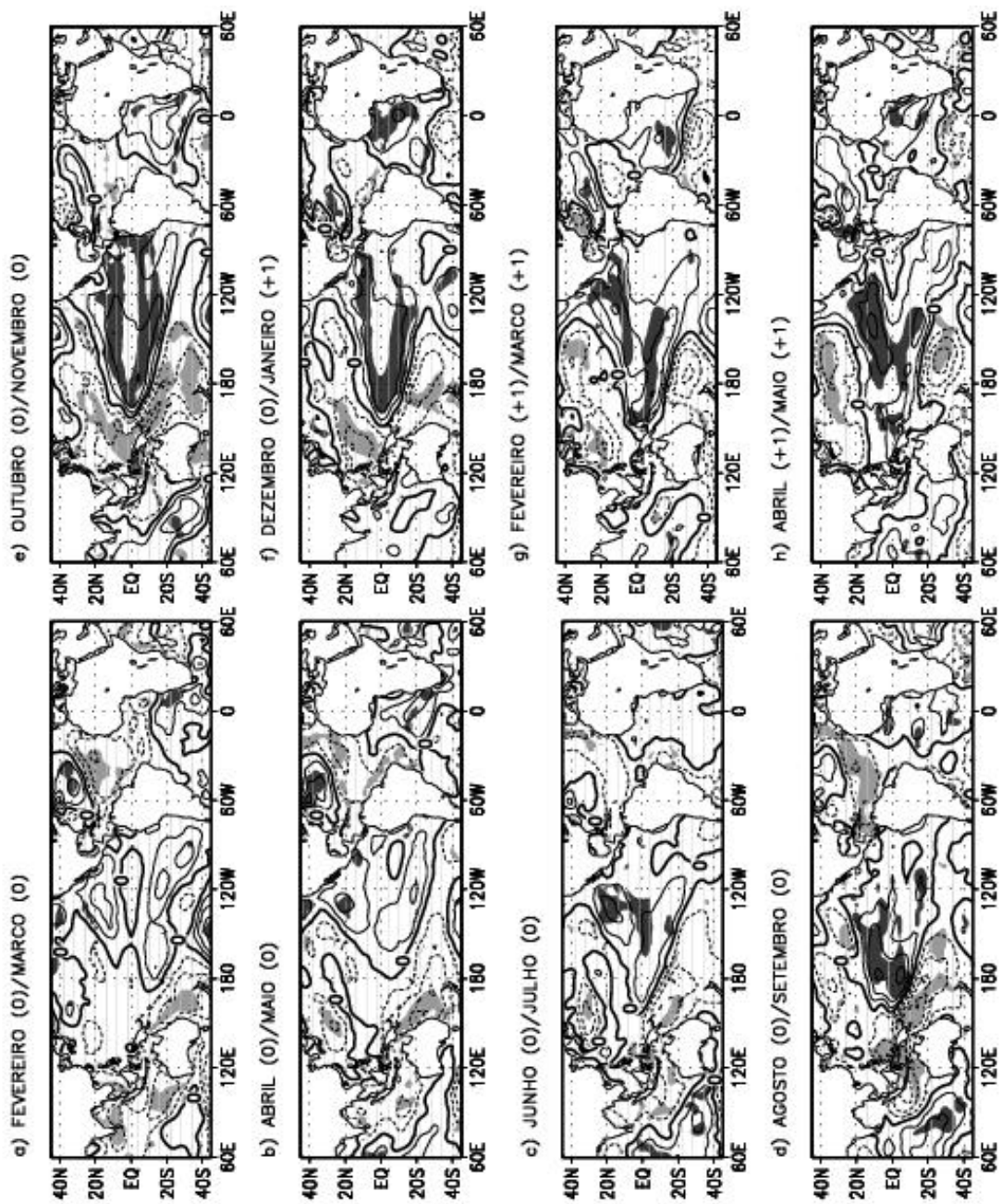


FIGURA 4.8 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

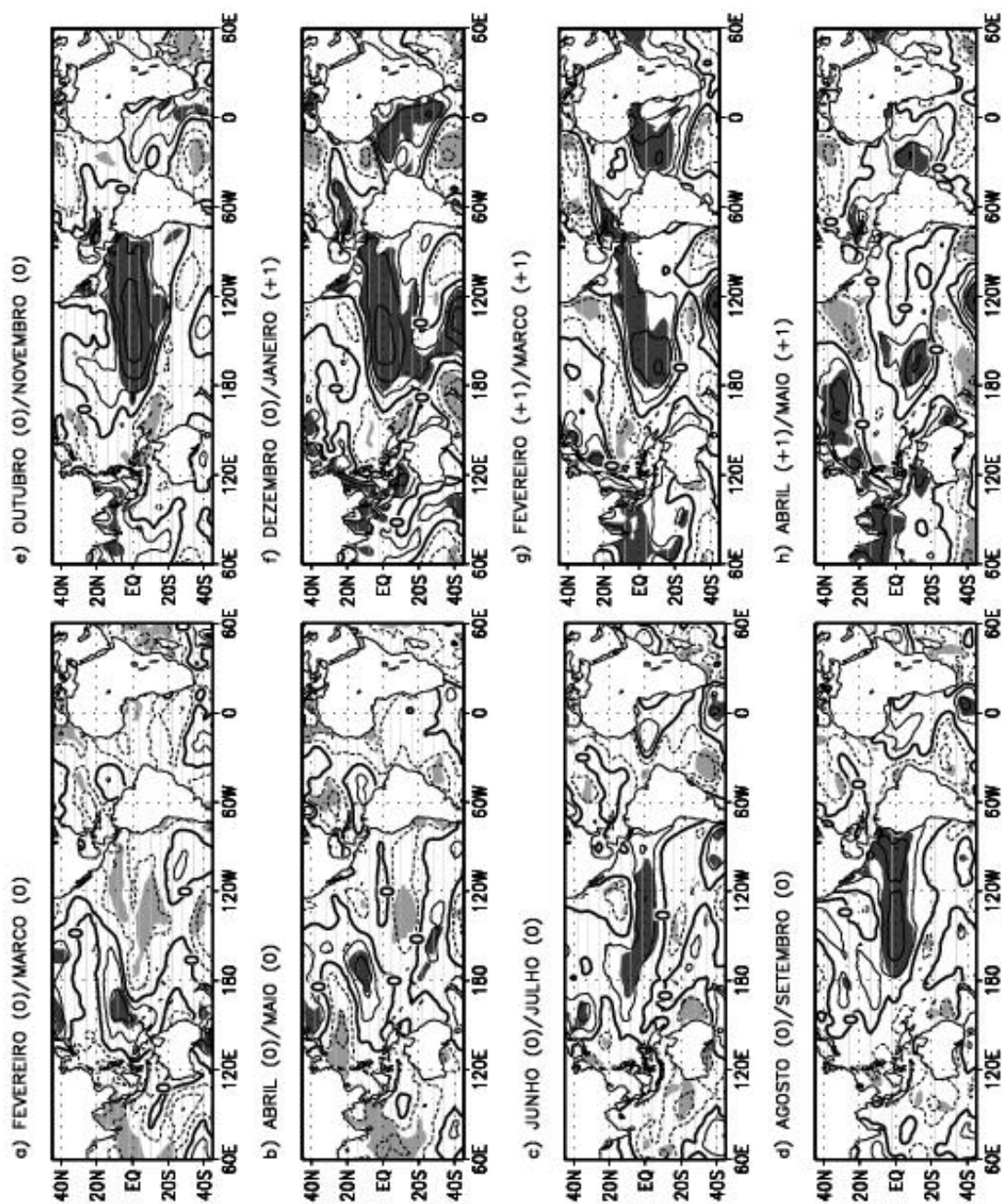


FIGURA 4.9 – Evolução de ATSMs em anos de El Niño com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

4.5.3 Anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB

ODP(+)

A evolução das ATSMs em anos de La Niña com coincidência de precipitação acima do normal no NNEB durante a ODP(+) encontra-se ilustrada na Figura 4.10. Em Fevereiro (0)/Março (0) (Figura 4.10a) observa-se uma pequena região com águas superficiais mais frias que o normal no Pacífico equatorial central circundadas a oeste, sul e norte por ATSMs positivas. Nos três bimestres seguintes ATSMs negativas fracas permanecem no Pacífico central e leste (Figuras 4.10b, 4.10c e 4.10d). Estas ATSMs negativas se intensificam levando ao estabelecimento da La Niña em Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.10e), quando ATSMs negativas significativas estabelecem no Pacífico equatorial central. No mapa seguinte (Figura 4.10f), observam-se as máximas ATSMs negativas significativas ($-1,5$ desvios padrão) confinadas na região equatorial do Pacífico, entre 180°W e 120°W . Este confinamento latitudinal das ATSMs negativas pode estar relacionado com a fase da ODP que por ser positiva atua para estabelecer ATSMs de sinal contrário ao da La Niña. Embora fracas, ATSMs positivas persistem no Atlântico equatorial e no ATS durante todos os bimestres. No início da estação chuvosa (Figura 4.10g) visualizam-se fracas ATSMs negativas no ATN e positivas no ATS estabelecendo um gradiente de ATSMs para sul. Portanto, a ocorrência da La Niña e as ATSMs no AT parecem explicar o excesso de precipitação sobre o NNEB.

ODP(-)

Durante a fase oposta da ODP (Figura 4.11), observa-se um padrão evolutivo diferente daquele apresentado anteriormente. As ATSMs negativas significativas surgem no Pacífico tropical leste, bem próximas à costa da América do Sul, somente em Junho (0)/Julho (0) (Figura 4.11c), que se intensificam rapidamente e ocupam uma vasta região do Pacífico tropical inclusive ao longo da costa oeste das Américas,

características da ODP(-). Em Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.11e) a La Niña já está bem estabelecida e ATSMs negativas aparecem no ATN, que se intensificam durante o restante do período. Pelo fato do ATN estar mais frio que o normal, estabelece-se um gradiente de ATSM para o sul, o que contribui para a posição da ZCIT ao sul de sua posição normal, e ocasionando anomalias positivas de precipitação sobre o NNEB. Analisando as duas figuras anteriores fica evidente que as La Niñas que ocorrem durante a ODP(-) são mais intensas e têm maior extensão meridional no Pacífico tropical leste do que as que ocorrem na ODP(+), pois nesta última as águas do Pacífico já estão aquecidas e acabam desintensificando a La Niña.

A Figura 4.12 ilustra o campo evolutivo de APNMs correspondente ao caso anterior. Em todo o período analisado é possível notar a presença de anomalias negativas significativas no AT. Nos meses de Junho (0)/Julho (0) (Figura 4.12c), exatamente na mesma época em que surgem ATSMs negativas significativas no Pacífico tropical leste, nota-se uma vasta região com APNMs positivas significativas sobre esta região e negativas sobre a Austrália e Indonésia. Este padrão se intensifica e se mantém até o fim da estação chuvosa, porém com menor intensidade no último bimestre (Figura 4.12h). As anomalias negativas sobre a Austrália e Indonésia e sobre o AT e o NEB estão relacionadas com os ramos ascendentes anômalos da circulação de Walker enquanto que as APNMs positivas no Pacífico tropical evidenciam a presença do ramo subsidente anômalo. Esta configuração é uma característica marcante de anos de La Niña, e explica o excesso de precipitação sobre o NNEB.

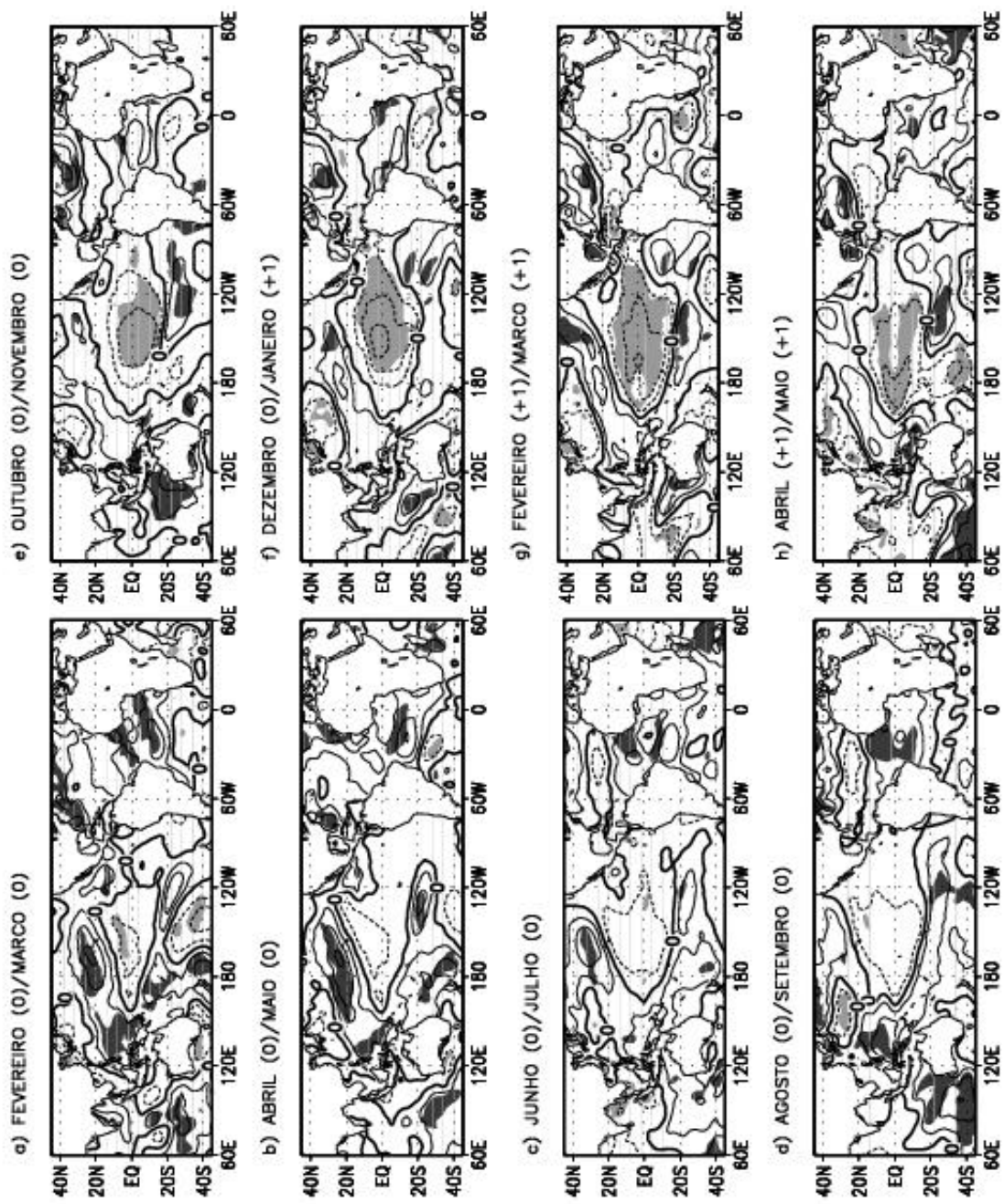


FIGURA 4.10 – Evolução de ATSMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

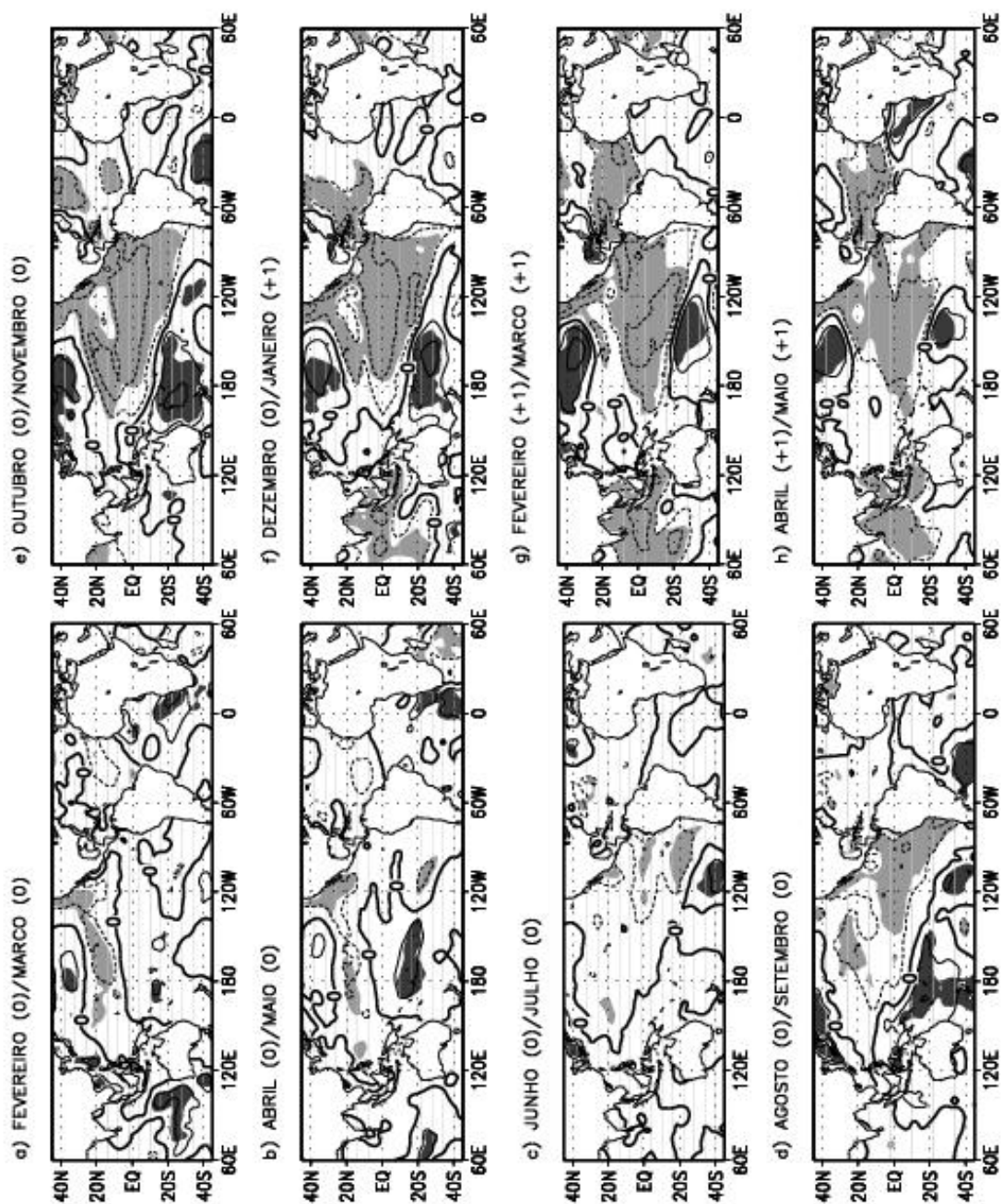


FIGURA 4.11 – Evolução de ATSMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

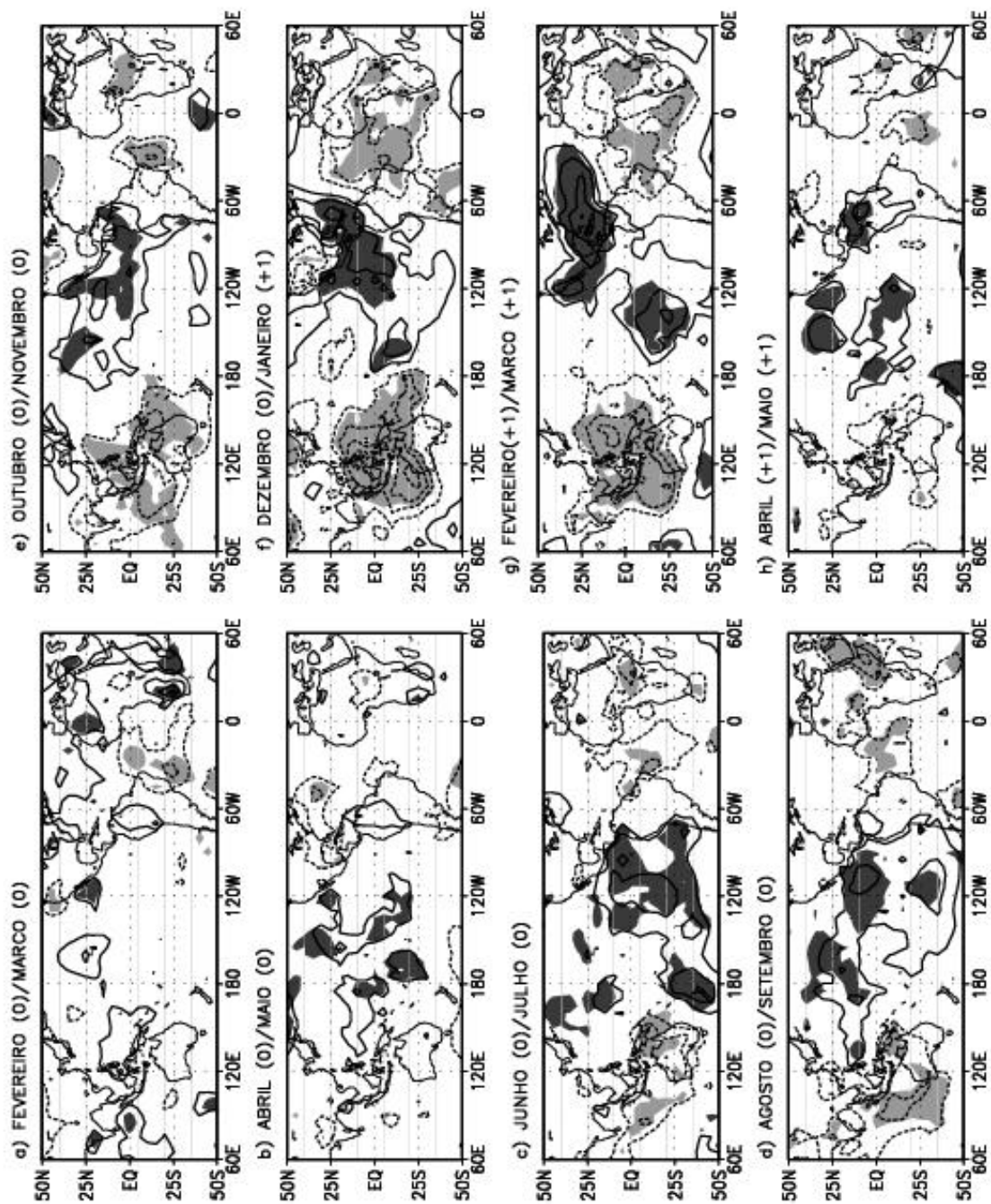


FIGURA 4.12 – Evolução de APNMs em anos de La Niña com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4.

4.5.4 Anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB

ODP(+)

Para anos NEUTROS em relação ao ENOS, durante a ODP(+), com ocorrência de secas no NNEB, como esperado, em geral não se observam anomalias significativas no Pacífico. Porém há indícios da presença de ATSMs positivas fracas no Pacífico tropical leste no decorrer do ano que se configuram com um padrão similar ao da ODP(+) em Abril (+1)/Maio (+1) (Figura 4.13h). Este padrão, através da circulação atmosférica associada, pode ter contribuído direta ou indiretamente para a seca no NNEB. Um outro fator que deve ter contribuído para a seca no NNEB é a variabilidade de TSM do AT. Anomalias negativas significativas surgem no ATS a partir de Outubro (0)/Novembro (0) (Figura 4.13e). Elas intensificam e alcançam a costa do Brasil ao longo do equador (Figura 4.13f). Durante a estação chuvosa do NNEB (Figuras 4.13g e 4.13h) notam-se anomalias significativas negativas ao sul do equador e positivas ao norte. Este padrão de ATSMs gera um gradiente meridional dirigido de sul para norte, deslocando a ZCIT para norte de sua posição climatológica, favorecendo a ocorrência de condições secas no NNEB durante FMAM.

Para este caso foi possível investigar a evolução das condições atmosféricas, que se encontra ilustrada na Figura 4.14. Desde Fevereiro (0)/Março (0) (Figura 4.14a), APNMs negativas significativas persistem em algumas áreas do Pacífico tropical. Isso é consistente com a presença de fracas ATSMs positivas neste setor do Pacífico, típicas da ODP(+). Após um ano (Figura 4.14g) se estabelece uma região com anomalias positivas significativas sobre o AT e parte do NEB. Esta configuração está relacionada com a presença de ATSMs negativas ao longo do equador, que se estabeleceram na mesma época, e também justifica o posicionamento da ZCIT ao norte de sua posição climatológica.

ODP(-)

Durante a ODP(-) (Figura 4.15) observam-se ATSMs fracas no Pacífico e no AT. Neste caso não se nota o estabelecimento do padrão de ATSMs típico da ODP(-). ATSMs negativas no ATS observadas desde o primeiro bimestre, se intensificam e se aproximam do equador no decorrer do ano. Anomalias positivas se estabelecem no ATN em Dezembro (0)/Janeiro (+1) (Figura 4.15f), e se tornam acentuadas no bimestre seguinte (Figura 4.15g). Com este padrão de ATSMs com sinais opostos nos dois hemisférios, um gradiente meridional de ATSMs para norte é estabelecido, afetando a intensidade e localização da ZCIT, que deve se manter ao norte de sua posição climatológica. Isso justifica a ocorrência de seca no NNEB para este caso. Apesar de o caso NEUTRO e a fase da ODP ser negativa, anomalias positivas relativamente organizadas, mas não significativas são observadas no Pacífico leste entre o equador e 20°S nos dois últimos bimestres (Figuras 4.15g e 4.15h). Este padrão de ATSMs no Pacífico leste, através da circulação atmosférica associada, pode também ter contribuído direta ou indiretamente para a seca no NNEB.

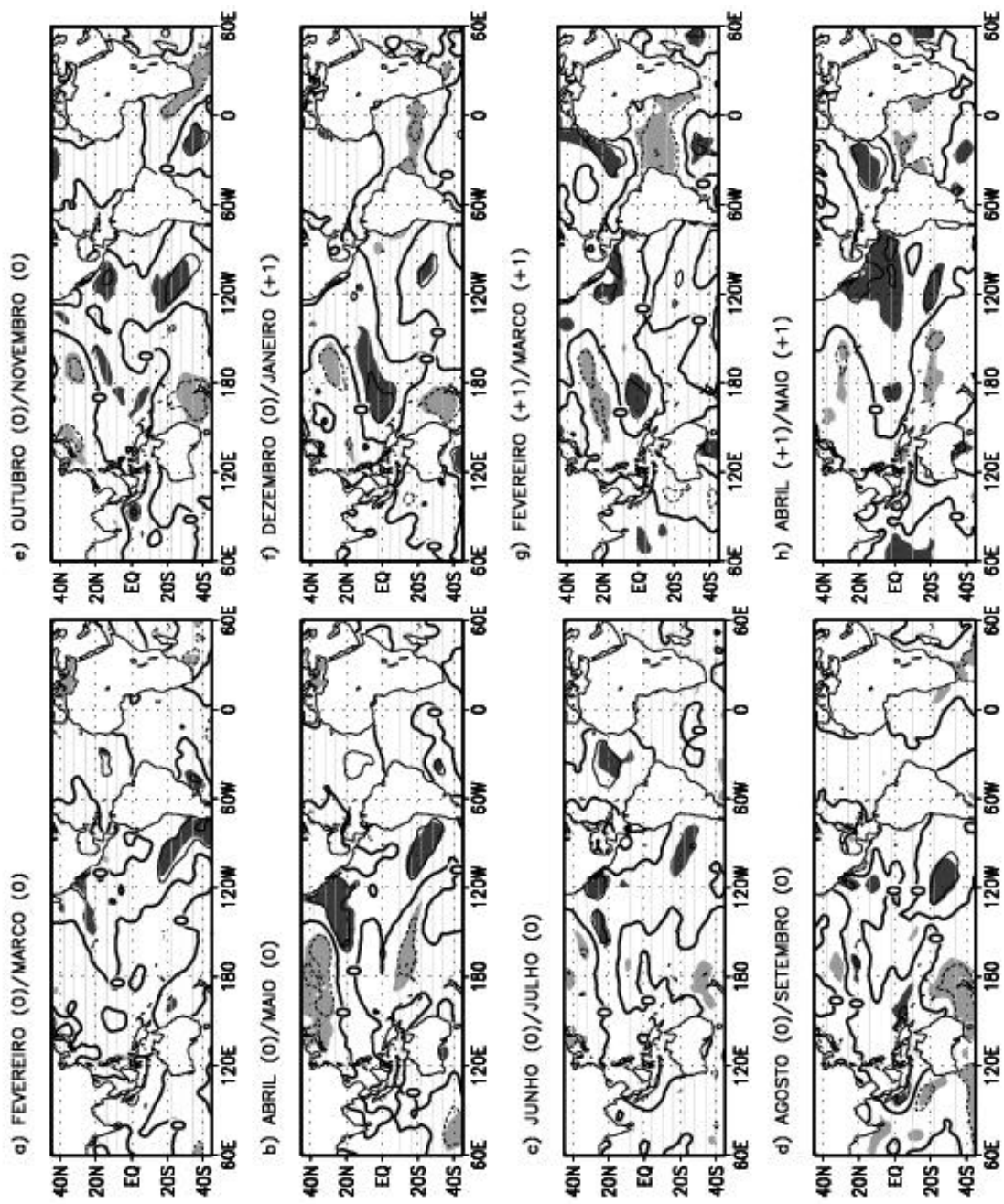


FIGURA 4.13 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

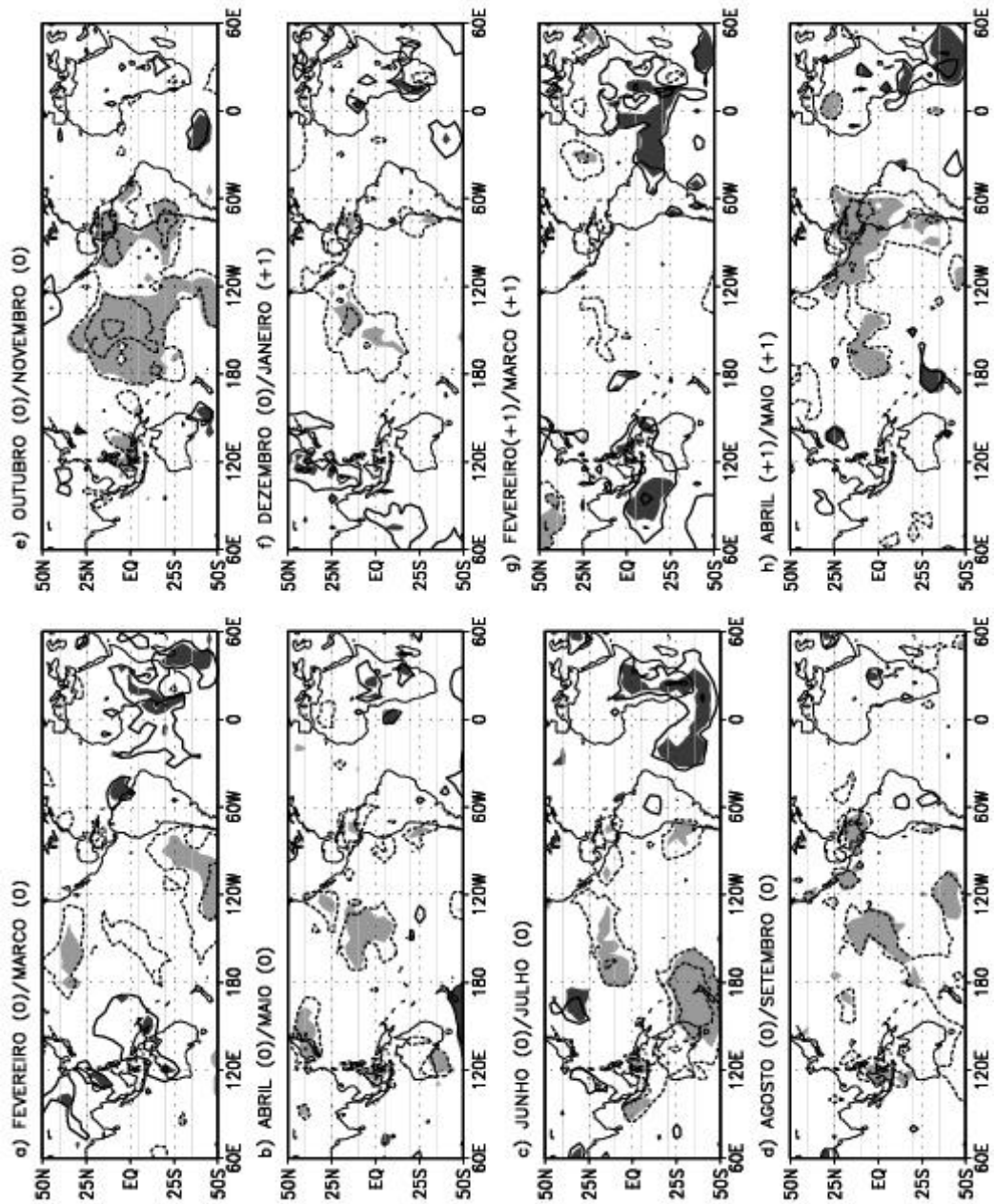


FIGURA 4.14 – Evolução de APNMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4.

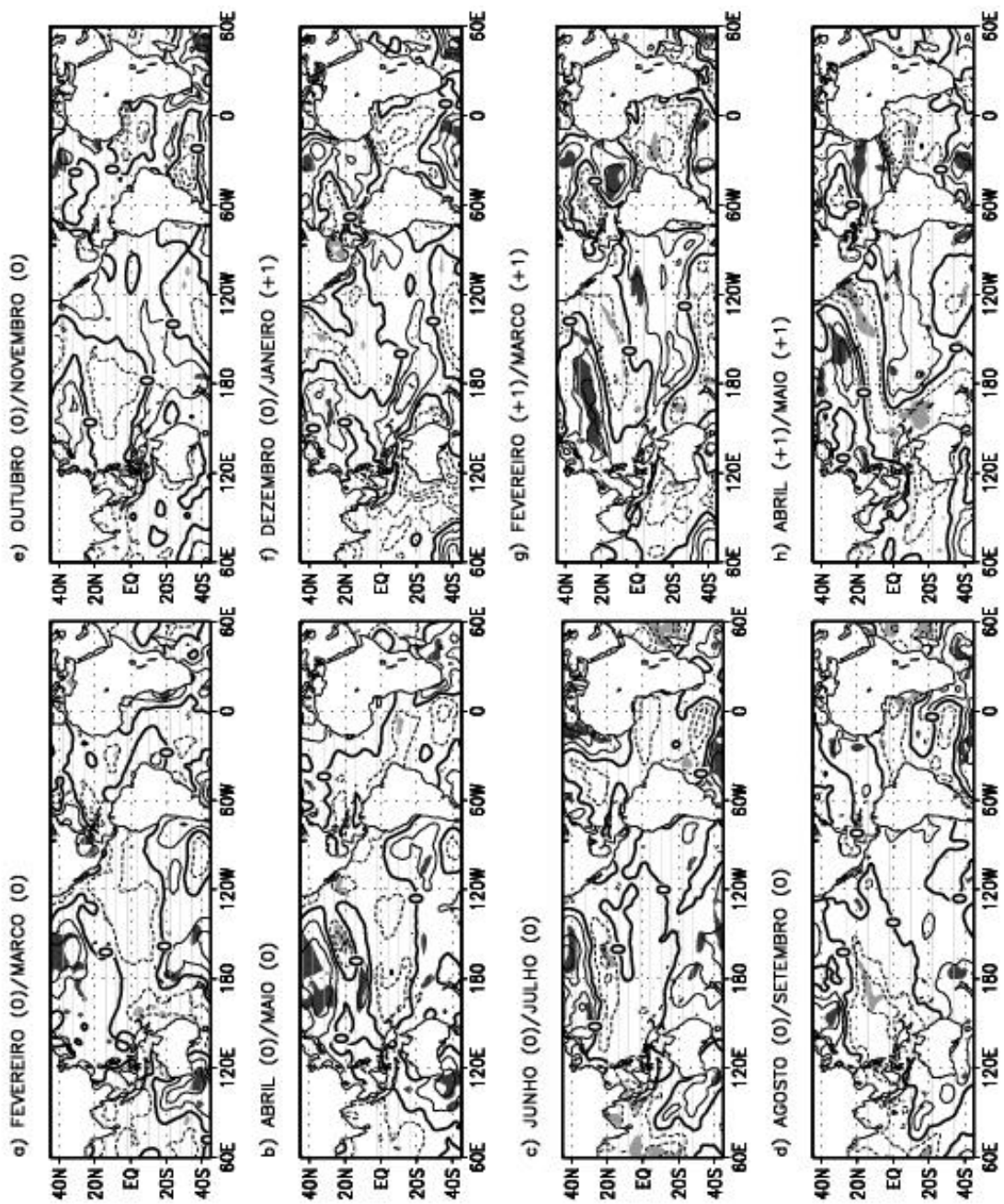


FIGURA 4.15 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

4.5.5 Anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB

ODP(+)

Para anos NEUTROS com precipitação acima do normal no NNEB, durante a ODP(+) (Figura 4.16), praticamente não se observam anomalias significativas no Pacífico tropical leste e as anomalias do AT se mostram menos intensas. Nos dois últimos bimestres (Figuras 4.16g e 4.16h) nota-se presença de ATSMs negativas (fracas) no ATN e positivas significativas no ATS ao norte de 20°S. A presença desta região aquecida no Atlântico equatorial leste caracteriza o modo equatorial, que favorece a formação de chuvas convectivas na região, explicando o excesso de precipitação no NNEB durante FMAM.

ODP(-)

Na Figura 4.17 tem-se a evolução espaço/temporal de anos NEUTROS com ocorrência de chuva excessiva durante a ODP(-). É notável a persistência de ATSMs negativas (fracas) no ATN ao longo de todo o período analisado. No Pacífico tropical, embora não significativas, há indícios de anomalias negativas, se mostrando mais intensas nos três últimos bimestres (Figuras 4.17f, 4.17g e 4.17h) e nesta mesma época as ATSMs do ATS também se apresentam mais fortes. As ATSMs negativas do Pacífico tropical devem estar relacionadas com a fase da ODP. Novamente, o fator fundamental para o excesso de precipitação sobre o NNEB foi um gradiente meridional de temperatura para o sul, criado pela oposição de sinais entre as ATSMs dos lados norte e sul do equador, embora estas anomalias sejam fracas.

Os campos evolutivos das APNMs correspondentes aos compostos de ATSMs apresentados anteriormente são apresentados na Figura 4.18. Desde Agosto (0)/Setembro (0) (Figura 4.18d) já é possível observar a presença de APNMs negativas

(fracas) sobre o NEB, que persistem até o fim da estação chuvosa. Apesar de se apresentarem menos intensas no penúltimo bimestre (Figura 4.18g), as APNMs negativas se intensificam em Abril (+1)/Maio (+1) (Figura 4.18h). Como, em geral, APNMs negativas são indicativos de movimentos ascendentes e aumento na convecção, este padrão explica as anomalias positivas da estação chuvosa.

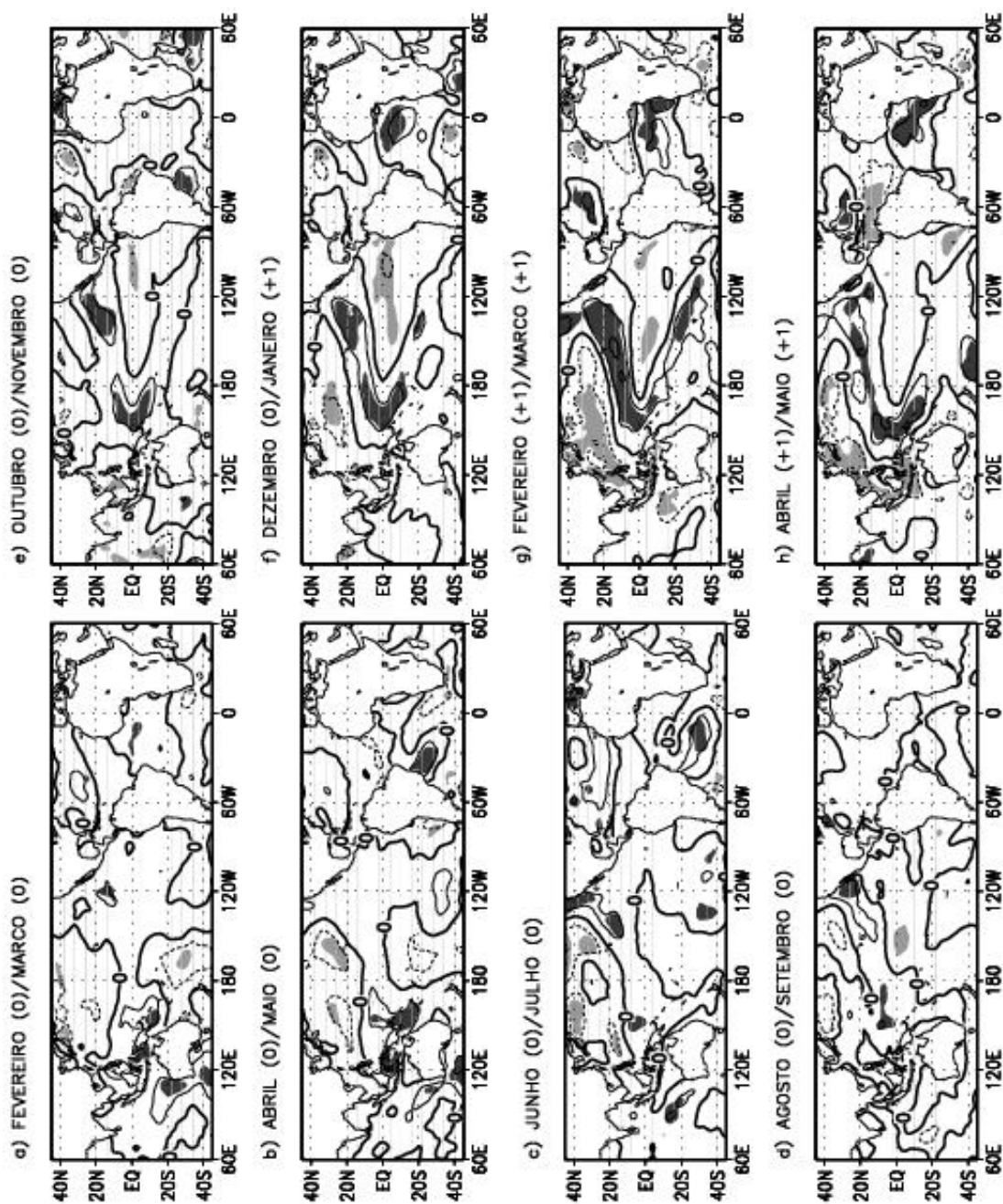


FIGURA 4.16 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(+). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

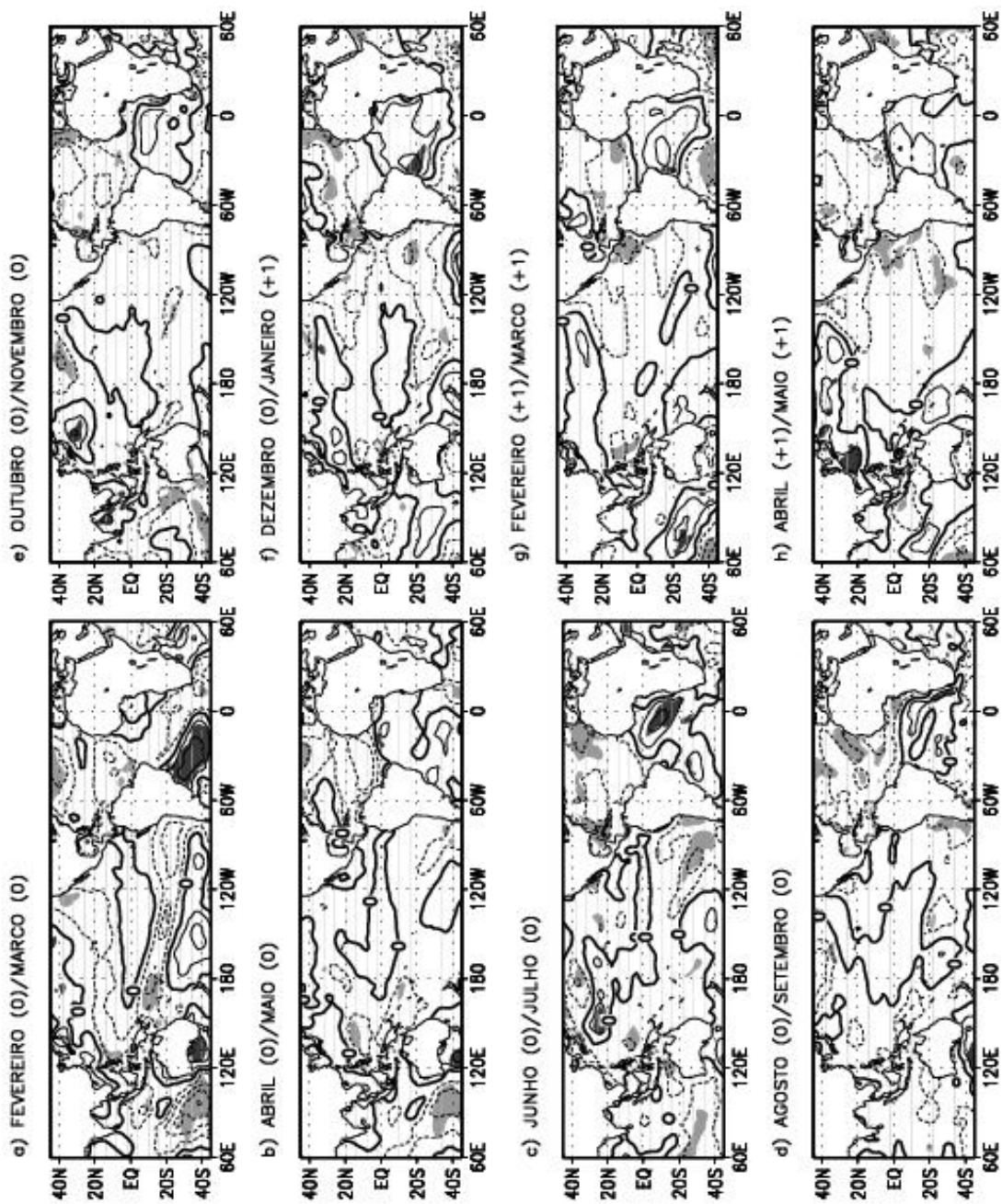


FIGURA 4.17 – Evolução de ATSMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.1.

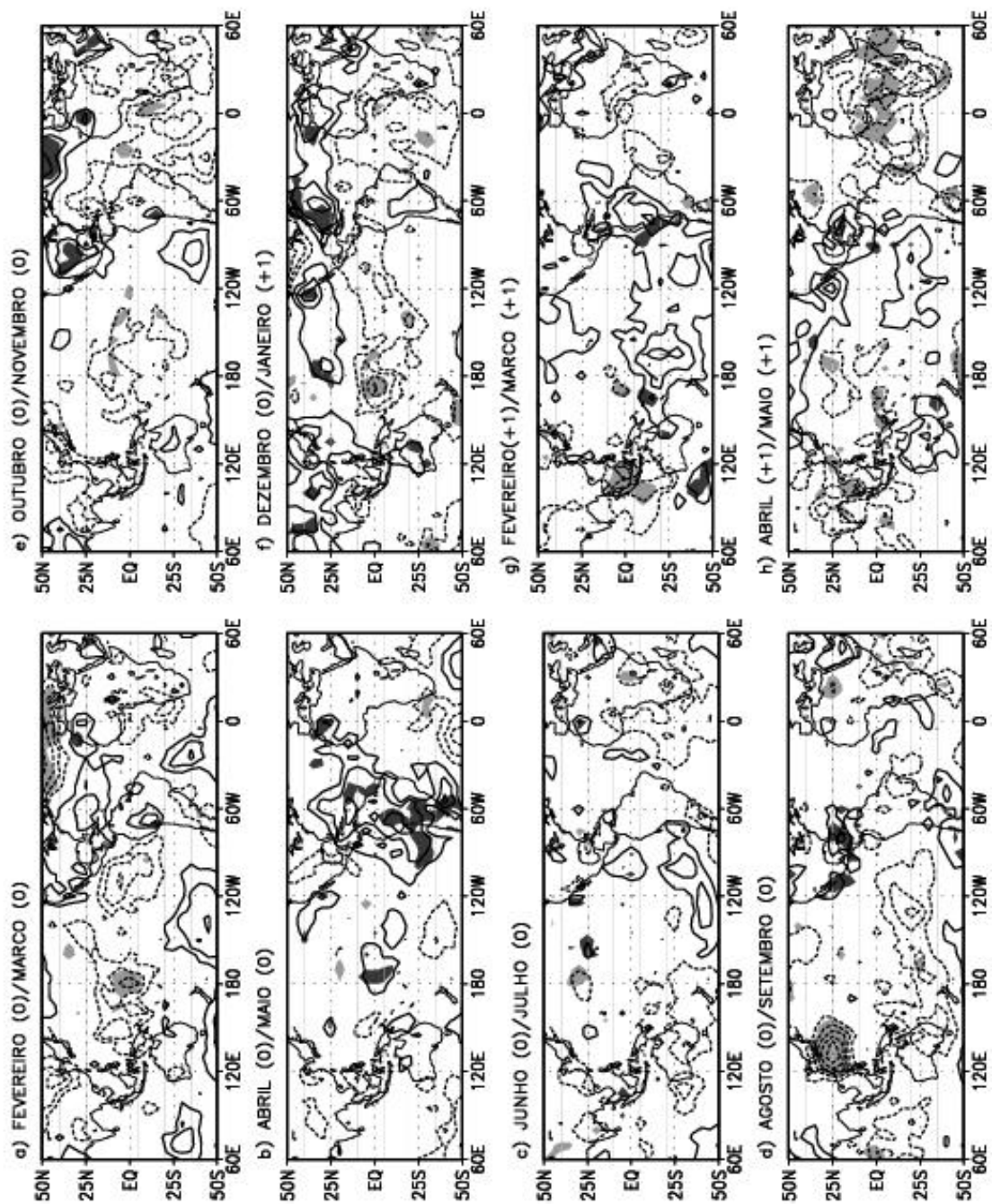


FIGURA 4.18 - Evolução de APNMs em anos NEUTROS com ocorrência de excesso de chuva no NNEB, na OPD(-). A representação das linhas e hachurado é a mesma da Figura 4.4.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

Através das análises dos resultados obtidos pode-se notar que os efeitos da ODP sobre os padrões anômalos de TSM e PNM são bem distintos durante as duas fases. A ODP não só afeta o desenvolvimento de episódios extremos do ENOS, mas também sua intensidade. No geral, em anos de El Niño, durante a ODP(+), as ATSMs positivas significativas no Pacífico tropical ao longo da costa oeste das Américas tiveram maior abrangência meridional, e o aquecimento iniciou-se no Pacífico central, fortaleceu e se estendeu para leste. Por outro lado, na ODP(-), as águas mais quentes estiveram confinadas nas latitudes equatoriais do Pacífico central leste, mais ou menos entre 180°W e 120° W. Neste caso, o aquecimento iniciou ao longo da costa oeste da América do Sul e se estendeu para o Pacífico central.

Para os eventos de La Niña com ocorrência de precipitação acima da média sobre o NNEB, observaram-se ATSMs mais intensas e com maior extensão meridional no lado leste do Pacífico tropical durante a ODP(-). Nesta fase a configuração apresentada pela La Niña foi semelhante à do El Niño na ODP(+). Desta forma, pode-se concluir que quando o ENOS e a ODP estão em fase, as intensidades dos El Niños e La Niñas e sua abrangência meridional no Pacífico tropical leste são maiores do que quando não estão. Pode-se observar também que os padrões de El Niños e La Niñas canônicas, isto é, com ocorrência de ATSMs de mesmo sinal no Pacífico tropical leste e no ATN, só ocorreram durante os casos em que os dois modos de variabilidade (ENOS e ODP) estiverem em fase.

Analisando os campos evolutivos de ATSMs dos El Niños e das La Niñas foi possível observar que, geralmente, o ENOS se estabelece em Outubro (0)/Novembro (0), exceto

para o caso de El Niño com ocorrência de seca no NNEB durante a ODP(-), em que ele se apresentou configurado somente em Dezembro (0) /Janeiro (+1).

Nos casos NEUTROS com ocorrência de seca no NNEB, as ATSMs do Pacífico central e leste associados à ODP podem ter contribuído direta ou indiretamente, juntamente com as ATSMs do AT. Em anos NEUTROS com excesso de precipitação no NNEB, o modo determinante da qualidade da estação chuvosa do NNEB foi o modo de variabilidade de origem bcal, ou seja, a variabilidade de TSM do AT. Para casos com ocorrência de condições de seca durante o período de fevereiro-maio, observou-se uma maior intensidade, apesar de menos significativas, das anomalias positivas no ATN e negativas no ATS durante a ODP(-) do que na ODP(+). Em ambas as fases o modo responsável por anomalias negativas de precipitação foi o gradiente meridional de ATSMs, dirigido para norte. Analisando os casos coincidentes com precipitação excessiva durante a estação chuvosa do NNEB nas duas fases da ODP, é possível notar uma maior presença de anomalias significativas na ODP(+). Nesta fase o fator dominante para a qualidade da estação chuvosa foi o modo equatorial, enquanto que na ODP(-) o responsável foi o gradiente meridional de ATSMs, dirigido para sul.

A dificuldade de se monitorar o clima do NEB é grande, pois diversos modos de variabilidade atuam simultaneamente afetando a região. Através da análise da Tabela 4.1 pode-se notar que durante a ODP(+) há uma tendência maior para a ocorrência de El Niños coincidentes com condições de seca no NNEB durante FMAM, do que durante a ODP(-). Provavelmente o fato das águas superficiais do Pacífico tropical leste estarem mais aquecidas favorece o desenvolvimento e a intensificação dos El Niños. Apesar desta pré-existência de ATSMs positivas e o número de El Niños com ocorrência de seca ser maior durante a ODP(+), é preciso analisar o padrão espacial das anomalias no Pacífico tropical e no AT, pois somente a fase da ODP não garante esta condição. Do total de 24 El Niños somente 10 estiveram associados com déficit de precipitação no NNEB, ou seja, 42%. Isso pode ser devido ao modo de variabilidade de TSM presente no AT. Durante a ODP(-) pode-se observar uma maior ocorrência de La Niñas

coincidentes com condições chuvosas no NNEB. Do total de 26 La Niñas, 12 estiveram associados com chuvas excessivas no NNEB, ou seja, 46%. Novamente isto deve estar relacionado com a fase da ODP, já que nesta o Pacífico tropical leste encontra-se mais frio que o normal.

Tendo em vista o que foi dito anteriormente, espera-se que durante a ODP(+) ocorram mais El Niños e que estes sejam mais fortes, enquanto que na ODP(-) espera-se uma maior ocorrência de La Niñas. De modo que El Niños que ocorrem na ODP(-) e La Niñas que ocorrem na ODP(+) devem apresentar padrões anômalos e efeitos menos intensos.

Com a realização deste trabalho pode-se concluir que nem sempre o ENOS é um fator determinante para a qualidade da estação chuvosa do NNEB. Em alguns casos, mesmo na presença de condições extremas do ENOS, as ATSMs do AT foram determinantes. Algumas vezes reforçando o efeito do ENOS na precipitação do NNEB e outras vezes limitando ou até mesmo contrariando este efeito. Assim, para o monitoramento eficiente do clima dessa região, é fundamental observar o que ocorre em ambos os oceanos, pois previsões baseadas somente no fenômeno ENOS podem levar a conclusões errôneas.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para uma melhor compreensão da variabilidade climática do NNEB sugere-se uma análise da dinâmica envolvida em alguns dos casos apresentados, usando dados de reanálises. Além disso, devem-se considerar anos anteriores a 1976 e posteriores a 1977, de forma a considerar as duas fases da ODP.

A análise apresentada neste trabalho foi baseada em resultados anteriores que abordam somente a variação latitudinal da ZCIT. No entanto, outros mecanismos sinóticos como Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), frentes frias, Distúrbios de Leste, etc,

também afetam a variabilidade de precipitação do NEB. Assim, propõe-se, também, uma análise do comportamento destes sistemas sinóticos nas duas fases da ODP e em anos de El Niño/La Niña. Talvez com isto, possam ser explorados novos aspectos envolvidos nestes mecanismos sinóticos modulados por fenômenos de maior escala temporal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, v. 116, n. 3, p. 505-524, Mar. 1988.
- Alves, J. M. B.; Repelli, C. A.; Mello, N. G. A pré-estação chuvosa do setor norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 8, n. 1, p. 22-30, 1993.
- Ambrizzi, T.; Souza, E. B.; Pulwarty, R. S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: Diaz, H. F.; Bradley, R. S. (eds). **The hadley circulation: present, past and future**. Amsterdam, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2005, cap. 7, p. 203-235.
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the tropical Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C05009, May. 2004.
- Bjerknes, J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. **Tellus**, v. 18, n. 4, p. 820-829, 1966.
- Bjerknes, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163-172, Mar. 1969.
- Carton, J. A.; Huang, B. Warm events in the tropical Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v. 24, n. 5, p. 888-903, May. 1994.
- Carton, J. A.; Cao, X.; Giese, B. S.; da Silva, A. M. Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean, **Journal of Physical Oceanography**, v. 26, p. 1165-1175, July 1996.
- Chang, P.; Ji, L.; Li, H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions. **Nature**, v. 385, p. 516-518, Feb. 1997.
- Chu, P. S. Time and space variability of rainfall and surface circulation in the northeast Brazil - tropical Atlantic sector. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 62, n. 2, p. 363-370, Apr. 1984.
- Dommenget, D.; Latif, M. Interannual to decadal variability in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 13, n. 4, p. 777-792, Feb. 2000.
- Enfield, D. B.; Mayer D. A. Tropical Atlantic SST and its relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C1, p. 929-945, Jan. 1997.

Enfield, D. B.; Mestas-Nunez, A. M.; Mayer, D. A.; Cid-Serrano, L. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? **Journal of Geophysical Research-Oceans**, v. 104, n. C4, p. 7841-7848, Apr. 1999.

Giannini, A.; Saravanan, R.; Chang, P. The preconditioning role of tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, v. 22, p. 839-855, May. 2004.

Góes, M.; Campos, C. N.; Taschetto, A. S.; Wainer, I. Relação entre o modo equatorial e a tendência de aquecimento da bacia Atlântica tropical, **Atlântica**, v. 25, n. 1, p. 21-25, 2003.

Hastenrath, S. Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 33, n. 2, p. 202-215, Fev. 1976.

Hastenrath, S. On Modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal Atmospheric Sciences**, v. 35, n. 12, p. 2222-2231, Dec. 1978.

Hastenrath, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, v. 112, n. 6, p. 1097-1107, June 1984.

Hastenrath, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v.3, n. 8, p. 893-904, Aug. 1990.

Hastenrath, S.; Heller L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, Jan. 1977.

Hastenrath, S.; Greischar, L. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v. 6, n. 4, p. 743-758, Apr. 1993a.

Hastenrath, S.; Greischar, L. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal Geophysical Research-Atmospheres**, v. 98, n. D3, p. 5093-5102, Mar. 1993b.

Houghton, R. W.; Tourre, Y. M. Characteristics of low frequency sea surface fluctuations in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 5, n. 7, p. 765-771, July 1992.

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**, v. 27, n. 8, p. 1693-1712, Feb. 1997.

- Kane, R. P. Prediction of droughts in north-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology**, v. 17, n. 6, p. 655-665, May. 1997.
- Kane, R. P.; Trivedi, N. B. Spectral characteristics of annual rainfall series for northeast Brazil. **Climate Change**, v. 13, p. 317-336, 1988.
- Kayano, M. T.; Rao, V. B.; Moura, A. D. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two constrating years. **Journal of Climatology**, v. 8, n. 5, p. 477-488, Set. - Oct. 1988.
- 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**, v. 109, n. C11011, Nov. 2004.
- Kiladis, G.; Diaz, H. F. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, n. 9, p. 1069-1090, Mar. 1989.
- Kousky, V.E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, Sept.1979
- 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**, v. 36, n. 5, 490-504, Oct. 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**, v. 4, n. 2 , p. 351-363, Dec. 1989.
- Latif, M.; Grotzner, A. The equatorial Atlantic oscillation and its response to ENSO. **Climate Dynamics**, v. 16, n. 2-3, p. 213-218, Feb. 2000.
- Lima, M. C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da região nordeste do Brasil**. 1991. 222 p. (INPE-5283 – TDI/453). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.
- Liu, Z.; Wu, L.; Gallimore, R.; Jacobs, R. Search for the origins of Pacific decadal climate variability, **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 10, Art. nº 1404, May. 2002.
- Livesey, R. E; Chen, W. Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo Techniques, **Monthy Weather Review**, v. 111, p. 46-59, Jan. 1983.
- Lough, J. M. Tropical Atlantic sea-surface temperatures and rainfall variations in Sub-Saharan Africa. **Monthly Weather Review**, v. 114, n. 3, p. 561-570, Mar. 1986.

- 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**, v. 78, n. 6, p. 1069-1079, June 1997.
- Markham, C. G.; McLain, D. R. Sea surface temperature related to rain in Ceara, northeastern Brazil. **Nature**, v. 265, n. 5592, p. 320-323, Jan. 1977.
- Mehta, V. Variability of the tropical ocean surface temperatures at decadal-multidecadal timescales. Part I: The Atlantic Ocean. **Journal of Climate**, v. 11, n. 9, p. 2351-2375, Sept. 1998.
- Meisner, B. N. **A study of Hawaiian and Line Island rainfall.**, Honolulu: University of Hawaii, 82 p., 1976. Rep. UHMET 76-4, Dept. Meteor.
- Minobe, S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific, **Progress in Oceanography**, v. 47, n. 2-4, p. 381-408, Oct. 2000.
- Moura, A.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of The Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, Dec.1981
- Namias, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. **Tellus**, v. 24, n. 4, p. 336-342, 1972.
- Neelin, J. D.; Battisti, D. S.; Hirst, A. C.; Jin, F. F.; Wakata, Y.; Yamagata, T.; Zebiak, S. E. ENSO theory. **Journal Geophysical Research**, v. 103, n. C7, p. 14260-14290, June 1998.
- Nobre, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin.** University of Maryland, 151 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – University of Maryland at College Park, 1993.
- Nobre, P.; Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, Oct. 1996.
- Panofsky, H. A.; Brier, G. W. **Some applications of statistics to meteorology.** Pennsylvania State University: University Park, 1968. 224p.
- 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**, v. 17, n. 2-3, p. 205-212, Jan. 2001.
- Philander, S. G. **El Niño, La Niña and the southern oscillation.** San Diego – CA: Academic Press, 1990. 293p. International Geophysics Series.

Rabistona, C. R. The Climate of Brazil. Climates of Central and South America. **World Survey of Climatology**, v. 12, (Elsevier), p. 219-293, 1976.

Rao, V. B.; De Lima, M. C.; Franchito, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, Sept. 1993.

Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

Rao, V. B.; Chapa, S. R.; Franchito, S. H. Decadal variation of Atmosphere-Ocean interaction in the tropical Atlantic and its relationship to the Northeast Brazil rainfall. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 77, n. 1, p. 63-75, Feb. 1999.

Rasmusson, 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**, v. 110, n. 5, p. 354-384, May. 1982.

Rasmusson, E. M.; Arkin, P. A. Interannual climate variability associated with the El Niño/Southern oscillation. In: Nihoul, J. C. J. (ed.). **Coupled ocean-atmosphere models**. Amsterdam, Netherlands, Elsevier Science Publishers. B.V, 1985. cap. 40, p. 289-302.

Riehl, H. **Climate and weather in the tropics**. New York: Academic Press, 1979. 611 p.

Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, Aug. 1987.

Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, n. 3, p. 268-284, Mar. 1989.

Saravanan, R.; Chang, P. Interaction between tropical Atlantic variability and El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 13, n. 13, p. 2177-2194, July 2000.

Servain J. Simple climatic indexes for the tropical Atlantic-Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research - Oceans**, v. 96, n. C8, p. 15137-15146, Aug. 1991.

Servain, J.; Wainer, I.; McCreary, J. P.; Dessier, A. Relationship between the equatorial and meridional modes of climatic variability in the tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 4, p. 485-488, Feb. 1999.

Smith, T. M.; Reynolds, R. W. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997). **Journal of Climate**, v. 16, p. 1495-1510, May. 2003.

Souza, E. B. **Um estudo observacional sobre o Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Oceano Atlântico tropical**. 1997. 138 p. (INPE-6392 – TDI/608). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.

Souza, E. B.; Nobre, P. Uma revisão sobre o padrão de dipolo no Atlântico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 31-44, 1998.

Stoeckenius, T. Interannual variations of tropical precipitation patterns. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 6, p. 1233-1247, June 1981.

Strang, D. M. G. D., **Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste Brasileiro**, Centro Técnico Aeroespacial, Relatório Técnico IAE-M-02/72, 70 p, 1972.

Sutton, R. T.; Jewson S. P.; Rowell, D. P. The elements of climate variability in the tropical Atlantic region, **Journal of Climate**, v. 13, n. 18, p. 3261-3284, Sept. 2000.

Tourre, Y. M.; Rajagopalan, B.; Kushnir, B. Dominant patterns of climate variability in the Atlantic Ocean during the last 136 years. **Journal of Climate**, v. 12, n. 8, p. 2285-2299, Aug. 1999.

Trenberth, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, Dec. 1997.

Trewartha, G. T. **The Earth's Problem Climates**. Wisconsin: University of Wisconsin Press, Madison, 1961. 371 p.

Uvo, C. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil**. 1989. 99 p. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 1989.

Uvo, C. R. B.; Repelli, C. A.; Zebiak, S. E.; Kushnir, Y. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, n. 4, p. 551-552, Apr. 1998.

Wagner, R. G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 9, n. 9, p. 2010-2019, Sept. 1996.

Wagner, R. E.; da Silva, A. Surface conditions associated with anomalous rainfall in the Guinea coastal region. **International Journal of Climatology**, v. 14, n. 2, p. 179-199, Mar. 1994.

Walker, G. T. Ceara (Brazil) famines and the general air movement. **Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre**, v. 14, p. 88-93, 1928.

Wang, C. Atmospheric Circulation Cells Associated with the El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 15, p. 399 – 419, Feb. 2002a.

Wang, C. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells. **Journal of Climate**, v. 15, p. 1516-1536, July 2002b.

Wang, C. ENSO and Atmospheric Circulations Cells. **Clivar Exchanges**, v. 7, n. 2, p. 9-11, June 2002c.

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, v. 147, p. 21-48, AGU, Washington, 2004.

Ward, M. N.; Folland, C. K. Prediction of seasonal rainfall in the north nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. **International Journal of Climatology**, v. 11, n. 7, p. 711-743, Nov. 1991.

Zebiak, S. E. Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region. **Journal of Climate**, v. 6, n. 8, p. 1567-1586, Aug. 1993.

Zhang, Y.; Sheng, J.; Shabbar, A. Modes of interannual and interdecadal variability of Pacific SST. **Journal of Climate**, v. 11, n. 10, p. 1556-2569, Oct. 1998.

Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Battist, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, n. 5, p. 1004-1020, May. 1997.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)