



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14440-TDI/1135

IMPACTO DOS EVENTOS EXTREMOS DE ENOS NAS PRECIPITAÇÕES SAZONAIS DO NORDESTE BRASILEIRO

Thiago Gomes Reis

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. Clóvis Angeli Sansigolo, aprovada em 31 de março de 2006.

INPE
São José dos Campos
2006

551.577 (812/813)

Reis, T. G.

Impactos dos eventos extremos de ENOS nas precipitações sazonais do nordeste brasileiro / Thiago Gomes Reis. – São José dos Campos: INPE, 2006.

96p. ; (INPE-14440-TDI/1135)

1.El Niño. 2.Meteorologia tropical. 3.Previsão estatística do tempo. 4.Interações entre o ar e a água. 5.Precipitação 6.América do Sul. 7.Brasil. 7.Nordeste I.Título.

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

Dra. Mary Toshie Kayano



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Shigetoshi Sugahara



Convidado(a) / IPMet/ UNESP / Bauru - SP

Aluno (a): **Thiago Gomes Reis**

São José dos Campos, 31 de março de 2006

“O homem incapaz de maravilhar-se, aquele que normalmente não admira (nem adora), mesmo que seja presidente de inúmeras sociedades científicas e carregue (...) em sua cabeça a sinopse de todos os laboratórios e observatórios e respectivos resultados, nada é além de um par de óculos, atrás dos quais não existem olhos.”

THOMAS CARLYLE

*A meus pais,
Antônio Luiz Gomes Reis e
Elza Maria Reis.*

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.

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

À Associação Desportiva Classista dos funcionários do INPE (ADC/INPE), pela oportunidade de praticar esportes e utilização de suas instalações.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Clóvis Angeli Sansigolo, pelo conhecimento passado, paciência, pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao amigo Gustavo Matos e família, pela atenção, apoio nas horas mais difíceis da realização deste trabalho e principalmente pelas pessoas especiais que demonstraram ser. Também não poderia deixar de agradecer meu amigo Rafael Castelo pelas horas de conversa que tivemos.

A minha eterna amiga Nycolle Paiva Barbosa Ferreira, pela relação e momentos de aprendizados pelos quais passamos juntos.

A meus irmãos Roberta Reis e Antônio Jr., amigos e simpatizantes da Vida e do Surf.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

RESUMO

Analisa-se a influência dos eventos extremos do ENOS nas anomalias de precipitação na região Nordeste do Brasil e nas ATSM dos Oceanos Atlântico Tropical Norte e Sul. Compostos dos tercís de precipitação sazonal observados em 28 estações e de ATSM do ATLTN e ATLTS, durante os 5, 8 e 11 eventos mais fortes de EL Niño e La Niña entre 1949/50 e 2000, foram usados para caracterizar os impactos típicos do ENOS na região, usando tabelas de contingência 3x2. As probabilidades das precipitações e ATSM sazonais abaixo e acima das normais associadas aos eventos de El Niño e La Niña foram obtidas usando a distribuição hipergeométrica. Os eventos de ENOS tem um maior impacto no ATLTN, principalmente nas suas fases maduras (DJF), com defasagem de 3 meses. Simultaneamente, os El Niños associados à anomalias abaixo das normais tem maior impacto em MAM (estação chuvosa no Nordeste do NEB), enquanto as La Ninas associadas à precipitação acima das normais tem maior impacto em JJA (estação chuvosa no Leste do NEB) e em SON (pré-estação chuvosa no Sul da região). Para defasagem de 3 meses, as relações significativas são entre os El Niños e as La Niñas de DJF e as precipitações abaixo e acima das normais em MAM no Nordeste da região. O impacto dos eventos El Niños/La Niñas associado a precipitações abaixo/acima das normais é assimétrico em relação às regiões e estações do ano e afeta praticamente todo o NEB. A alta previsibilidade do ENOS e seu significativo impacto histórico nas precipitações do NEB provêm uma fonte significativa de previsibilidade, em termos probabilísticos, da variabilidade sazonal das suas anomalias em relação à climatologia.

ENSO EXTREME EVENTS IMPACTS ON THE SEASONAL RAINFALL IN THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL

ABSTRACT

The ENSO extreme events influence on the rainfall anomalies in the Northeast region of Brazil and in the Tropical North and South Atlantic SST anomalies are analyzed. Composites of seasonal rainfall tercils, observed at 28 stations during the 5, 8 and 11 strongest events of El Niño and La Niña between 1949/50 and 2000, were used to characterize the typical ENOS impacts in the region, using 3x2 contingency tables. The probabilities of below and above-normal seasonal rainfall associated with El Niño e La Niña events were obtained using the hypergeometric distribution. ENSO events have greater impact on the North Atlantic, mainly in their mature phases (DJF), lagged 3 months. Simultaneously, El Niños associated with below normal rainfalls have greater impact in MAM (rainy season in the Northeast part of NEB), while La Niñas associated with above normal rainfall have grater impact in JJA (rainy season in the East part of NEB) and in SON (pre-rainy season in the South part of NEB). Lagged 3 months, the significant relationship are between El Niños/La Niñas in DJF and below/above normal rainfall in MAM in the Northeast part of region. El Niño/La Niña events impacts associated with below/above normal rainfall are asymmetric in relation to the regions and seasons of the year, and affect practically all NEB. The high ENSO predictability and its significant historical impact on the NEB seasonal rainfalls provide a significant source of predictability, in probabilistic terms, of their seasonal anomalies in relation to climatology.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	25
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Climatologia das precipitações no NEB	29
2.2 Eventos ENOS e suas relações com as precipitações no NEB	32
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	39
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS e DISCUSSÕES	45
4.1 Características dos eventos ENOS.....	45
4.2 Impacto do ENOS nas anomalias de TSM do Atlântico Tropical Norte e Sul.....	48
4.3 Impacto do ENOS nas anomalias de precipitação do NEB	51
4.3.1 Impacto dos eventos de La Niña nas anomalias de precipitação do NEB	53
4.3.2 Impacto dos eventos de El Niño nas anomalias de precipitação do NEB	59
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	65
5.1 Conclusões.....	65
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	85

LISTA DE FIGURAS

2.1 – Distribuição espacial dos regimes de chuva sobre o NEB	31
2.2 – Regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual das precipitações	31
2.3 – Regiões dos Niños no Oceano Pacífico Equatorial e as localidades de Taiti e Darwin.	32
2.4 – Condições oceânicas e atmosféricas no Pacífico Tropical no final da Primavera e início do Verão do Hemisfério Sul em situação normal (a), El Niño (b) e La Niña (c).	35
3.1 – Distribuição geográfica das 28 estações sobre o NEB.	39
4.1 – Evolução mensal dos índices Niño 3.4 para os 5 eventos extremos de EL Niño e La Niña entre 1940/50 e 2000.....	47
4.2 – Anomalias de TSM no Pacífico na região Niño 3.4 e anomalias de TSM no Pacífico acima de 20°N no período de 1949/50 a 2000	44
4.3 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.....	55
4.4 – Frequência das ocorrências defasadas de um mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.....	56
4.5 – Frequência das ocorrências defasadas de três meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	57
4.6 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.....	60
4.7 – Frequência das ocorrências defasadas de um mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	61
4.8 – Frequência das ocorrências defasadas de três meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	62
C.1 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.....	83
C.2 – Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	84
C.3 – Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.	85
C.4 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	86
C.5 – Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	87
C.6 – Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	88
C.7 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.....	89
C.8 – Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	90
C.9 – Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	91

C.10 – Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	92
C.11 – Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	93
C.12 – Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	94

LISTA DE TABELAS

3.1 – Tabela de contingência 3x2 utilizada para verificar um sistema de previsão binário	41
3.2 – Probabilidades Acumuladas para a distribuição hipergeométrica considerando uma amostra de 51 valores com 3 categorias equiprováveis. X é o número de casos favoráveis em 5, 8 e 11	42
4.1 – Índices Niño 3.4 sazonais para os 11 eventos mais intensos de La Niña entre 1949/50 e 2000.....	45
4.2 – Índices Niño 3.4 sazonais para os 11 eventos mais intensos de El Niño entre 1949/50 e 2000.....	46
4.3 – Número de ocorrências de ATSM abaixo das normais no ATLTN e acima das normais no ATLTS durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.	48
4.4 – Número de ocorrências de ATSM acima das normais no ATLTN e abaixo das normais no ATLTS durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	48
4.5 – Porcentagem de estações com precipitações acima / abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50.....	51
4.6 – Porcentagem de estações com precipitações abaixo / acima das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50	51
A.1 – Características das 28 estações distribuídas pelo NEB.....	75
B.1 – Ocorrências simultâneas das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	77
B.2 – Ocorrências defasadas de 1 mês das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000	78
B.3 – Ocorrências defasadas de 3 meses das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.....	79
B.4 – Ocorrências simultâneas das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.....	80
B.5 – Ocorrências defasadas de 1 mês das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.....	81
B.6 – Ocorrências defasadas de 3 meses das 3 categorias de precipitação por estação e ATSM no ATLTN e ATLTS (1-abaxio da normal, 2-quase normal, 3-acima da normal) durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ATLT	- Atlântico Tropical
ATLTN	- Atlântico Tropical Norte
ATLTS	- Atlântico Tropical Sul
ATSM	- Anomalia de TSM
CCW	- Célula da Circulação de Walker
CPC	- Climate Prediction Center
ENOS	- El Niño / Oscilação do Sul
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IOS	- Índice de Oscilação do Sul
JMA	- Japan Meteorological Agency
MEI	- Multivariate ENSO Index
NEB	- Nordeste do Brasil
NOAA	- National Oceanic & Atmospheric Administration
ODP	- Oscilação Decadal do Pacífico
OS	- Oscilação do Sul
PNM	- Pressão ao Nível Médio do Mar
POA	- Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios
SUDENE	- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

a -	anos secos
b -	anos chuvosos
n -	total de anos
r -	eventos
x -	número de casos de El Niño/Seco
y -	número de casos de La Niña/Chuvoso
$C_n^x = \binom{n}{x}$ -	combinação de n anos x a x
s -	desvio padrão

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As variabilidades climáticas nas latitudes tropicais, tais como as que ocorrem nas precipitações do Nordeste do Brasil (NEB), e sua possível relação com o modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) vem sendo estudadas desde o começo do século XX (Walker, 1928; Hastenrath, 1976; Kousky *et al.*, 1984; Ropelewski e Halpert, 1987, 89; Rao e Hada, 1990; Kane, 1997, 2000, entre outros).

Episódios de seca/chuva no NEB estão respectivamente associados com os eventos El Niño/La Niña, apesar das correlações em longo prazo serem baixas (Kane, 1997). Vários outros mecanismos podem influenciar a distribuição das precipitações no NEB tais como a Oscilação Decadal do Pacífico (Kayano e Andreoli, 2004), a variação na circulação em 700 mb no Hemisfério Norte (Rao e Brito, 1984), a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), influenciada pelo padrão dipolo de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre o Atlântico Tropical (ATLT) (Hastenrath e Heller, 1977; Uvo, 1989), assim como a passagem de frentes frias oriundas das altas latitudes influenciando no padrão de precipitação na parte sul e sudoeste da região (Kousky, 1981).

Sabe-se também que o gradiente térmico meridional inter-hemisférico no ATLT modula o posicionamento da banda de nebulosidade e precipitação ligada a ZCIT (Hastenrath e Heller, 1977; Mélice e Servain, 2003). A conexão do Pacífico com as precipitações do NEB pode ser explicada pelo fato do ENOS estar diretamente relacionado com os gradientes meridionais de TSM no ATLT e conseqüentemente com o posicionamento da ZCIT, que por sua vez está associada com a variabilidade das precipitações na região (Moura e Shukla, 1981).

O impacto do ENOS nas precipitações do NEB, inferido pela significativa, mas fraca correlação de -0,4 entre as precipitações do século passado na região e o índice Niño 3, é consideravelmente menor do que as correlações entre as precipitações com os gradientes de TSM entre Atlântico Tropical Norte (ATLTN) e Atlântico Tropical Sul (ATLTS), da ordem de 0,6, entre 1950 e 94, e isto poderia ser atribuído ao fato que, durante a estação chuvosa (MAM) os eventos ENOS já estariam na fase de decaimento (Saravanan e Chang, 2000; Giannimi *et al.*, 2001).

Em anos recentes, as relações entre as precipitações do NEB e as TSM dos Oceanos ATLT e Pacífico passaram a ser usadas em previsões climáticas sazonais. (Ward e Folland, 1991; Hastenrath, 1995).

O uso de ATSM para fins de monitoramento e previsão climática é atrativo, pois elas são as principais forçantes climáticas, são relativamente simples de serem medidas e estimadas com uma boa distribuição espacial, estão disponíveis em tempo quase-real e tem um comportamento menos ruidoso do que as variáveis atmosféricas.

Compostos de anomalias climáticas históricas fornecem informações úteis sobre os impactos típicos do ENOS (Kiladis e Diaz, 1989). Porém, o relacionamento do ENOS com as anomalias climáticas esperadas não é simples e direto. Para as mesmas magnitudes e estruturas de TSM de eventos ENOS, a inerente imprevisibilidade da atmosfera levará a diferentes anomalias climáticas para cada evento. As interações não lineares com as anomalias de TSM dos outros oceanos e a existência de diferenças inter-El Niños (Hoerling *et al.*, 1997) aumentarão as incertezas sobre as anomalias climáticas esperadas.

Correlação e regressão são os métodos mais usuais para a análise de dados compostos. Eles descrevem a intensidade e a forma das teleconexões lineares entre o ENOS e as anomalias climáticas. Mas em algumas regiões, as relações ENOS-clima são assimétricas para eventos de El Niño e La Niña, e também variam de intensidade nas

diferentes épocas do ano (Ropelewski e Halpert, 1987). Além disso, os coeficientes de correlação estão sensíveis à normalidade dos dados, logo impróprios, por exemplo, para descrever a intensidade do sinal do ENOS em regiões com distribuição assimétrica das precipitações.

Dadas as limitações de análise de compostos para a previsão de impactos futuros, são valiosas as estimativas das probabilidades de anomalias climáticas relacionadas às fases do ENOS (Ropelewski e Halpert, 1987; Mason e Goddard, 2001). Uma alternativa simples e robusta que contorna os problemas obtidos com a aplicação dos outros métodos envolve o uso de tabelas de contingência, que permitem avaliar a influência de uma variável independente, o ENOS no caso, na probabilidade de ocorrência de um evento climático pré-determinado (tercil de precipitação ou de TSM).

No presente estudo pretende-se analisar, utilizando-se tabelas de contingência 3x2, as relações entre os eventos extremos do ENOS e as anomalias de precipitações do NEB, assim como suas relações com as anomalias de TSM do Oceano Atlântico Tropical. Visa-se quantificar, em termos probabilísticos, o impacto sazonal simultâneo e com defasagem de 1 a 3 meses (e até 6 meses para as TSM) dos eventos El Niño/La Nina nas diferentes regiões do NEB (e do ATLTN e ATLTS) dada a ocorrência de ENOS, pois a sua alta previsibilidade (Latif *et al.*, 1998) fornece uma fonte significativa de previsão da variabilidade climática sazonal.

No Capítulo 2 será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a climatologia das precipitações no NEB e sobre os eventos ENOS, assim como suas relações com as precipitações no NEB e ATSM no ATLT. No Capítulo 3 serão descritos os dados e a metodologia a serem utilizados para relacionar os eventos extremos do ENOS às precipitações sazonais no NEB e às ATSM do ATLT. No capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados, enquanto no capítulo 5 as conclusões e, finalmente, a bibliografia utilizada no trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Climatologia das Precipitações no NEB

Devido à sua localização no extremo leste da América do Sul, o NEB está submetido à influência de fenômenos meteorológicos e climáticos, que lhe conferem características peculiares (Kousky *et al.*, 1984; Molion e Bernardo, 2002). A maioria destes mecanismos ocorre sobre o ATLT. Em geral, o gradiente de TSM entre o Norte e Sul sobre o ATLT (Dipolo do Atlântico Tropical) parece ter maior influência nas precipitações no NEB (Souza *et al.*, 1998), embora eventos extremos de El Niño possam dominar (Folland *et al.*, 2001; Mélice e Servain, 2003).

A ZCIT é o principal mecanismo de grande escala que, associado às anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical (Dipolo do Atlântico) e à convergência de umidade produz chuva no norte do NEB (Moura e Shukla, 1981; Uvo, 1989; Uvo *et al.* 1998; Molion e Bernardo, 2002). As anomalias de TSM sobre o ATLT mudam a circulação meridional da atmosfera (Célula de Hadley), inibindo ou aumentando a formação de nuvens sobre o Norte do NEB. Quando as águas do ATLTN estão mais quentes e as águas do ATLTN mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o NEB inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação. Por outro lado, quando as águas do ATLTN estão mais frias e as águas do ATLTN mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o NEB, acelerando a formação de nuvens e aumentando a precipitação (Moura e Shukla, 1981; Uvo, 1989).

Strang (1972) realizou uma climatologia das precipitações medias mensais no NEB no período de 1931-1960, mostrando que nesta região existem três regimes pluviais que penetram de direções diferentes e ocorrem em épocas distintas do ano, cujos meses

centrais de cada um deles são dezembro (Sul do NEB), março (Norte do NEB) e maio (Leste do NEB).

Nobre e Molion (1988) baseado na climatologia de Strang (1972) identificaram vários diferentes regimes de precipitação sazonal associados às várias diferentes regiões do NEB. A região Norte é caracterizada por possuir um regime pluviométrico que varia de 400mm/ano (interior) a mais de 2.000mm/ano (litoral) tendo os meses mais chuvosos entre fevereiro e maio, associados ao deslocamento da ZCIT. O Sul do NEB possui um regime pluviométrico que varia de 600mm/ano (interior) a mais de 3.000mm/ano (litoral) e seu período mais chuvoso está compreendido entre os meses de novembro a fevereiro. Os regimes Sul e Oeste do NEB têm suas precipitações associadas com a penetração de sistemas frontais que atuam durante todo ano (Kousky, 1981). A faixa costeira leste do NEB, também conhecida como Zona da Mata, apresenta clima quente e úmido com totais pluviométricos anuais variando de 600 a 3.000mm/ano, sendo o período mais chuvoso entre abril e julho. As chuvas no Outono e Inverno sobre o Leste do NEB estão associadas com os ventos de sudeste que sopram perpendiculares à costa. A alta subtropical no Atlântico Sul modula a força e a direção dos ventos ao longo da costa e influencia na variação anual de precipitação sobre o Leste do NEB (Lima, 1991; Rao *et al.* 1993). Na FIGURA 2.1 encontram-se os vários regimes de precipitação associados às várias regiões do NEB.

Braga (2000) usando uma análise de agrupamentos hierárquica aglomerativa dos principais fatores comuns espaciais e escores temporais das precipitações mensais no período de 1960-89, definiu 9 regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual das precipitações. Segundo seu trabalho, nas regiões 1, 3, 6 e 7 (Norte) o período chuvoso vai de fevereiro a abril; na região 2 de março a maio; nas regiões 4 e 5 (Sul) de dezembro a fevereiro e nas regiões 8 e 9 (Leste) de maio a julho (FIGURA 2.2).



FIGURA 2.1 – Diferentes regimes de precipitação associados às diversas regiões do NEB. Para estações assinaladas são mostrados os histogramas das precipitações médias mensais (C-Catite, O-Olinda, Q-Quixeramobim, R-Remanso, S-Salvador).

Fonte: Nobre e Molion (1988).

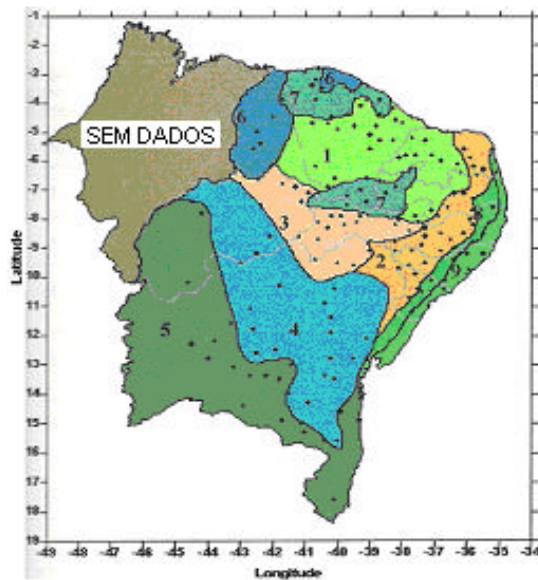


FIGURA 2.2 - Regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual das precipitações no NEB (1,3,6 e 7 – Região Norte, 2 – Interior da região Leste, 4,5 – Região Sul e 8,9 – Região Leste Costeira).

Fonte: Braga (2000).

2.2 - Eventos ENOS e suas Relações com as Precipitações no NEB

O ENOS é um fenômeno de grande escala que ocorre no Oceano Pacífico Tropical. O fenômeno refere-se a uma combinação de dois mecanismos que demonstram de forma marcante, o vínculo existente entre o oceano e a atmosfera. O El Niño representa a componente oceânica do fenômeno, enquanto a Oscilação do Sul (OS) representa a contrapartida atmosférica.

A componente oceânica, denominada El Niño, normalmente designava uma corrente marítima quente para o sul no Pacífico, ao longo da costa do Peru e Equador. Mais tarde o fenômeno foi associado com variações na TSM e ao IOS (Pressão ao nível do mar $(PNM_{Taiti}) - (PNM_{Darwin})$), com caráter mais intenso e abrangente. Esta componente é monitorada principalmente através do IOS e TSM em regiões definidas ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico, tais como Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 e Niño 1+2 (Figura 2.3).

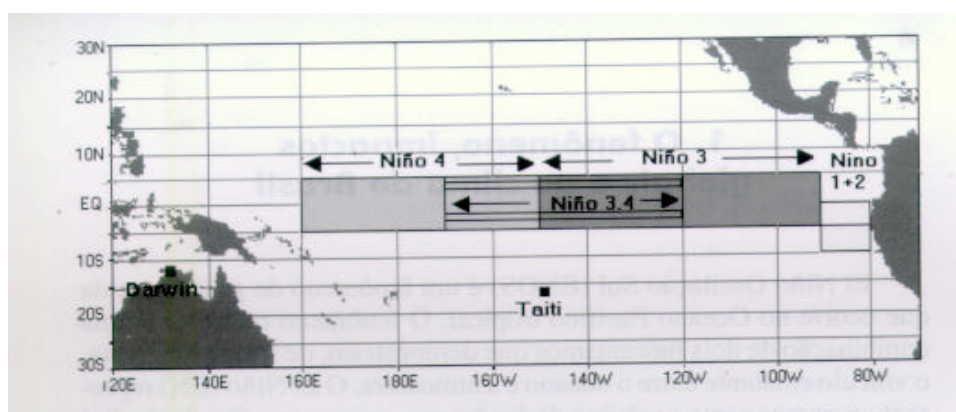


FIGURA 2.3 - Regiões dos Índices Niño no Oceano Pacífico Equatorial e as localidades de Taiti e Darwin.

Fonte: Berlato e Fontana (2003).

A componente atmosférica, OS, expressa uma relação inversa existente entre a PNM nos extremos Leste e Oeste do Oceano Pacífico Equatorial. Esta relação foi estabelecida

por Walker nos anos 20 e conhecida como “gangorra barométrica”. O IOS utilizado no monitoramento deste componente é definido como a diferença entre os desvios normalizados da PNM entre as regiões do Oceano Pacífico: Taiti, na Polinésia Francesa (17,5°S; 149,6°W), e Darwin, no norte da Austrália (12,4°S; 130,9°W) (Wright, 1984) (FIGURA 2.3).

Hanley *et al.* (2003) numa avaliação comparativa da sensibilidade dos vários índices mais comumente utilizados para caracterizar os eventos ENOS para as mais diversas aplicações concluíram que a resposta e a sensibilidade dos índices baseados em TSM e PNM são comparáveis e a escolha do índice depende da fase do evento considerada: o índice JMA (calculado pelas ATSM médias mensais na região compreendida entre as latitudes 4°N e 4°S e longitudes 150°W e 90°W) é mais sensível aos eventos La Niña do que os outros índices; os índices de OS, Nino 3.4 (lat. 5°N a 5°S e long. 170°W a 120°W) e Nino 4 (lat. 5°N a 5°S e long. 160°W a 150°W) são igualmente sensíveis aos eventos de El Niño e melhores para caracterizá-los do que os outros (JMA, Nino 1.2 e Nino 3); o índice MEI, proposto por Wolter e Timlin (1983), citados por Hanley *et al.* (2003) (computado pela primeira Componente Principal conjunta dos campos bimensais de PNM, componentes zonal e meridional do vento, TSM, temperatura do ar e cobertura de nuvens sobre o Pacífico Tropical), teve uma performance razoável nos 43 anos de verificação, mas apresentou uma tendência de superestimar os eventos de ENOS.

No início dos anos 60, Jacob Bjerknes citado por Berlato e Fontana (2003) estabeleceu uma relação entre o El Niño e a OS, demonstrando que a atmosfera atua mecanicamente sobre a superfície do oceano, causando diferenças de TSM no mesmo, as quais por sua vez, causam mudanças nos campos de PNM e ventos. Esse conhecimento representou um grande avanço no entendimento do fenômeno ENOS, permitindo o desenvolvimento dos chamados modelos acoplados oceano-atmosfera.

O fenômeno ENOS faz parte de uma variação irregular em torno das condições normais do oceano e da atmosfera na região do Oceano Pacífico Tropical. Um extremo dessa

variação é representado pelas condições do El Niño, quando se verifica um aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da PNM no Pacífico leste e aumento no Pacífico Oeste (também denominada fase quente ou fase negativa). O outro extremo da variação é chamado La Niña, quando ocorre um resfriamento das águas e aumento na PNM na região leste do Pacífico (também denominada fase fria ou fase positiva). Ou seja, nos casos de El Niño, os IOS são negativos e as ATSM do Pacífico Equatorial Leste são positivas (quentes). E nos casos de La Niñas, os IOS são positivos e as anomalias de TSM são negativas (frias) nesta mesma região.

Em condições normais (FIGURA 2.4-a) os ventos alísios auxiliam no transporte da água quente superficial para oeste determinando um aumento no nível do mar e uma grande diferença de temperatura entre as águas do Pacífico Oeste (próximo à Indonésia) e Leste (próximo à costa do Peru). A termoclina (fronteira entre a água quente superficial e a água fria do fundo) apresenta inclinação para oeste (próximo à Indonésia), ou seja, aproxima-se da superfície à leste (costa do Peru). Sobre as águas quentes na Indonésia o ar é mais quente e úmido, devido a grande evaporação local (baixa pressão atmosférica). Essas condições são favoráveis para a formação de nuvens e precipitação. Na faixa tropical, o ar que sobe no Pacífico Oeste tende a descer sobre as águas frias do Oceano Pacífico Leste (alta pressão atmosférica, ausência de nuvens e precipitação), definindo a Célula da Circulação de Walker (CCW) (Berlato e Fontana, 2003).

Em condições de El Niño (FIGURA 2.4-b) os ventos alísios enfraquecem, podendo até mesmo inverter o sentido, passando a soprar de oeste. Com isso diminui o acúmulo de água quente no Oceano Pacífico Oeste, e a diferença de temperatura entre leste e oeste. A termoclina assume menor inclinação, sendo mais profunda do que o normal no Pacífico leste e mais rasa do que o normal no Oceano Pacífico Oeste. O ar que, em condições normais, ascende no Oceano Pacífico Oeste, passa a ascender no Oceano Pacífico Central e subsidir no Oceano Pacífico Leste e norte da América do Sul, diminuindo as chuvas nessas regiões. Em condições de La Niña (FIGURA 2.4-c) há um fortalecimento das condições normais do oceano e da atmosfera na região do Oceano Pacífico (Berlato e Fontana, 2003).

Segundo Kousky *et al.* (1984) o déficit de precipitação no Nordeste durante eventos de El Niño é devido ao aumento da subsidência atmosférica sobre o Norte da América do Sul, associado com o deslocamento para leste da CCW sobre o Oceano Pacífico. De acordo com Kayano *et al.* (1988), a combinação da fase negativa da OS, com TSM altas no Oceano Pacífico Equatorial Leste, intensifica a CCW, deslocando o ramo descendente oeste-leste para a região sobre o NEB, inibindo a convecção nesta área.

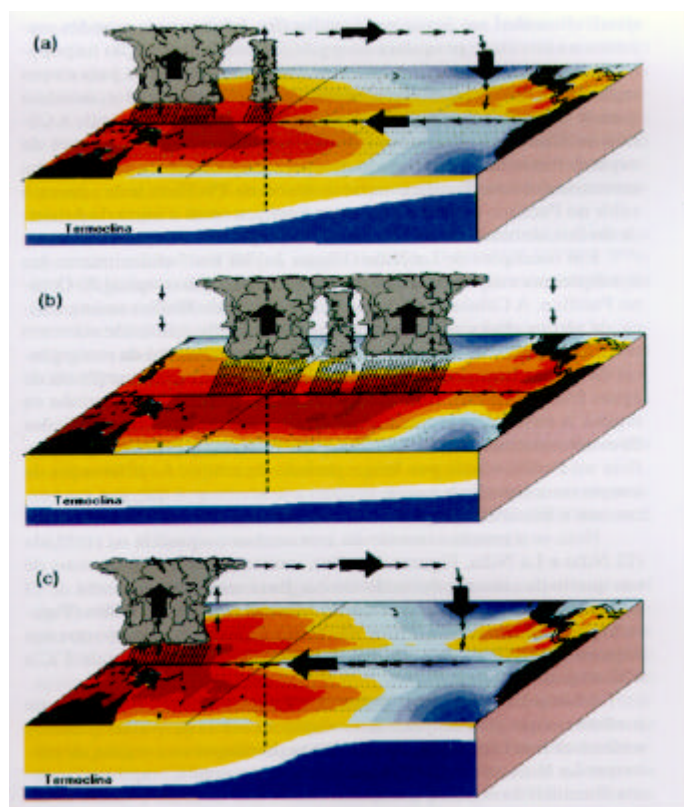


FIGURA 2.4 - Condições oceânicas e atmosféricas no oceano Pacífico Tropical no final da Primavera e início do Verão do Hemisfério Sul em situação normal (a), El Niño (b) e La Niña (c).

Fonte: Berlato e Fontana, 2003.

Hastenrath *et al.* (1976) constatou que durante a fase quente do ENOS ou IOS negativo, a Alta subtropical está associada com o enfraquecimento da circulação no campo dos alísios no ATLTN e ATLTS. Estas condições são acompanhadas por ATSM positivas

no Pacífico Equatorial e seca sobre o Norte da América do Sul, demonstrando que o ENOS influencia o ATLT através da atmosfera pelo enfraquecimento da CCW.

A variabilidade de TSM no Atlântico Tropical está correlacionada com o ENOS em várias regiões, sendo o Nordeste do Atlântico Norte a mais significativa (Enfield e Mayer, 1997). Giannini *et al.* (2001) e Melice e Servain (2003) também mostram que a correlação entre as ATSM do ATLTN e ENOS é bastante significativa. Basicamente, eventos interanuais quentes (frios) de TSM no Pacífico Equatorial estão associados com ATSM quentes (frias) no ATLTN, 3-5 meses após.

A influência do ENOS no ATLT é observada durante a Primavera Boreal (março-maio) (Enfield e Mayer, 1997; Saravanan e Chang, 2000) associada com anomalias na CCW. O ENOS contribui de forma significativa para a correlação entre a estrutura de dipolo de ATSM do ATLT e a precipitação no Norte do NEB, e as anomalias de fluxo de calor em superfície sobre o ATLT, causadas por mudanças na velocidade dos ventos e na diferença de temperatura entre atmosfera-oceano (Saravanan e Chang, 2000).

Moura e Shukla (1981) mostraram que alguns anos de seca nesta região podem estar associados a um dipolo meridional de ATSM no ATLT. Eles sugeriram que as condições dinâmicas e termodinâmicas associadas a este dipolo interferem de forma sensível na posição e na intensidade da ITCZ, que por sua vez influencia a precipitação do NEB. Quando a TSM está acima da média climatológica no ATLTN e abaixo desta média no ATLTS, a ZCIT encontra-se mais ao norte da sua posição climatológica e com esta configuração, o ramo descendente da CCW intensifica-se, causando forte subsidência no NEB, reduzindo a precipitação nesta região.

O papel das TSM sobre o ATLT durante episódios extremos de ENOS foi investigado através de simulações com um modelo de circulação geral da atmosfera, por Pezzi e Cavalcanti (2001). Eles observaram que em condições de El Niño sobre o Oceano Pacífico e dipolo positivo (TSM mais alta que o normal no ATLTN e abaixo do normal

no ATLTS), são observadas condições de seca sobre o NEB. Por outro lado, na presença de dipolo negativo (TSM mais baixa que o normal no ATLTN e acima do normal no ATLTS), ocorre precipitação acima da média no Norte do NEB. 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 a região.

O estado do Atlântico Tropical durante o qual o ENOS se desenvolve também pode condicionar a evolução de sua conexão com precipitações no NEB (Giannini et al., 2004). Quando o ENOS na sua fase inicial ocorre concomitantemente com um gradiente meridional de TSM consistente com os eventos El Niño/La Niña (ATSM no ATLTN + / - e ATLTS - / +), as anomalias de precipitação no NEB são mais significativas. Mas se as ATSM estão contrárias, as anomalias de precipitação podem ser limitadas ou até mesmo revertidas.

Diversos estudos observacionais e de modelagem têm questionado a existência do padrão do tipo dipolo de ATSM no ATLT (Houghton e Tourre, 1992; Enfield, 1996; Enfield e Mayer, 1997; Dommenges e Latif, 2000). Estes estudos dão ênfase ao fato de que a correlação observada entre as ATSM ao Norte e Sul do Equador não é fortemente significativa como deveria ser numa configuração dipolo. Para caracterizar um dipolo há necessidade de existir uma anticorrelação das variáveis entre os dois hemisférios e haver uma resposta atmosférica ao gradiente inter-hemisférico de ATSM. 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).

Hastenrath e Heller (1977) constataram um aumento (decréscimo) nas precipitações no NEB associado com os padrões negativos (positivos) de TSM no Oceano Pacífico (aparentemente simétrico) associado a um deslocamento para o Sul (Norte) do cavado

próximo ao Equador, resultados consistentes com as correlações entre as precipitações bimensais e IOS obtidas por Aceituno (1988).

Ropelewski e Halpert (1989) verificaram usando análise de compostos que durante a fase fria do ENOS (La Niña) houve uma tendência de aumento nas precipitações no Nordeste da América do Sul, de junho a março em 13 dos 17 casos analisados. Além disso, esta região apresentou uma das mais consistentes relações ENOS-precipitações.

Rao e Hada (1990) utilizando uma série temporal de 21 anos (1958-1978) constataram uma baixa correlação entre e IOS e as precipitações em boa parte do Brasil, salvo em algumas regiões ao norte da Amazônia e norte do NEB com valores iguais ou superiores a 0,6, significativo a 90%.

Kane (1997) utilizando a série temporal de precipitação em Fortaleza, Ceará, (1850-1992), verificou que para os 46 eventos de El Niño fortes e moderados observados neste período, apenas 21 estiveram associados com secas, concluindo que não é confiável estabelecer uma ligação direta entre eventos de El Niño e secas, pois apenas 45% dos casos são correlacionados, enquanto a maioria (55%) não. Em contraste, Kane (2000) notou que eventos de El Niño que se iniciavam nos meses da pré-estação chuvosa, estavam associados a significativos déficits de precipitação em 9 dos 11 eventos considerados.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Os dados utilizados serão os totais mensais de precipitação de Dezembro de 1949 a Novembro de 2000 para 28 estações distribuídas pelos estados do NEB (Figura 3.1); Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Ceará e Maranhão, com exceção, o estado do Piauí, onde não se dispõem de séries longas (FIGURA 3.1). Os dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (APÊNDICE A). Como o Noroeste do NEB é representado por apenas duas estações a análise ficará comprometida nesta região.

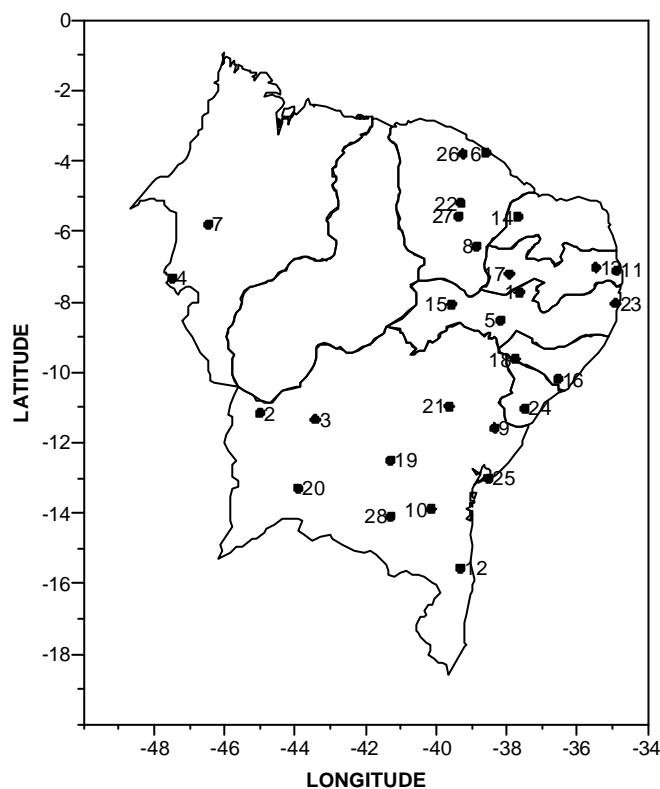


FIGURA 3.1 – Distribuição geográfica das 28 estações sobre o NEB.

Para cada uma das 28 estações foram construídas 8 séries temporais trimestrais, com os meses agrupados segundo as estações do ano (DJF, MAM, JJA, SON) e o calendário (JFM, AMJ, JAS, OND). Estas séries trimestrais foram normalizadas pela média e desvio padrão, ordenadas e subdivididas em 3 categorias equiprováveis: abaixo, quase e acima da normal (tercis).

O mesmo procedimento foi adotado para os Índices de TSM do ATLTN (lat. 5,5°N a 23,5°N e lon. 15°W a 57,5°W) e Sul (lat. 0° a 20°S e lon. 10°W a 30°W) do Climate Prediction Center (CPC /NOAA).

A região de TSM do Pacífico Equatorial considerada como representativa da intensidade dos eventos ENOS será a Niño 3.4, por possuir temperaturas médias superiores à região Niño 3, estar próxima às piscinas quentes e principais centros de convecção do Pacífico Equatorial. Além disso, é o índice mais difundido operacionalmente para fins de monitoramento e previsão dos eventos de ENOS e suas teleconexões (Trenberth, 1997).

Os 5, 8 e 11 eventos sazonais mais quentes de El Niño e mais frios de La Niña no período considerado foram obtidos a partir das médias das anomalias trimestrais sazonais das TSM de Kaplan *et al.* (2000) na região Niño 3.4.

O impacto histórico dos eventos de El Niño e La Niña nas precipitações do NEB e nas TSM do ATLTN e ATLTS foram estimados pelo número de vezes que as precipitações e TSM sazonais estiverem nos tercís climatológicos inferior, médio e superior durante os 5, 8 e 11 eventos extremos de ENOS, simultaneamente e com defasagem de 1 a 3 meses (além de 6 meses para as TSM).

A avaliação do número de vezes que as anomalias de precipitação e TSM observadas durante eventos extremos de ENOS estiveram em cada um dos tercís considerados, foi feita usando Tabelas de Contingência 3x2 (Tabela 3.1). Nesta tabela, **n** é o total de anos

(51), **a** os anos chuvosos (17), **b** anos secos (17), nos **r** eventos (5, 8, 11) mais fortes de El Niño ou La Niña, **y** e **x**, respectivamente o número de casos de El Niño/Seco ou La Niña/Chuvoso (Sansigolo, 2005).

TABELA 3.1 - Tabela de contingência 3x2 utilizada para verificar um sistema de previsão binário.

Categorias	La Niña/El Niño		
	Sim	Não	Total
Abaixo	y	b-y	b
Quase Normal	r-x-y	n-r-b-a+x+y	n-b-a
Acima	x	a-x	a
Total	r	n-r	n

A probabilidade P(x) de **x** (**y**) ou mais anos chuvosos (secos) numa amostra de **r** anos de El Niño (La Niña) é equivalente à área do limite superior da distribuição hipergeométrica (Agresti, 1996):

$$P(X \geq x) = \sum_{k=x}^{\min(r,a)} C_a^k \frac{C_{n-a}^{r-k}}{C_n^r} \quad (1)$$

na qual $C_n^x = \binom{n}{x} = \frac{n!}{[x!(n-x)!]}$

A distribuição hipergeométrica será usada para testar a 90% de significância as relações sazonais El Niño/Precipitações abaixo das normais e La Niña/Precipitações acima das normais nas 28 estações pluviométricas consideradas, assim como as relações El Niño/La Niña x ATLTN (+) /ATLTN (-) e El Niño/La Niña x ATLTS (-) /ATLTS (+).

As funções de densidade de probabilidade P(x) para as distribuições Hipergeométricas, usadas para testar o número de casos significativos (X) numa amostra de $r = 5, 8$ e 11 elementos retirados de uma população de tamanho $n = 51$, com $1/3$ dos casos abaixo das

normais, 1/3 quase normais e 1/3 acima das normais ($a = b = c = 17$), encontram-se na TABELA 3.2.

TABELA 3.2 – Densidades de probabilidade acumulada para a distribuição hipergeométrica considerando uma amostra de 51 valores com 3 categorias equiprováveis.

Densidade de Probabilidade Acumulada P(%)			
X*	r = 5	r = 8	r = 11
0	11,85	2,85	0,6
1	45,41	17,21	5,28
2	80,05	45,94	20,26
3	96,29	75,65	46,18
4	99,74	92,99	73,07
5	100	98,8	90,54
6		99,89	97,77
7		99,996	99,66
8		100	99,97
9			99,999
10			99,99999
11			100

* X é o número de casos favoráveis em 5, 8 e 11 e os valores assinalados os limites significativos a 90 %.

O teste de significância definido por esta equação é conhecido como teste exato de Fisher, pois considera todas as combinações possíveis que resultam nas mesmas frequências marginais. Para $n = 51$, $a = 17$ e $r = 8$, no mínimo 5 casos devem ser observados para ser significativo ao nível de 90% de probabilidade, 6 ao nível de 95% e 7 ou mais a 99%. Devido à forma discreta da distribuição hipergeométrica, valores de $P(X)$ tornam-se altamente assimétricos para amostras pequenas, quando estes testes são bastante conservadores.

Quando testes de significância são aplicados para diferentes estações ou pontos no espaço, o nível de significância deve ser ajustado para levar em conta a multiplicidade. Se os testes não são independentes, devido à correlação espacial, por exemplo, é necessária uma re-amostragem usando métodos de Monte Carlo (Wilks, 1995). Testes

de significância espacial não foram feitos, pois o objetivo deste trabalho foi verificar a significância local do sinal ENOS-precipitação e não demonstrar que o sinal existe. Problemas de multiplicidade ocorrerão nas estimativas da extensão espacial do sinal, mas podem ser contornados considerando somente as áreas nas quais precipitação acima ou abaixo das normais ocorrem 6 ou mais vezes nos 8 eventos de El Niño e La Niña, correspondente a um nível de significância mais alto, de 95%.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Características dos Eventos ENOS

Nas TABELAS 4.1 e 4.2 encontram-se, respectivamente, em ordem decrescente de magnitude as anomalias sazonais de TSM na região Niño 3.4, assim como seus desvios normalizados, para os 11 eventos sazonais mais intensos de La Niña e El Niño entre 1949/50 e 2000, obtidos como descrito no Capítulo 3.

TABELA 4.1 - Índices Niño 3.4 sazonais para os 11 eventos mais intensos de La Niña entre 1949/50 e 2000.

dez-jan-fev ($\sigma=1,04^{\circ}\text{C}$)			mar-abr-mai ($\sigma=0,65^{\circ}\text{C}$)			jun-jul-ago ($\sigma=0,68^{\circ}\text{C}$)			set-out-nov ($\sigma=0,93^{\circ}\text{C}$)		
ANO	ATSM	* s _u	ANO	ATSM	s _u	ANO	ATSM	s _u	ANO	ATSM	s _u
1973/74	-1,96	1,88	1974	-0,94	1,45	1988	-1,28	1,88	1973	-1,78	1,91
1988/89	-1,70	1,63	1971	-0,89	1,37	1973	-1,17	1,72	1988	-1,47	1,58
1975/76	-1,58	1,52	1989	-0,81	1,25	1975	-1,06	1,56	1975	-1,27	1,37
1970/71	-1,47	1,41	1975	-0,67	1,03	1970	-0,74	1,09	1955	-1,17	1,26
1984/85	-1,03	0,99	1985	-0,59	0,91	1964	-0,71	1,04	1970	-1,02	1,10
1955/56	-0,94	0,90	1956	-0,56	0,86	1956	-0,57	0,84	1964	-0,93	1,00
1995/96	-0,75	0,72	1955	-0,46	0,71	1974	-0,53	0,78	1971	-0,80	0,86
1964/65	-0,71	0,68	1968	-0,46	0,71	1971	-0,50	0,74	1998	-0,80	0,86
1971/72	-0,59	0,57	1967	-0,42	0,65	1955	-0,48	0,71	1956	-0,66	0,71
1954/55	-0,54	0,52	1964	-0,4	0,62	1954	-0,44	0,65	1974	-0,62	0,67
1962/66	-0,44	0,42	1976	-0,38	0,58	1998	-0,44	0,65	1954	-0,57	0,61
méd.5	-1,55	1,49	méd.5	-0,78	1,20	méd.5	-0,99	1,6	méd.5	-1,34	1,44
méd.8	-1,27	1,22	méd.8	-0,67	1,03	méd.8	-0,82	1,21	méd.8	-1,16	1,25
méd.11	-1,06	1,02	méd.11	-0,60	0,92	méd.11	-0,72	1,06	méd.11	-1,01	1,09

*|s|_u = ATSM/*S* (desvios normalizados).

TABELA 4.2 - Índices Niño 3.4 sazonais para os 11 eventos mais intensos de El Niño entre 1949/50 e 2000.

dez-jan-fev ($\sigma=1,04^{\circ}\text{C}$)			mar-abr-mai ($\sigma=0,65^{\circ}\text{C}$)			jun-jul-ago ($\sigma=0,68^{\circ}\text{C}$)			set-out-nov ($\sigma=0,93^{\circ}\text{C}$)		
ANO	ATSM	$ s _u$	ANO	ATSM	$ s _u$	ANO	ATSM	$ s _u$	ANO	ATSM	$ s _u$
1982/83	2,62	2,52	1992	1,58	2,43	1997	1,78	2,62	1997	2,47	2,66
1997/98	2,5	2,40	1983	1,56	2,40	1987	1,62	2,38	1982	1,91	2,05
1957/58	1,41	1,36	1987	1,26	1,94	1982	1,16	1,71	1972	1,82	1,96
1991/92	1,8	1,73	1998	1,26	1,94	1972	1,02	1,50	1987	1,67	1,80
1972/73	1,66	1,60	1993	0,97	1,49	1965	1,00	1,47	1965	1,63	1,75
1965/66	1,32	1,27	1958	0,79	1,22	1991	,89	1,31	1986	1,09	1,17
1986/87	1,32	1,27	1966	0,63	0,97	1963	0,85	1,25	1963	1,06	1,14
1968/69	1,06	1,02	1969	0,55	0,85	1957	0,74	1,09	1991	1,03	1,11
1994/95	1,02	0,98	1957	0,52	0,80	1992	0,65	0,96	1994	0,96	1,03
1969/70	0,9	0,87	1991	0,46	0,71	1994	0,51	0,75	1957	0,87	0,94
1963/64	0,84	0,81	1953	0,34	0,52	1958	0,42	0,62	1976	0,86	0,92
méd.5	2,00	1,92	méd.5	1,33	2,05	méd.5	1,32	1,94	méd.5	1,90	2,04
méd.8	1,71	1,64	méd.8	1,08	1,66	méd.8	1,13	1,66	méd.8	1,59	1,71
méd.11	1,50	1,44	méd.11	0,90	1,39	méd.11	0,97	1,43	méd.11	1,40	1,51

Verifica-se na TABELA 4.1 um enfraquecimento substancial das ATSM na região Niño 3.4 após a fase madura do evento, que variaram em média de $-1,06^{\circ}\text{C}$ em DJF a $-0,6^{\circ}\text{C}$ em MAM, considerando os 11 casos mais intensos de La Nina, apesar das anomalias normalizadas $|s|_u$, que variaram de $\sim 1,43|s|_u$ no caso das 5 La Ninas mais intensos a $\sim 1|s|_u$ no caso das 11 mais intensas, não terem diferido significativamente nos 4 trimestres.

Comportamento similar é notado em caso dos eventos de El Niño, nos quais as ATSM médias dos 11 casos mais intensos de DJF ($1,5^{\circ}\text{C}$) decaíram para $0,9^{\circ}\text{C}$ em MAM, apesar das anomalias padronizadas permanecerem aproximadamente constantes, variando de $\sim 2|s|_u$ no caso dos 5 El Niños mais intensos a $\sim 1,45|s|_u$ no caso dos 11 mais intensos.

Na FIGURA 4.1 encontram-se as evoluções mensais dos índices Niño 3.4 para os 5 eventos extremos de El Niño e La Niña entre 1949/50 e 2000.

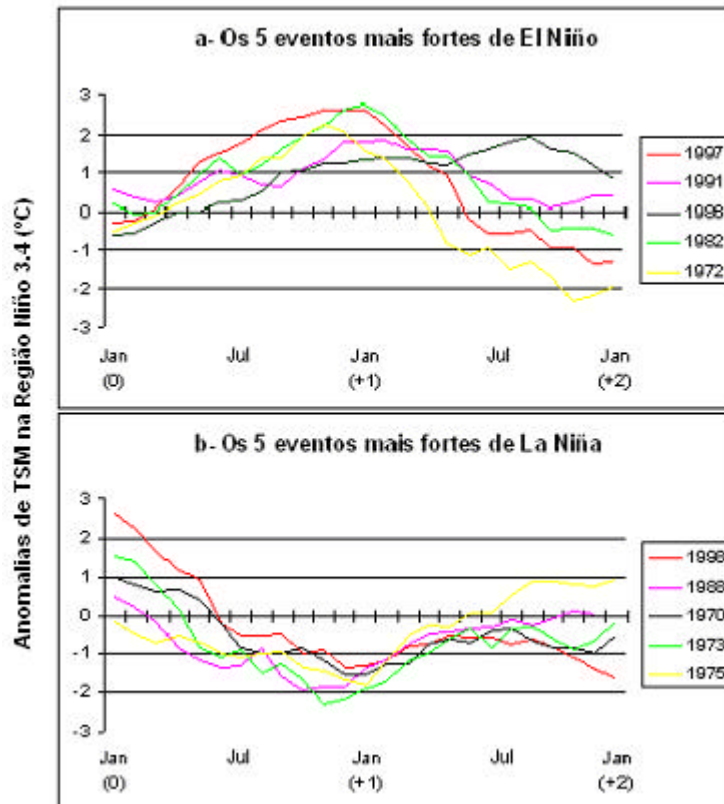


FIGURA 4.1 – Evolução mensal dos índices Niño 3.4 para os 5 eventos extremos de EL Niño e La Niña entre 1940/50 e 2000.

Eventos de El Niño e La Niña desenvolvem-se tipicamente entre Abril e Junho, embora existam variações consideráveis entre eles. Os maiores valores (positivos e negativos) do Índice Niño 3.4 tendem a ocorrer entre Dezembro e Fevereiro (fase madura). A duração dos eventos pode variar substancialmente de 7 a 20 meses (Trenberth, 1997).

4.2 - Impacto do ENOS nas Anomalias de TSM do Atlântico Tropical Norte e Sul

O número de ocorrências simultâneas e defasadas de 1,3 e 6 meses de ATSM abaixo e acima das normais nos oceanos Atlântico Tropical Norte e Sul durante os 11 eventos extremos de La Niña e El Niño entre 1949/50 e 2000, encontram-se respectivamente nas TABELAS 4.3 e 4.4.

TABELA 4.3 - Número de ocorrências de ATSM abaixo das normais no ATLTN e acima das normais no ATLTS durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.

Niña/ATLTN(-)	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)	MAM (+1)
DJF	7	7	6	-	6	-	-	-	-	-
MAM	-	-	6	6	5	-	7	-	-	-
JJA	-	-	-	-	5	5	7	-	8	-
SON	-	-	-	-	-	-	7	6	6	8
Niña/ATLTS(+)	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)	MAM (+1)
DJF	4	4	2	-	6	-	-	-	-	-
MAM	-	-	2	3	4	-	3	-	-	-
JJA	-	-	-	-	4	4	3	-	2	-
SON	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3

* São significativos a 90% de probabilidade os valores iguais ou superiores a 6 (hachurados).

** (0) ano atual, (+1) ano posterior.

TABELA 4.4 - Número de ocorrências de ATSM acima das normais no ATLTN e abaixo das normais no ATLTS durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.

Niño/ATLTN(+)	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)	MAM (+1)
DJF	4	5	7	-	7	-	-	-	-	-
MAM	-	-	7	7	3	-	7	-	-	-
JJA	-	-	-	-	3	3	4	-	4	-
SON	-	-	-	-	-	-	4	4	5	7
Niño/ATLTS(-)	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)	MAM (+1)
DJF	3	4	3	-	6	-	-	-	-	-
MAM	-	-	3	4	5	-	5	-	-	-
JJA	-	-	-	-	5	6	5	-	3	-
SON	-	-	-	-	-	-	5	3	3	2

Verifica-se na TABELA 4.3 que La Niñas em SON (fase de desenvolvimento do evento) e em DJF (fase madura do evento), estão significativamente associadas ao nível de 90% de probabilidade, segundo o teste baseado na distribuição hipergeométrica, com ATSM abaixo das normais, simultaneamente e com defasagem de 1,3 e 6 meses.

La Niñas em MAM e JJA (fase inicial do evento), estão respectivamente associadas com ATSM abaixo das normais, simultaneamente e defasadas de 1 e 6 meses.

Apesar do substancial enfraquecimento das anomalias médias na região Niño 3.4 entre DJF e MAM, ainda persistem seus efeitos nas ATSM do ATLTN. Como as diferenças nas anomalias normalizadas nestes mesmos períodos é negligível, conclui-se que a atmosfera deve permanecer altamente sensível ao enfraquecimento do evento após sua fase madura.

O impacto dos eventos La Niña no ATLTN se dá durante todas as suas fases (4 trimestres), é mais consistente na fase de desenvolvimento (SON) e na fase madura (DJF) e se estende por até 6 meses. Por outro lado, impacto de La Niña no ATLTS é restrito a ocorrência em DJF significativamente associadas com ATSM acima das normais em JJA (defasadas de 6 meses).

Comparando as TABELAS 4.3 e 4.4 verifica-se que os eventos de La Niña têm um impacto significativo nas ATSM do ATLTN, muito mais longo e em todas suas fases quando comparado aos eventos de El Niño, cujos impactos significativos associados a ATSM acima das normais no ATLTN só foram constatados em DJF, com defasagem de 3 e 6 meses, em MAM simultâneo e com defasagem de 1 mês e em SON com defasagem de 6 meses. Em relação à influência dos El Niños no ATLTS os únicos 2 casos significativos foram suas ocorrências em DJF e JJA, respectivamente associados a ATSM abaixo das normais em JJA (defasadas de 6 meses) e em JAS (defasada de 1 mês).

Estes resultados, obtidos utilizando uma metodologia mais robusta, que não faz nenhuma hipótese sobre as distribuições de probabilidade das variáveis, confirmam os resultados de Enfield e Mayer (1997), Saravanan e Chang (2000), Mélice e Servain (2003), relacionados a influência simétrica defasadas de 3-5 meses do ENOS nas anomalias de TSM no ATLTN, pelas variações na CCW e/ou no padrão de teleconexão em altas latitudes do Pacífico com ATLTN.

4.3 - Impacto do ENOS nas Anomalias de Precipitação do NEB

A porcentagem das 28 estações distribuídas pela região Nordeste do Brasil com precipitações acima e abaixo das normais climatológicas (33%) das 28 estações distribuídas pelo NEB durante os 11 eventos extremos de La Niña e El Niño respectivamente, entre 1949/50 e 2000, encontram-se nas TABELAS 4.5 e 4.6.

TABELA 4.5 - Porcentagem de estações com precipitações acima / abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000.

Niña/Prec	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)
DJF	31 / 32	30 / 39	37 / 27	-	-	-	-	-	-
MAM	-	-	47 / 20	49 / 20	42 / 27	-	-	-	-
JJA	-	-	-	-	44 / 27	41 / 28	46 / 28	-	-
SON	-	-	-	-	-	-	46 / 28	36 / 26	25 / 38

* Os casos em negrito são significativamente superiores aos tercís climatológicos (33%).

TABELA 4.6 - Porcentagem de estações com precipitações abaixo / acima das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.

Niño/Prec	DJF (0)	JFM (0)	MAM (0)	AMJ (0)	JJA (0)	JAS (0)	SON (0)	OND (0)	DJF (+1)
DJF	26 / 40	29 / 41	45 / 30	-	-	-	-	-	-
MAM	-	-	54 / 20	50 / 18	42 / 27	-	-	-	-
JJA	-	-	-	-	39 / 30	47 / 19	46 / 18	-	-
SON	-	-	-	-	-	-	39 / 26	39 / 33	29 / 39

Verifica-se na TABELA 4.5 que eventos de La Niña em MAM e JJA, estão associadas com uma maior frequência (%) de estações com precipitações acima das normais na região, simultaneamente e com defasagem de 1 e 3 meses e em SON apenas para a relação simultânea.

Eventos de El Niño em DJF estão associados com uma maior frequência de estações abaixo das normais na região com defasagem de 3 meses. Em MAM e JJA estão associados com uma maior frequência de estações com precipitações abaixo das normais simultaneamente e com defasagem de 1 e 3 meses, em SON com precipitações abaixo das normais simultaneamente e com defasagem de 1 mês (TABELA 4.6).

4.3.1 - Impacto dos Eventos de La Niña nas Anomalias de Precipitação do NEB

Nas FIGURAS 4.3, 4.4 e 4.5 encontram-se, respectivamente, as frequências das ocorrências simultâneas e defasadas de 1 e 3 meses, das precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña ocorridas entre 1949/50 e 2000.

Analisando os 4 gráficos da FIGURA 4.3, referente as 4 estações do ano, verifica-se que o maior número de estações com precipitações acima das normais significativamente, ao nível de 90% de confiança, associadas simultaneamente aos eventos de La Niña é observado no Inverno (JJA), seguido da Primavera (SON). No Inverno a maioria das estações com precipitações significativamente associadas com La Niña se situa no Leste da região, final da estação chuvosa no Norte do NEB, período chuvoso no Leste do NEB e período seco no sul do NEB. Na Primavera a maioria das estações se situa no Sul do NEB, coincidindo com a pré-estação chuvosa na região. Simultaneamente, as La Niñas tem pouca relação com as precipitações do Outono e praticamente nenhuma com as precipitações do Verão.

La Niñas em JJA também têm maior impacto nas precipitações defasadas de 1 mês (JAS), seguidas das de MAM (fase de decréscimo do evento). No Inverno a região afetada e o número de estações significativamente associadas com La Niñas foram aproximadamente os mesmos que os simultâneos, e coincidindo com o final da estação chuvosa na região Leste do NEB (JAS). No Outono a região afetada também continua sendo a mesma da análise anterior, e o aumento no número de casos associados com La Niñas está associado à estação chuvosa no Norte e Leste do NEB (AMJ).

Novamente, são as La Niñas de JJA que têm um maior impacto nas precipitações defasadas de 3 meses (SON). A região afetada é a mesma dos casos anteriores (simultâneos e defasados de 1 mês), mas o número de estações é levemente inferior.

La Niñas nas suas fases maduras (DJF) afetam com 3 meses de defasagem, as precipitações de Outono (MAM) no Nordeste do NEB, período que coincide com a estação chuvosa nesta região. Estes resultados concordam com os de Enfield e Mayer (1997), Saravanan e Chang (2000), Melice e Servain (2003), mostrando que o impacto do ENOS no ATLTN é na Primavera Boreal, que coincide com a estação chuvosa no Nordeste do NEB (MAM) e que o ENOS contribui de forma significativa para a correlação entre a estrutura de dipolo no ATLT e as precipitações nesta região.

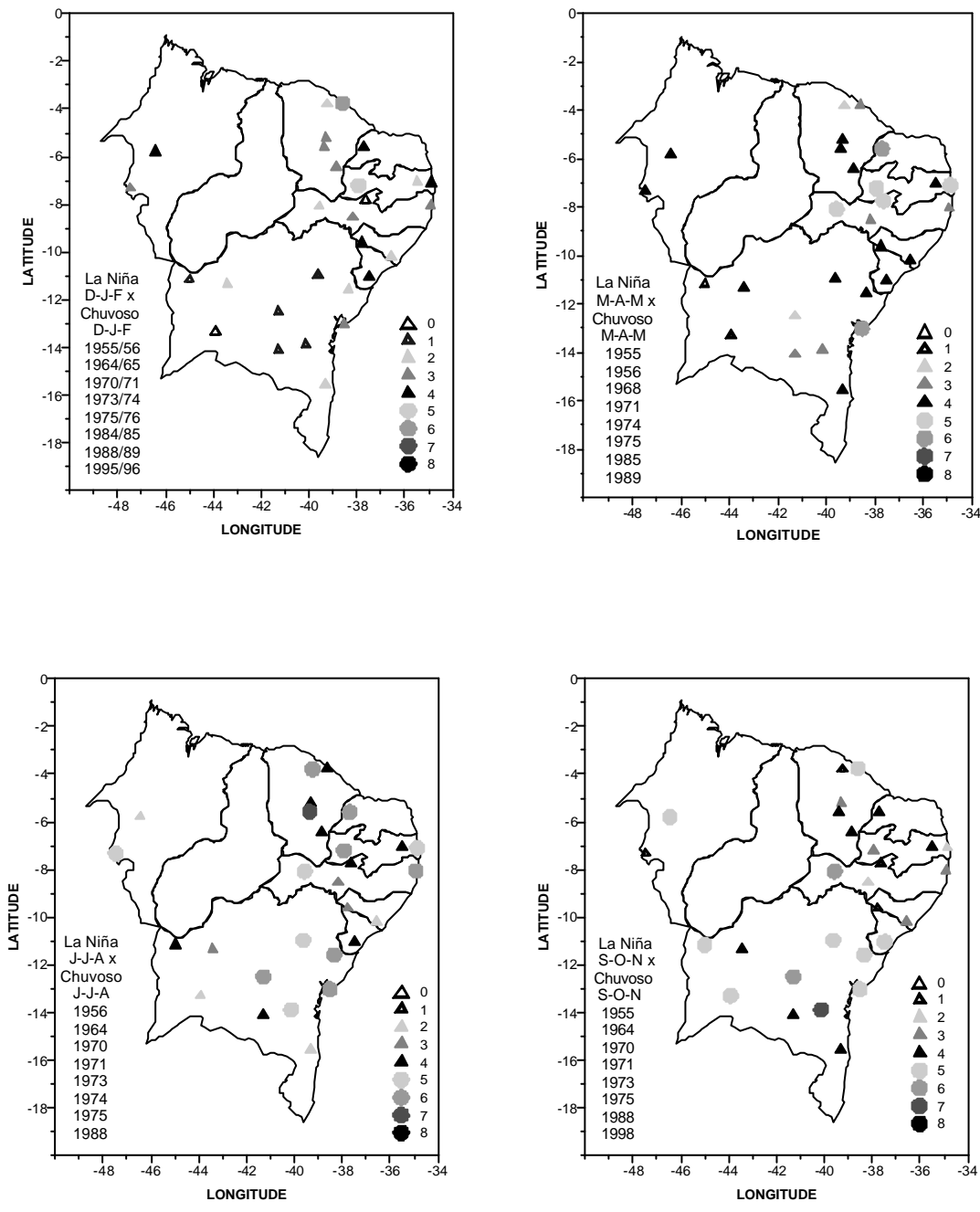


FIGURA 4.3 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

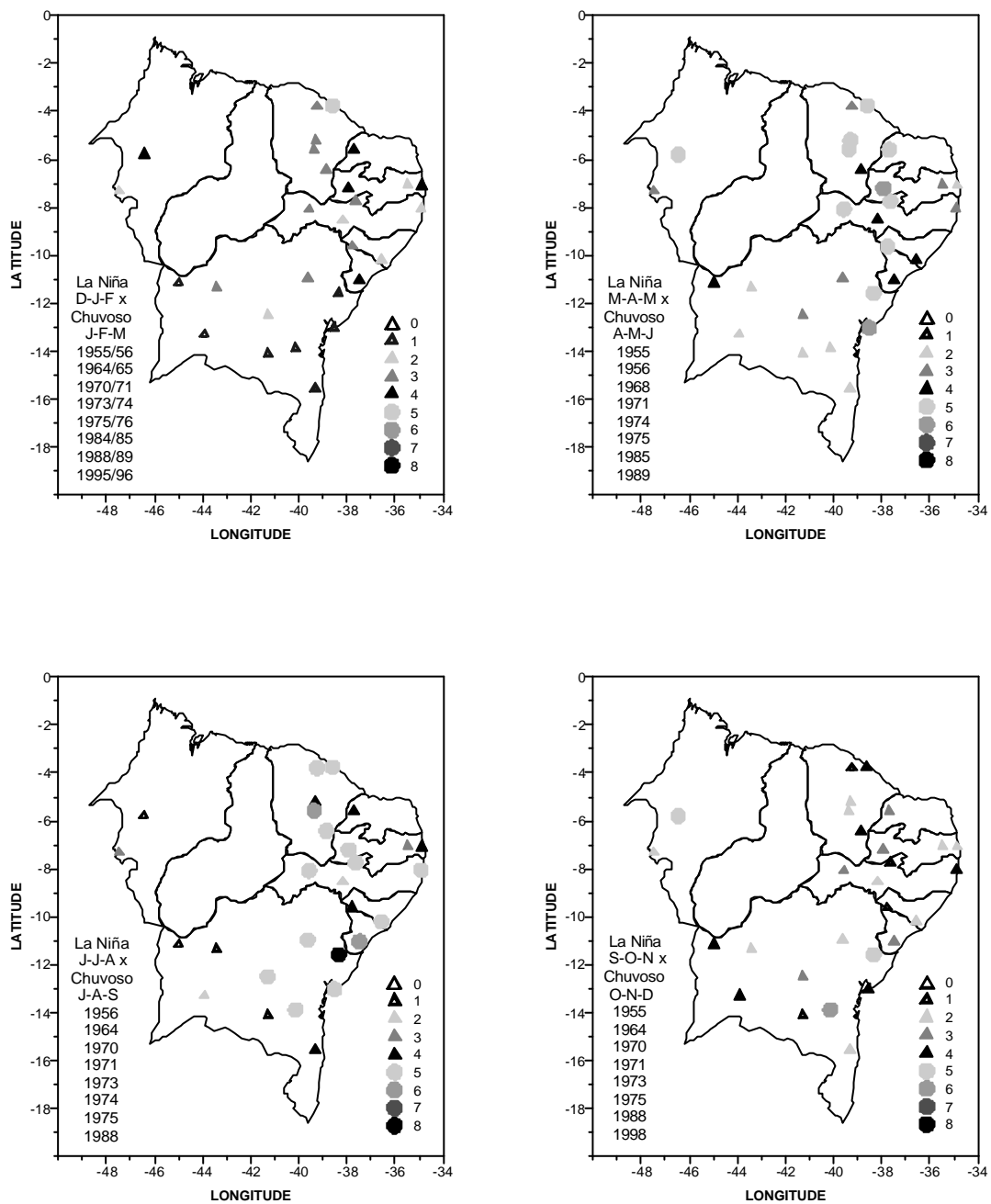


FIGURA 4.4 - Frequência das ocorrências defasadas de um mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

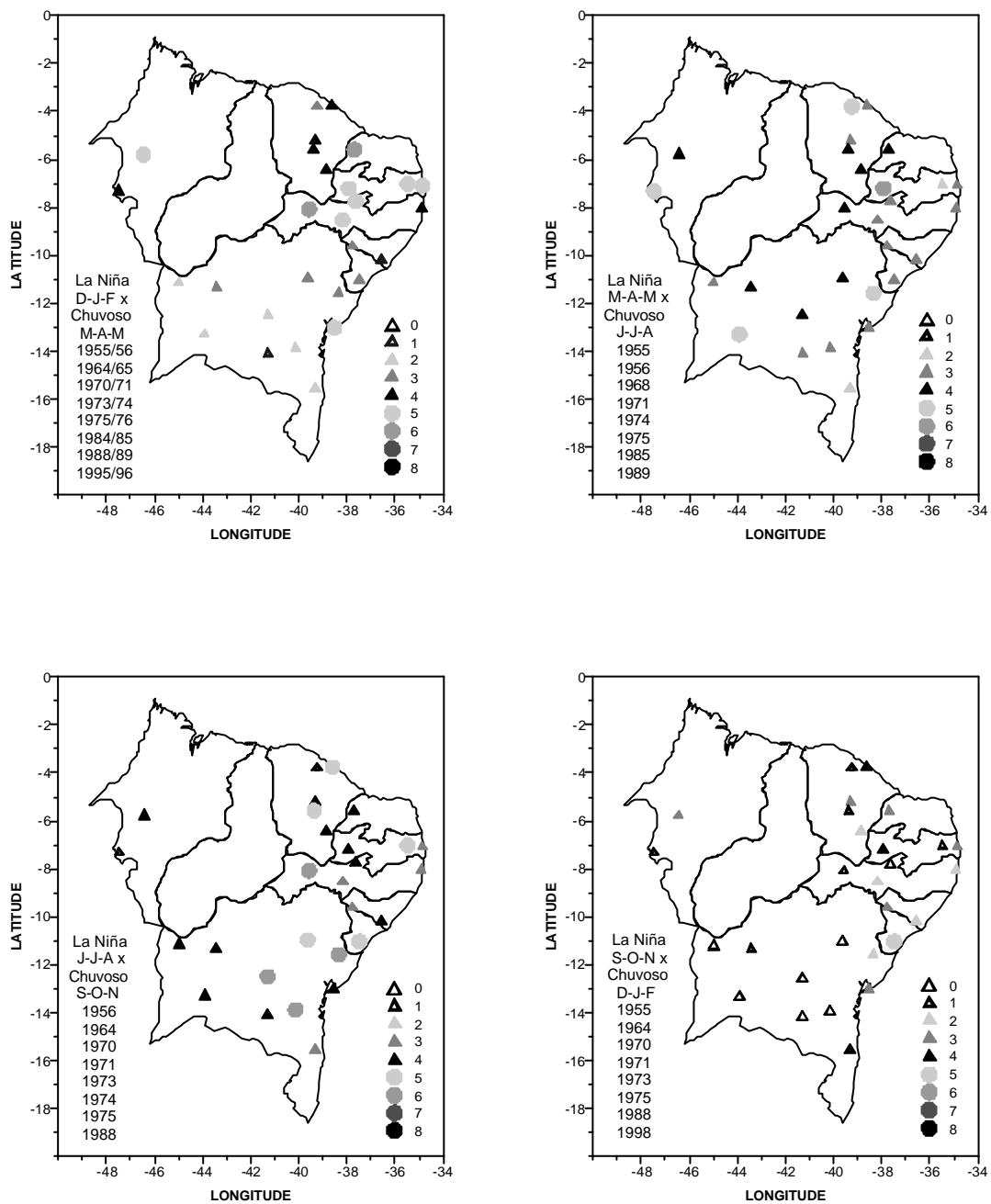


FIGURA 4.5 - Frequência das ocorrências defasadas de três meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

O impacto simultâneo dos eventos de La Niña nas precipitações (acima das normais) no NEB é maior no Inverno na região Leste e durante a Primavera no Sul da região. Esta relação defasada de 1 mês mostrou-se significativa em JAS no Leste e em AMJ no Nordeste do NEB. La Niñas em suas fases iniciais (JJA) estiveram associadas defasadas de 3 meses com precipitações acima das normais em SON no Leste e em MAM no Nordeste do NEB. Verifica-se que a influência dos eventos La Niña nas suas fases maduras no NEB não é só restrito à estação chuvosa no Nordeste da região (MAM), mas se estende por toda ela em diferentes épocas e com diferentes defasagens. Ressalta-se que eventos de La Niña nas suas fases maduras (DJF) estão significativamente associados com ATSM acima das normais no ATLTS com 6 meses de defasagem, em JJA (TABELA 4.3), período chuvoso no Leste do NEB.

A intensidade dos eventos verificada considerando-se os 5, 8 e 11 extremos, não influenciou na resposta categórica das precipitações. Os resultados para os 5 e 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000 encontram-se no APÊNDICE C (FIGURA C.1 à C.6).

4.3.2 - Impacto dos Eventos de El Niño nas Anomalias de Precipitação do NEB

Nas FIGURAS 4.6, 4.7 e 4.8 encontram-se respectivamente, as frequências das ocorrências simultâneas, defasadas de 1 e 3 meses, das precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000.

Analisando os 4 gráficos da FIGURA 4.6, referente as 4 estações do ano, verifica-se que o maior número de estações com precipitações abaixo das normais significativamente, ao nível de 90%, associadas simultaneamente aos eventos de El Niño é observado no Outono (MAM), durante sua fase de decréscimo. Estes eventos afetam praticamente todas estações na região, coincidindo com a estação chuvosa do Nordeste do NEB, pré-estação no Leste do NEB e período seco no Sul da região. Verifica-se também que, simultaneamente, os El Niños nas suas fases maduras não têm nenhum impacto simultâneo nas precipitações de Verão, período que coincide com a estação chuvosa no Sul da região. Já com defasagem de 1 mês (FIGURA 4.7), são os El Niños em JJA que têm maior impacto nas precipitações de praticamente toda região. Nota-se que os El Niños neste mesmo período já apresentavam seus efeitos nas precipitações, ao nível de 75 % de confiança. Também como no caso anterior, os El Niños de MAM têm um impacto significativo nas precipitações de toda região, defasados de 1 mês (AMJ).

Com defasagem de 3 meses (FIGURA 4.8) são os El Niños nas suas fases maduras (DJF) que têm maior impacto nas precipitações de MAM, predominando no Norte do NEB, estação chuvosa na região, coerentes com os resultados de Ward e Folland (1991) mostrando que a primeira Componente Principal das TSM do Pacífico, associada ao El Niño, é o principal precursor das precipitações nesta região. Estes resultados também concordam com os de Enfield e Mayer (1997), Saravanan e Chang (2000), Melice e Servain (2003). Os El Niños de JJA também têm impacto significativo nas precipitações de SON, período seco praticamente em quase toda região.

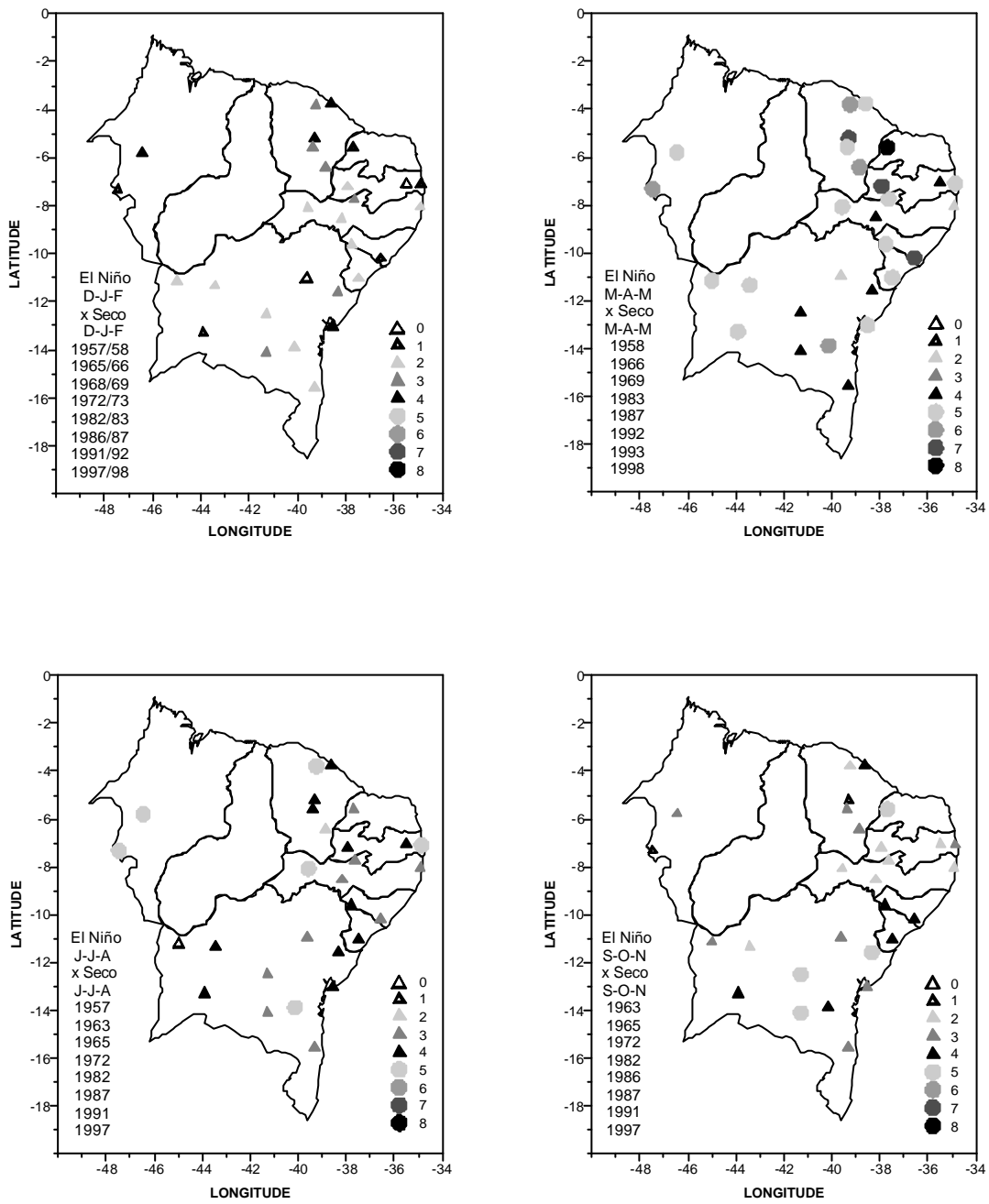


FIGURA 4.6 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

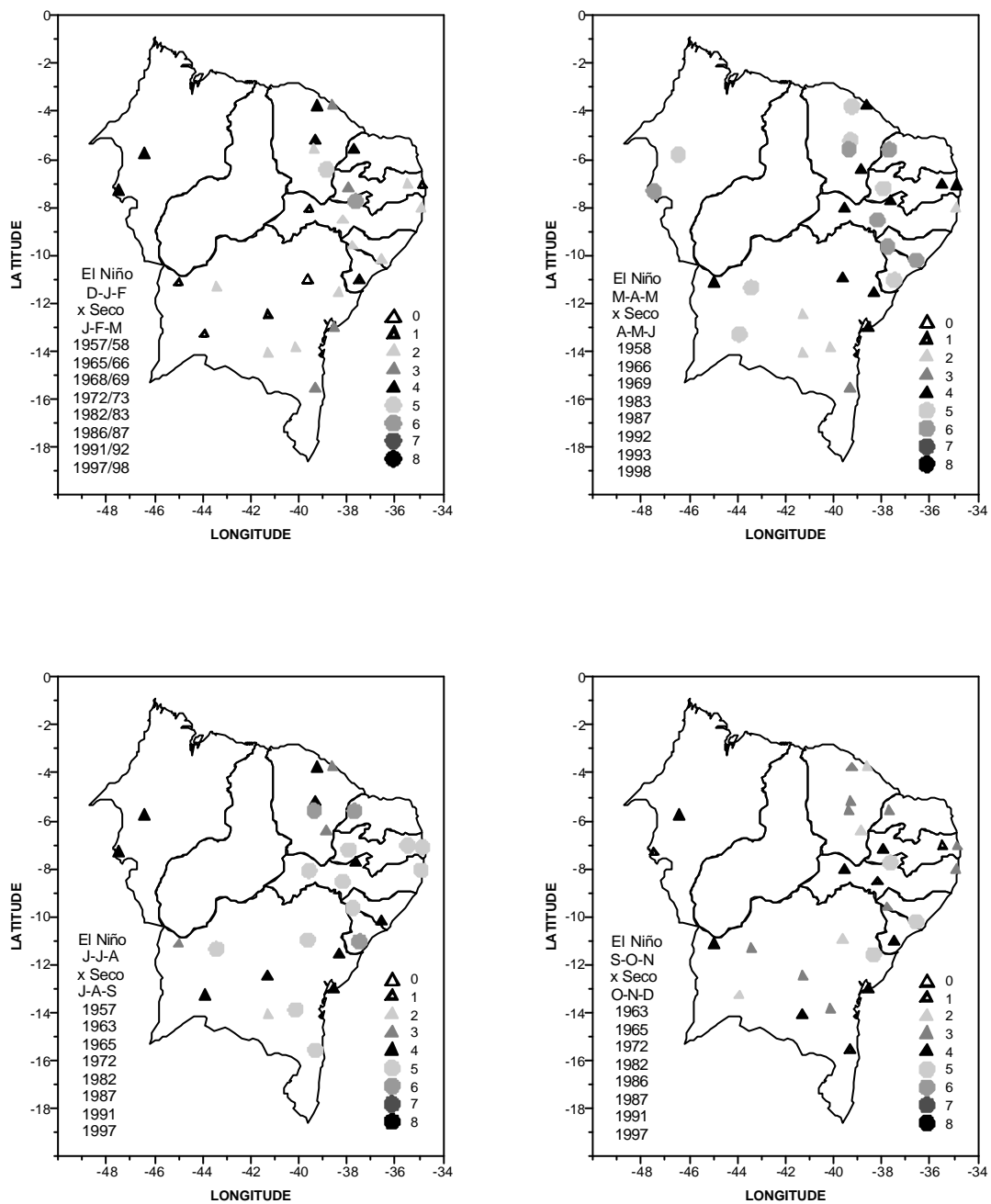


FIGURA 4.7 - Frequência das ocorrências defasadas de um mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

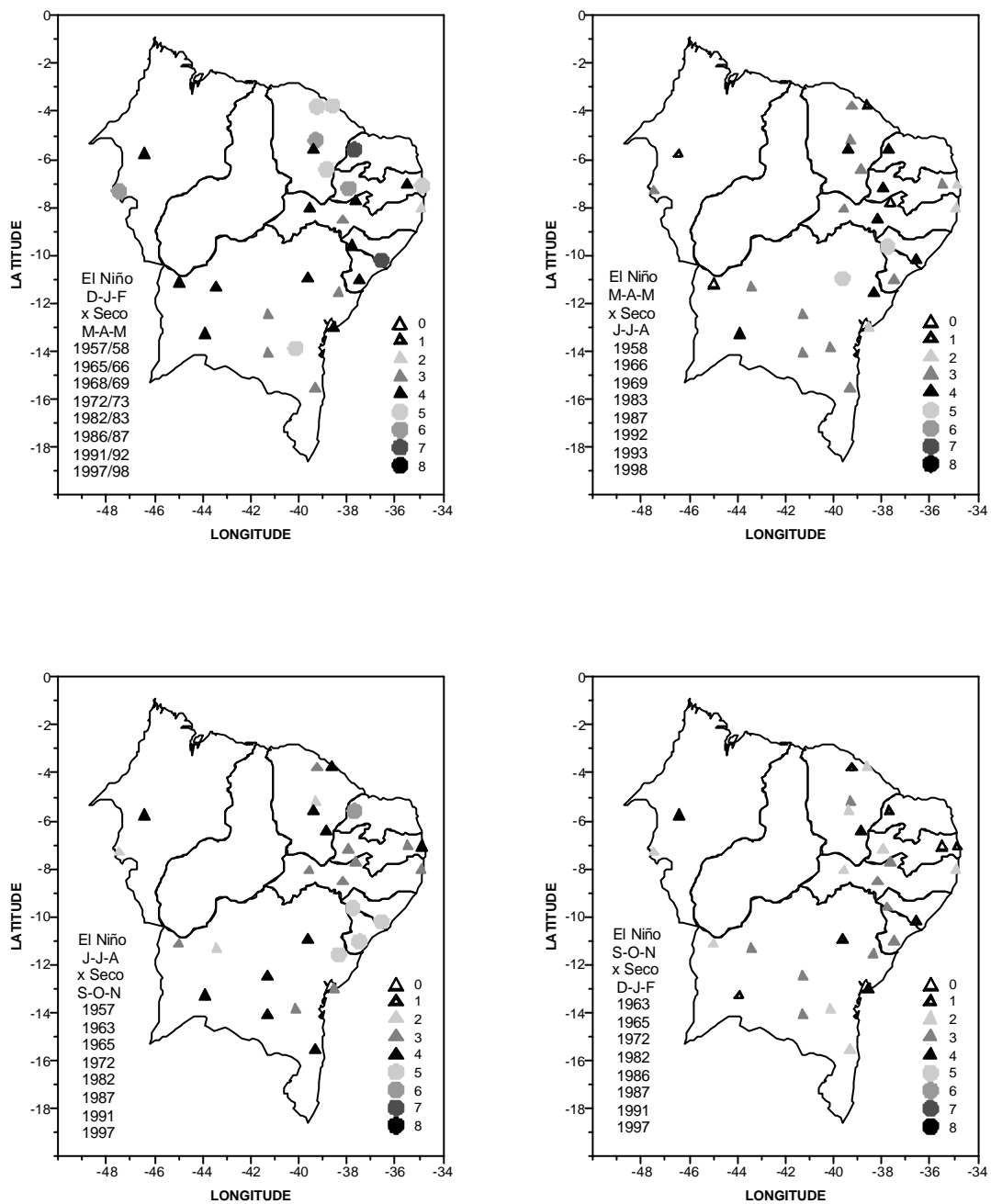


FIGURA 4.8 - Frequência das ocorrências defasadas de três meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 8 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 5 (círculos).

O impacto simultâneo dos eventos de El Niño nas precipitações (abaixo das normais) no NEB é maior no Outono (MAM), abrangendo toda a região. Nenhum efeito foi constatado durante a sua fase madura (DJF), que coincide com a estação chuvosa no Sul da região e a pré-estação chuvosa do Nordeste do NEB, contrariando os resultados de Kane (2000). Com defasagem de 1 mês os El Niños estiveram significativamente associados com precipitações abaixo das normais em JAS em praticamente toda a região e em AMJ no Nordeste do NEB. Os El Niños em sua fase madura (DJF) estiveram significativamente associados com defasagem de 3 meses (MAM) com precipitações abaixo das normais na região Nordeste. Verifica-se que a influência dos eventos El Niño nas fases maduras no NEB não é só restrita à estação chuvosa no Nordeste da região (MAM), mas se estende por toda ela em diferentes épocas e com diferentes defasagens. Ressalta-se que eventos de El Niño nas suas fases maduras (DJF) estão significativamente associados com ATSM abaixo das normais no ATLTS com 6 meses de defasagem, em JJA (TABELA 4.4), período chuvoso no Leste do NEB. Também os El Niños em JJA estão significativamente associados com ATSM abaixo das normais no ATLTS com 1 mês de defasagem (JAS).

A intensidade dos eventos, verificada considerando-se os 5, 8 e 11 eventos extremos, não influenciou na resposta categórica das precipitações. Os resultados para os 5 e 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000 encontram-se no APÊNDICE C (FIGURA C.7 à C.12).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - Conclusões

Eventos de La Niña estão significativamente associados com defasagem de 0 a 6 meses, com ATSM abaixo das normais no ATLTN em todas as suas fases, enquanto os El Niños estão significativamente associados com ATSM acima das normais no ATLTN nas suas fases madura (DJF) com defasagem de 6 meses, em MAM com defasagem de 0 a 1 mês e em SON com defasagem de 6 meses. O impacto destes eventos no ATLTS é restrito às suas fases maduras (DJF) associados a ATSM acima (abaixo) das normais nos casos de La Niña (El Niño), com defasagem de 6 meses.

O impacto dos El Niños associados a precipitações abaixo das normais em MAM (estação chuvosa no Norte e pré-estação no Leste do NEB) é maior do que o das La Niñas associados a precipitações acima das normais no NEB. As La Niñas tem maior impacto simultâneo nas precipitações de JJA (estação chuvosa no Leste do NEB) e de SON (pré-estação chuvosa no Sul da região).

Com defasagem de 1 mês foram constatadas relações estatisticamente significativas a 90 % para os El Niños em MAM com precipitações abaixo das normais no Nordeste do NEB e em JJA também com precipitações abaixo das normais no Leste do NEB e entre as La Niñas em MAM com precipitações acima das normais no Nordeste do NEB e em JJA também com precipitações acima das normais no Leste. Com defasagem de 3 meses, as relações significativas obtidas, foram os El Niños de DJF e as precipitações abaixo das normais em MAM no Nordeste do NEB (estação chuvosa da região) e entre as La Niñas em

DJF e as precipitações acima das normais em MAM no Nordeste da região e em JJA com as precipitações acima das normais em SON no Leste.

As La Niñas podem ter impacto igualmente significativos nas precipitações do NEB, embora os eventos de El Niño tenham tido maior atenção na literatura.

O impacto dos eventos El Niño/La Niña não se restringe ao Nordeste do NEB, mas se estende por toda região nas diferentes estações do ano. As relações El Niño/precipitações abaixo das normais e La Niña/precipitações acima das normais são assimétricas em relação às regiões do NEB e estação do ano.

Deve ser dada ênfase à natureza probabilística da resposta climática e não na resposta de compostos de eventos passados de El Niño/La Niña.

5.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

Analisar, usando a mesma metodologia, o impacto simultâneo e defasado dos gradientes meridionais de TSM entre o ATLTL e ATLTS e do próprio ATLTS nas precipitações sazonais do NEB. Comparar estes resultados com os obtidos para o ENOS.

Verificar quais mecanismos poderiam explicar a influência remota do ENOS na variabilidade das precipitações no Leste e Sul do NEB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. **Monthly Weather Review**, v. 116, n.3, p. 505-525, 1988.
- AGRESTI, A. **Introduction to categorical data analysis**. New York: John Wiley, 1996. 290p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**. Porto Alegre: UFRGS, v.1, 2003. 112p.
- BRAGA, C. C. **Inter-relações entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste Brasileiro**. 2000. 129p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
- DOMMENGET, D. ; LATIF, M. Interannual to decadal variability in the Tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 13, n.4, p. 777-792, 2000.
- ENFIELD, D. B. Relationships of Inter-American rainfall to Tropical Atlantic and Pacific SST variability. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 23, p.3305-3308, 1996.
- ENFIELD, D. B. ; MAYER D. A. Tropical Atlantic Sea Surface Temperature variability and relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C1, p. 929-945, 1997.
- FOLLAND, C. K.; COLMAN, A. W.; ROWELL, D. P. E DAVEY, M. K. Predictability of Brazil rainfall and real-time forecast skill, 1987-89. **Journal of Climate**, v.14, n. 9, p.1937-1958, 2001.
- GIANNINI, A.; CHANG, P.; CANE, M.; KUSHNIR, Y. ; SEAGER, R. The ENSO teleconnection to the Tropical Atlantic Ocean: contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the Tropical Americas. **Journal of Climate**, v.14, n.24, p. 4530-4544, 2001.

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

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

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

HASTENRATH, S. ; HELLER L. Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

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

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

HASTENRATH, S. Recent advances in Tropical climate prediction. **Journal of Climate**, v. 8, n.6, p.1519-1532, 1995.

HOERLING, M. P.; KUMAR, A. ; ZHONG, M. El Niño, La Niña, and the non-linearity of their teleconnections. **Journal of Climate**, v.10, n.8, p.1769-1786, 1997.

HOUGHTON, R. W.; TOURRE, Y. M. Characteristics of Low-Frequency Sea Surface Temperature fluctuations in the Tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 5, n.7, p. 765-771, 1992.

KANE, R. P. Prediction of droughts in Northeast Brazil: role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology**, v.17, n.6, p. 655-665, 1997.

KANE, R. P. Relationship between El Niño timings and rainfall extremes in NE Brazil, SÃO PAULO CITY AND SOUTH BRAZIL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.1, p. 45-57, 2000.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two constrating years. **Journal of Climate**, v. 8, n. 5, P. 477-488, 1988.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Decadal Variability of the Northern Northeast Brazil rainfall and its relation to Tropical Sea Surface and Global Sea Level Pressure anomalies. **Journal of Geophysics Research**, v. 109, C11011, 2004.

KAPLAN, A.; CANE, M. A.; KUSHNIR, Y.; CLEMENT, A.; BLUMENTHAL M. ; RAJAGOPALAN R.. Analyses of Global Sea Surface Temperature 1856-91. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.C9, p.18567-18590, 2000.

KILADIS, G. N. ; DIAZ, H. F. Global Climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, n.9, p. 1069-1090, 1989.

KOUSKY, V. E. **Previsão de precipitação no Nordeste do Brasil: o aspecto dinâmico**. São José dos Campos: INPE, 1981. 16p. (INPE-2244-PRE/029).

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.A, p. 490-504, 1984.

LATIF, M. D.; ANDERSON, L. T.; BARNETT, M. A.; CANE, R.; KLEEMAN, A.; LEETMAA, J.; O'BRIEN, A.; ROSATI ; SCHNEIDER,. A review of predictability and prediction of ENSO. **Journal of Geophysics Research**, v.103, n.C7, p.14375-14393, 1998.

LIMA, M. C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da região Nordeste do Brasil**. 1991, 222p. (INPE-5283-TDI/453). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

- MASON, S. ; GODDARD, L. Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v. 82, n.4, p. 619-638, 2001.
- MÉLICE, J. L. ; SERVAIN, J. The Tropical Atlantic Meridional SST Gradient Index and its relationships with SOI, NAO and Southern Ocean. **Climate Dynamics**, v. 20, n.5, p. 447-464, 2003.
- MOLION, L. C. B. ; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, v.17, n.1, p.1-10, 2002.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of drought in Northeast Brazil: observation, theory and numerical experiments with a General Circulation Model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n.12, p. 2653-2675, 1981.
- NOBRE, C. A. ; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction, the effect of climatic variation on agriculture. assessments in semiarid regions. Dordrecht: Kluwer Ac. Pub., v. 2, 1988.
- PEZZI, L. P. ; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies for seasonal prediction over South-American: a numerical study. **Climate Dynamics**, v.17, n.2-3, p. 205-212, 2001.
- RAO, V. B. ; BRITO, J. I. B. **Interannual variations of rainfall in Northeast Brazil and their connections with the large-scale features**. São José dos Campos: INPE, 1984. 5p. (INPE-3207-PRE/565).
- 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.; 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, 1993.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p.1606-1626, 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, 1989.

SANSIGOLO, C. A. Impacto dos Eventos Extremos de ENSO nas Precipitações Sazonais do Sul do Brasil. In: Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 11., 2005, Cancun. **Proceedings...**Cancun, MX.: [S.n], 2005

SARAVANAN, R.; CHANG. P. Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 13, n.13, p. 2177-2194, JUL.2000.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do Semi-Árido Nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 2, p. 277-283, 1998.

STRANG, M. G. D. **Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos: CTA.IAE-M. 2p. 1972. Paper n. 02/72.

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

UVO, C. R. B. **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a Precipitação da Região Norte do Nordeste**. 1989. 99p. (INPE-4887-TDL/378)
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José 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. 551-562, 1998.

WARD, M. M. ; 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, 1991.

WALKER, G. T. Ceara (Brazil) Famines and the General Air Movement. **Beirt. Phys. Frein. Atmosph.**, v. 14, p. 88-93, 1928.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Local: Academic Press, 1995. 476p.

WRIGHT, P. B. Relationships between Indices of the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.112, n.9, p.1913-1919, 1984.

APÊNDICE A

TABELA A.1 – Coordenadas das 28 estações meteorológicas distribuídas pelo NEB.

Código	Lat.(°)	Lon.(°)	Alt.(m)	Localidade
1	-7,74	-37,64	525	Afogados da Ingazeira (DNOCS) PE
2	-11,16	-45	444	Barreiras (ANEEL) BA
3	-11,34	-43,43	411	Boqueirão (ANEEL) BA
4	-7,33	-47,47	193	Carolina (INMET) MA
5	-8,53	-38,18	361	Floresta (ANEEL) PE
6	-3,77	-38,6	26	Fortaleza (INMET) CE
7	-5,8	-46,45	163	Grajaú (INMET) MA
8	-6,42	-38,85	160	Icó (ANEEL) PB
9	-11,58	-38,34	158	Inhambupe (ANEEL) BA
10	-13,88	-40,14	199	Jequié (ANEEL) BA
11	-7,1	-34,87	7,4	João Pessoa (INMET) PB
12	-15,56	-39,31	41	Mascote (ANEEL) BA
13	-7,03	-35,48	100	Mulungu (ANEEL) PB
14	-5,59	-37,69	70	Pedras de Abelhas (DNOCS) RN
15	-8,08	-39,57	379	Parnamirim (ANEEL) PE
16	-10,2	-36,56	28	Penedo (ANEEL) AL
17	-7,21	-37,93	250	Pianco (ANEEL) PB
18	-9,63	-37,76	110	Piranhas (ANEEL) AL
19	-12,5	-41,29	355	Porto (ANEEL) BA
20	-13,29	-43,92	442	Porto Novo (ANEEL) BA
21	-10,97	-39,63	273	Queimadas (ANEEL) BA
22	-5,2	-39,3	212	Quixeramobim (INMET) CE
23	-8,05	-34,92	7	Recife (INMET) PE
24	-11,03	-37,48	92	Salgado (ANEEL) SE
25	-13,02	-38,52	51	Salvador (INMET) BA
26	-3,8	-39,24	35	São Luiz do Curu (ANEEL) CE
27	-5,58	-39,37	173	Senador Pompeu (ANEEL) CE
28	-14,1	-41,29	34	Tanhaçu (ANEEL) BA

APÊNDICE C

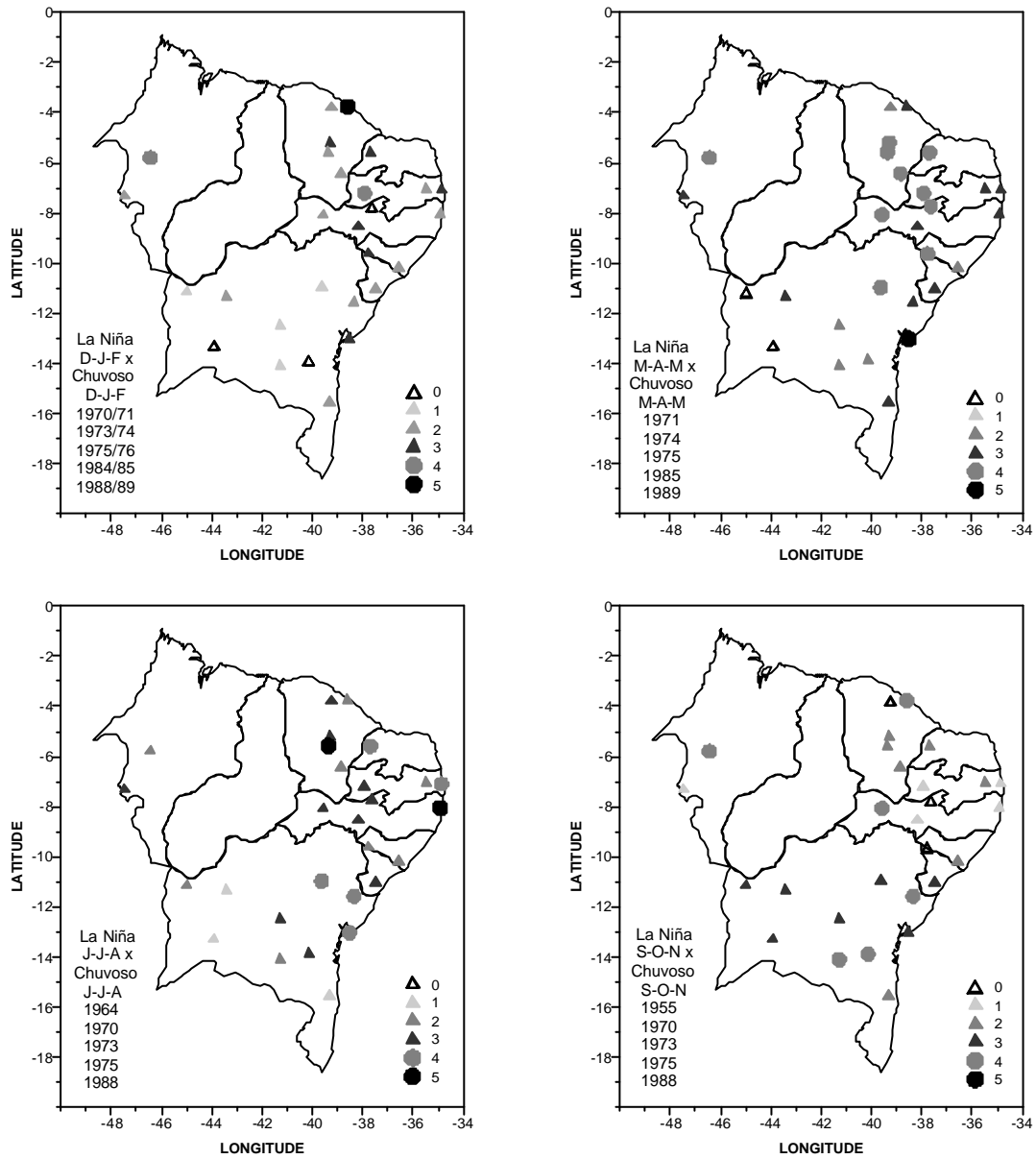


FIGURA C.1 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

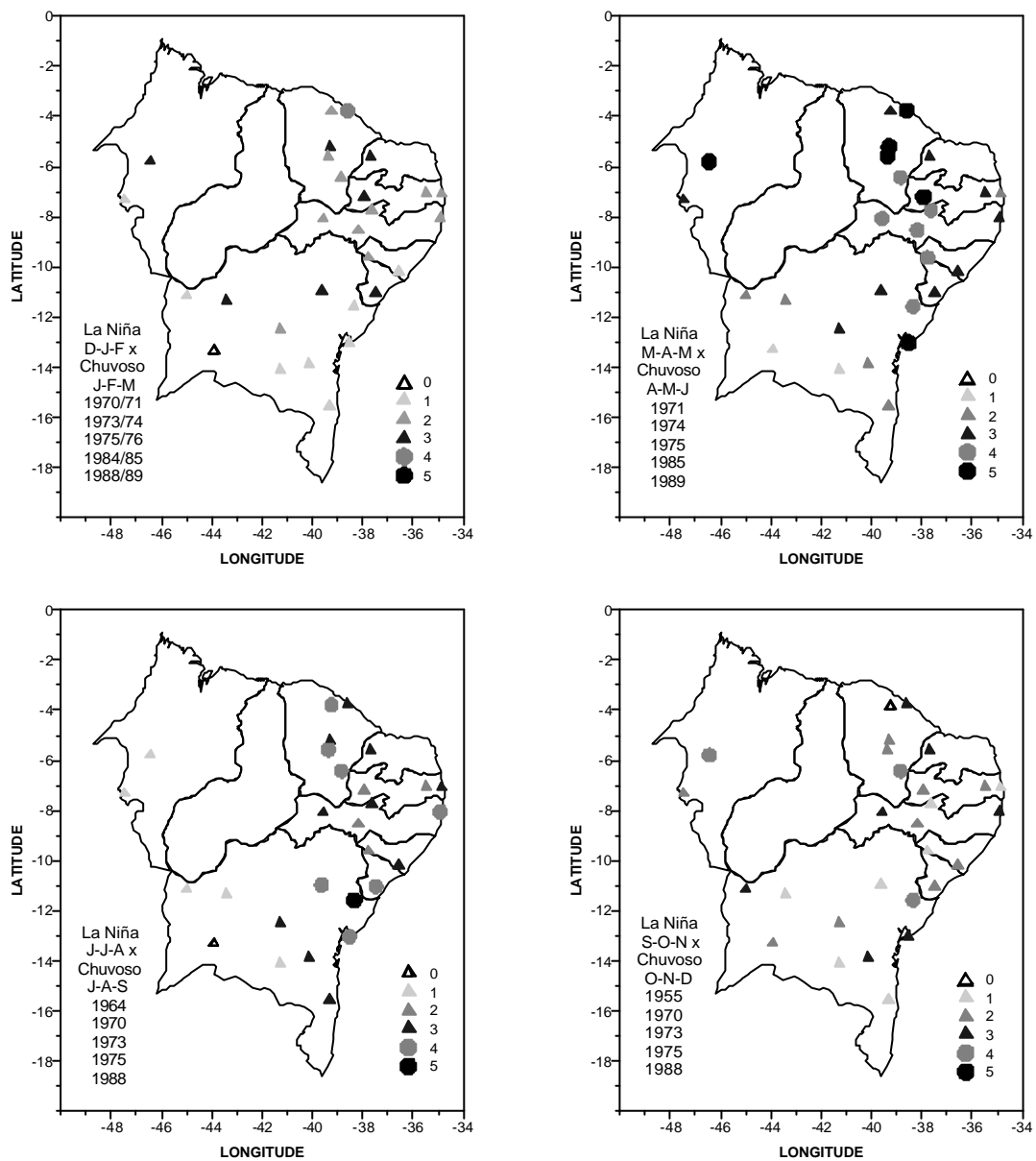


FIGURA C.2 - Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

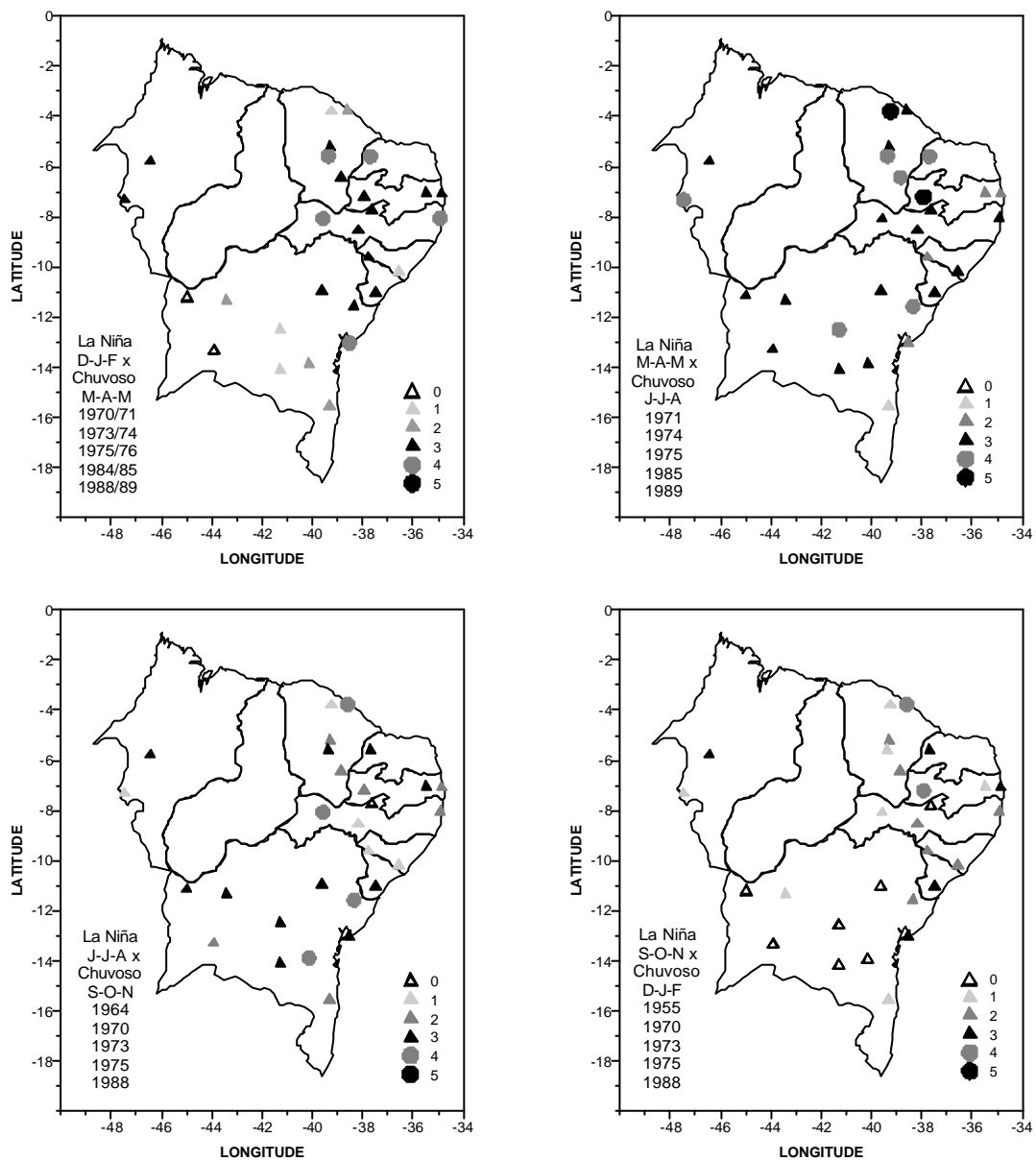


FIGURA C.3 - Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 5 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

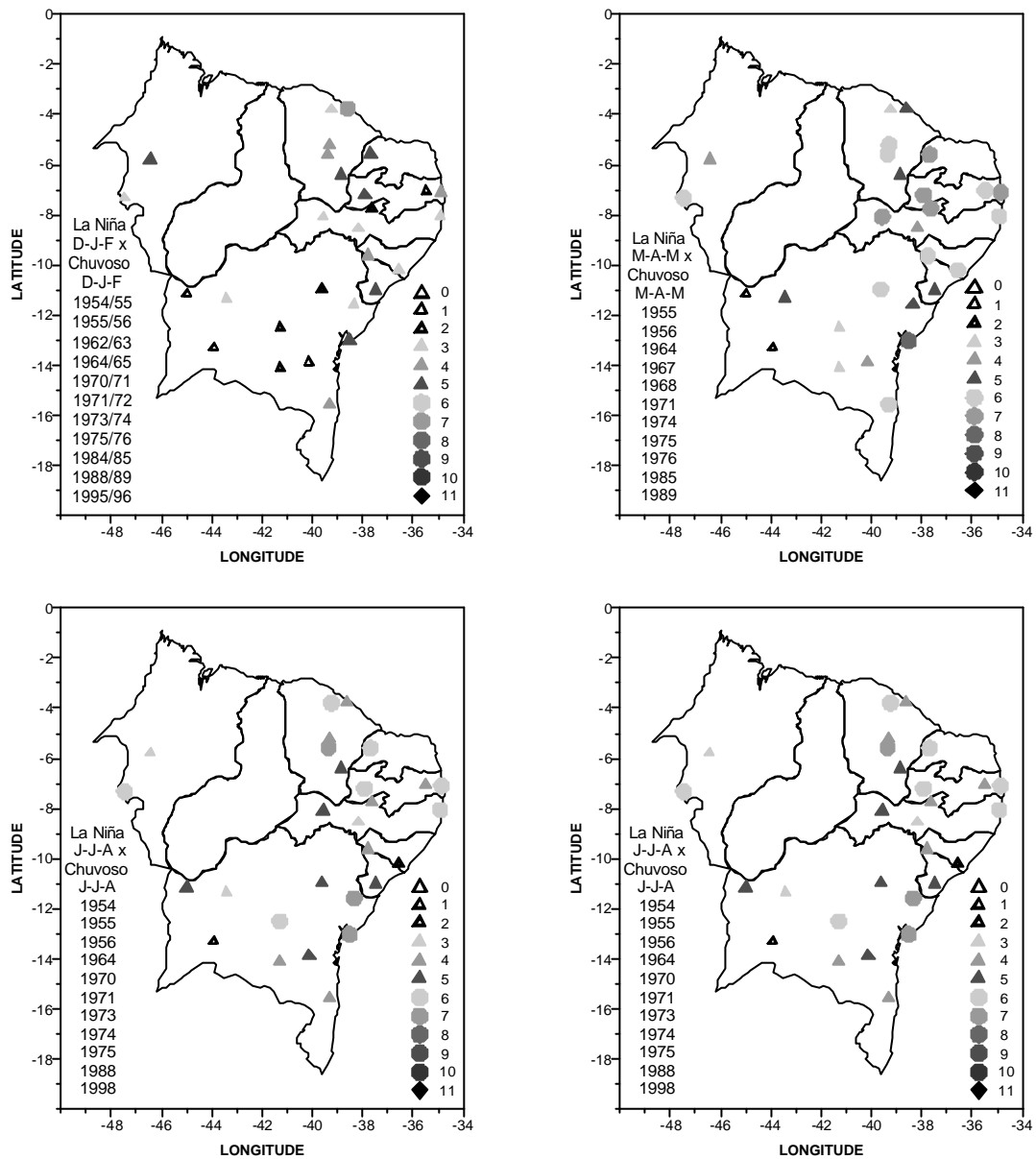


FIGURA C.4 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).

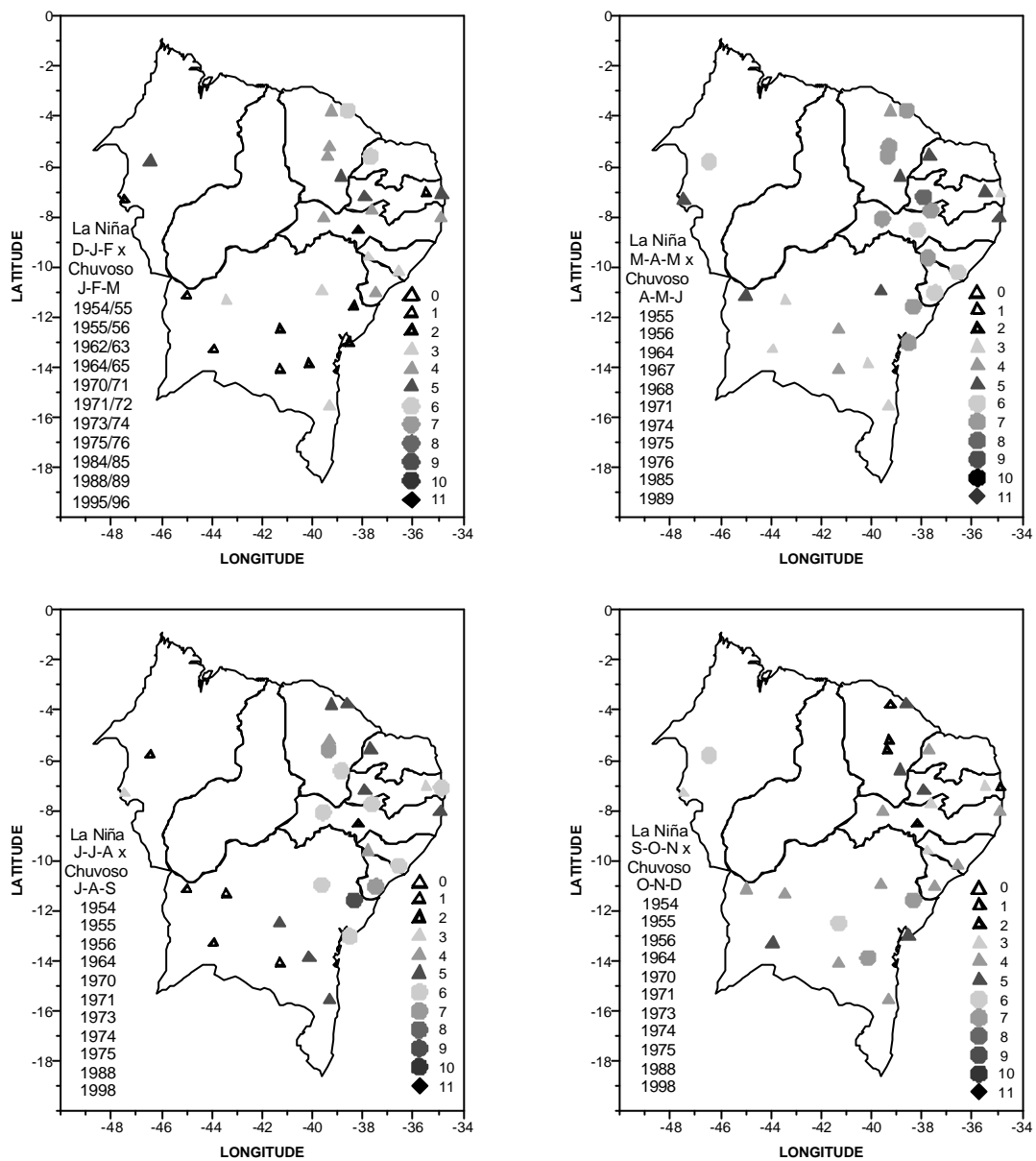


FIGURA C.5 - Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).

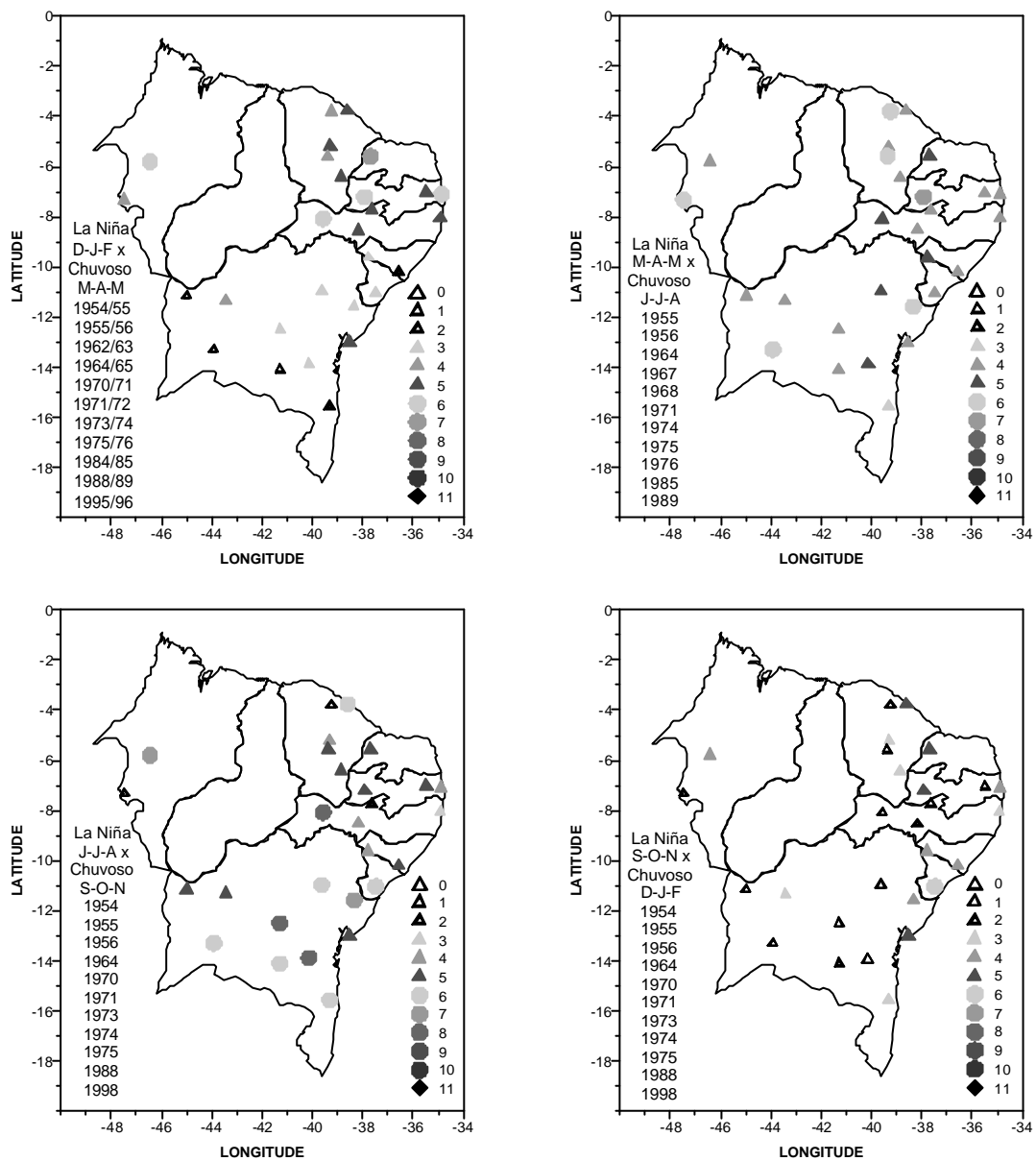


FIGURA C.6 - Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais acima das normais durante os 11 eventos extremos de La Niña entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).

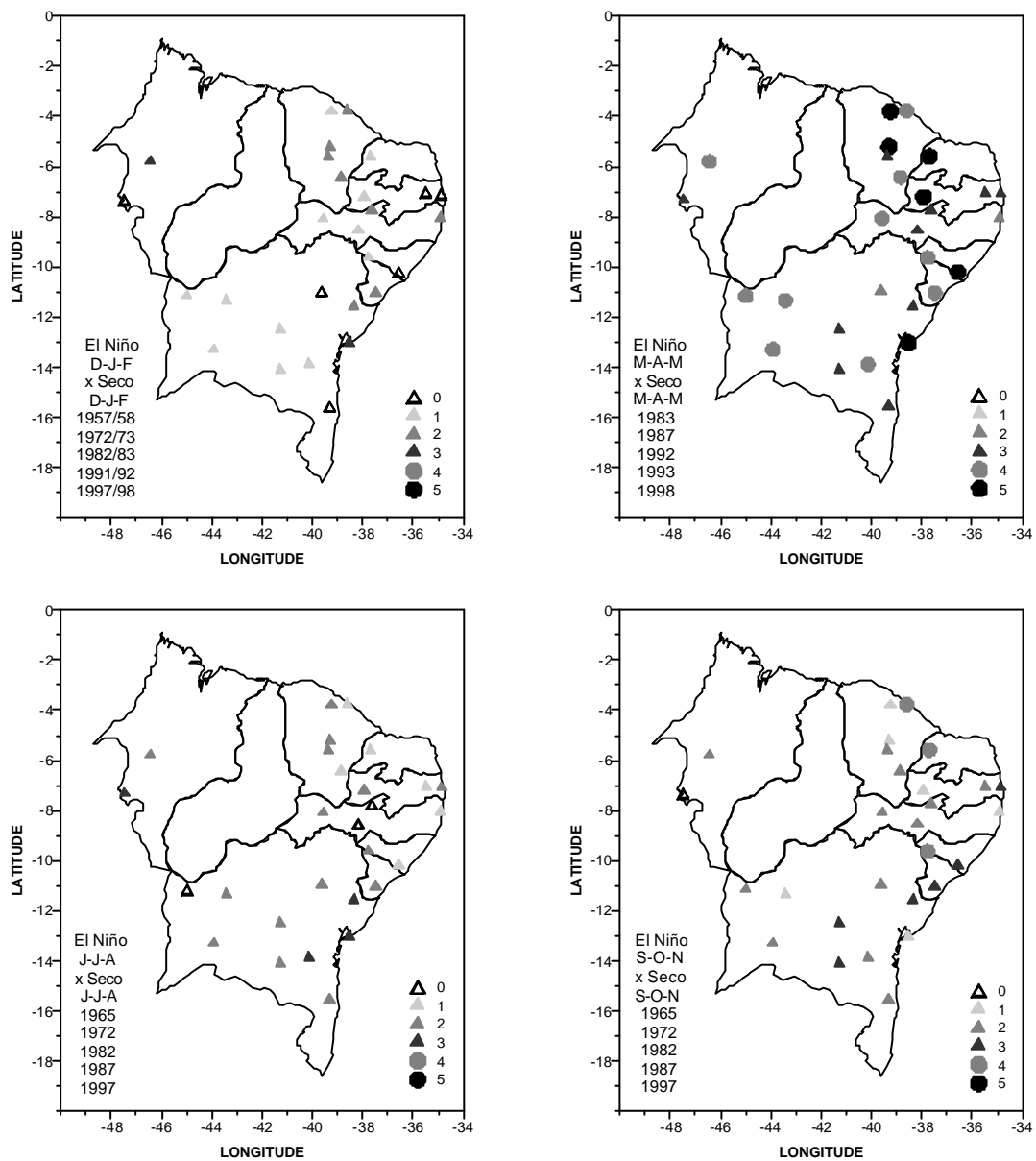


FIGURA C.7 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

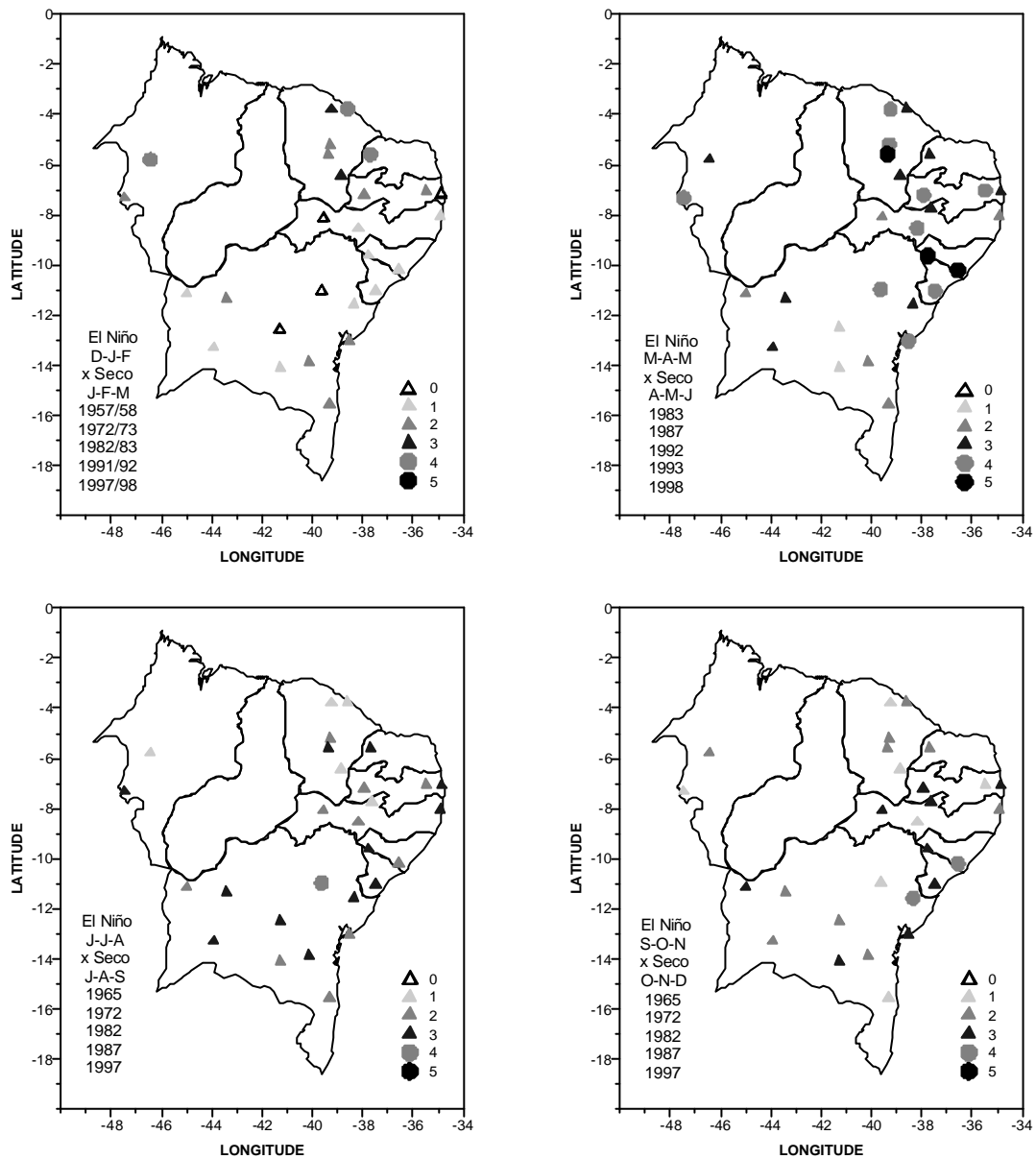


FIGURA C.8 - Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

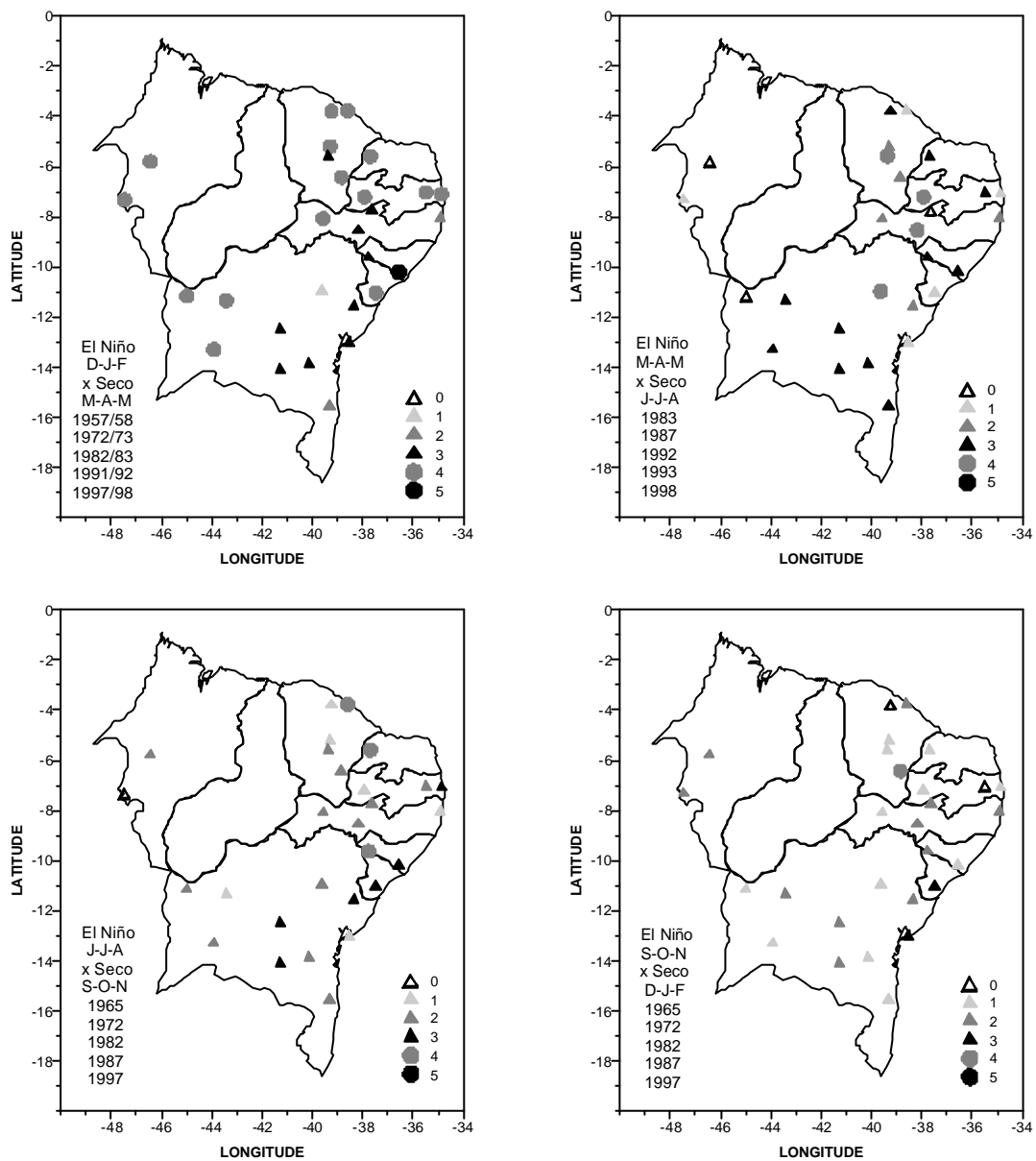


FIGURA C.9 - Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 5 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 4 (círculos).

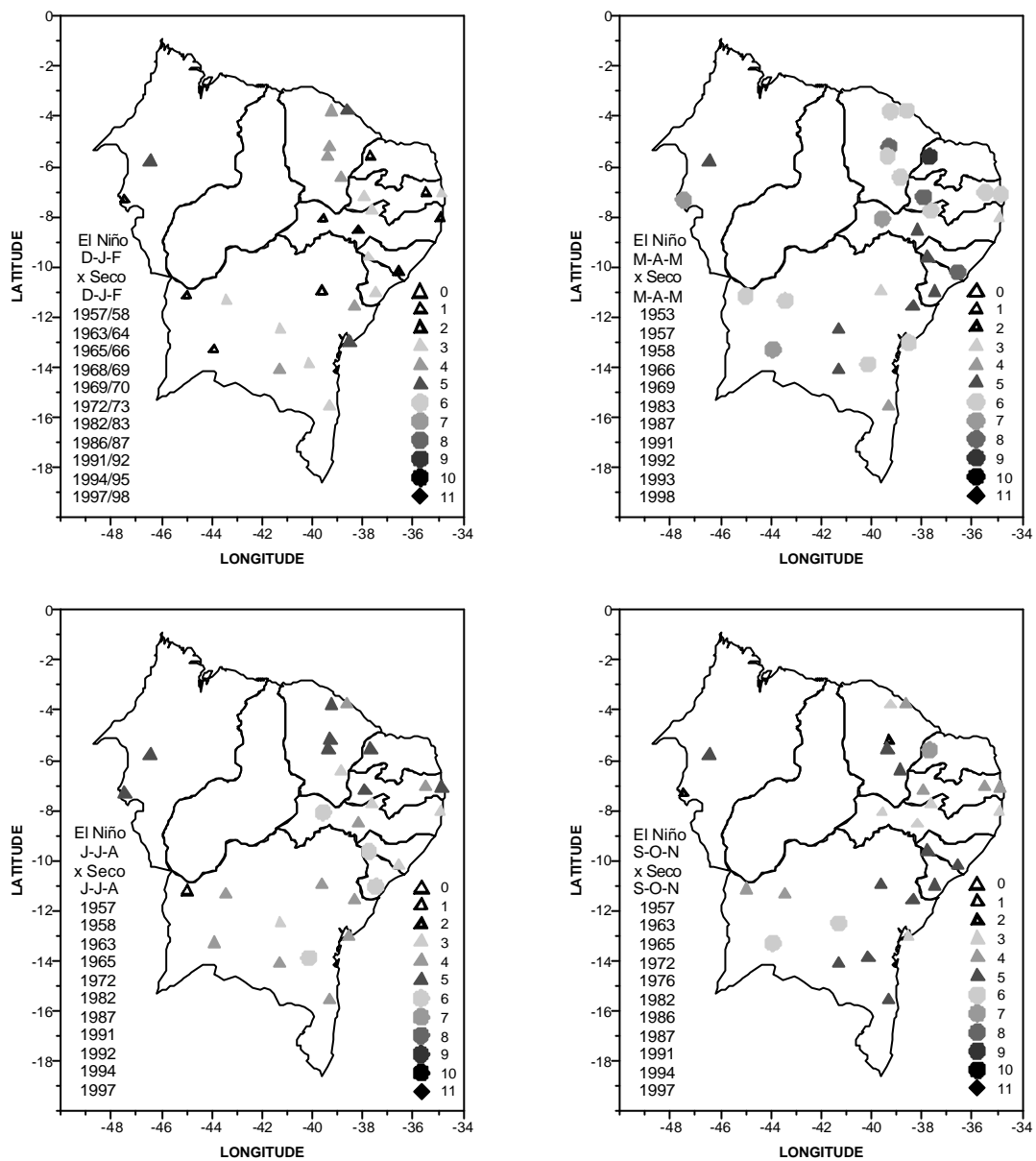


FIGURA C.10 - Frequência das ocorrências simultâneas de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).

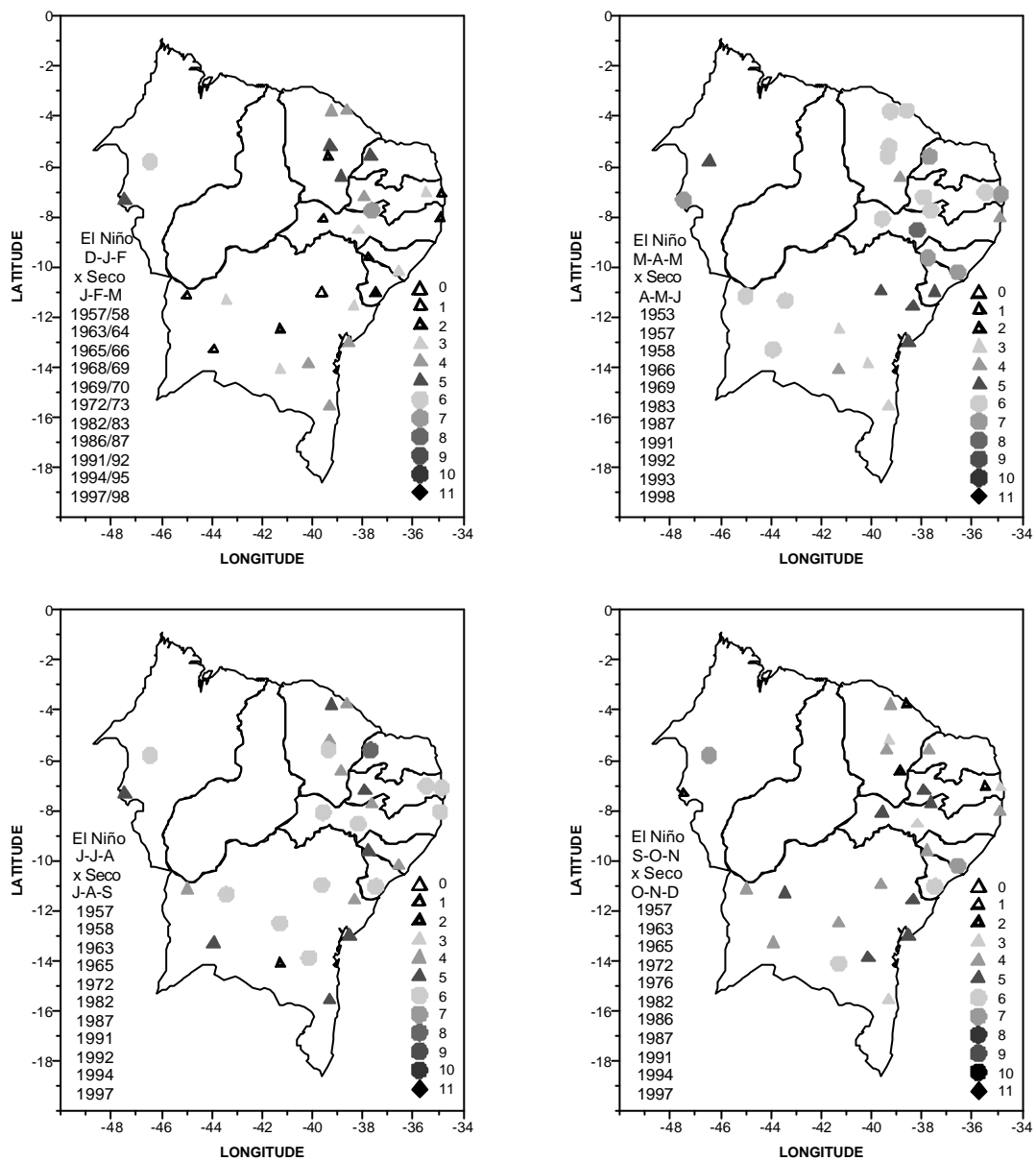


FIGURA C.11 - Frequência das ocorrências defasadas de 1 mês de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).

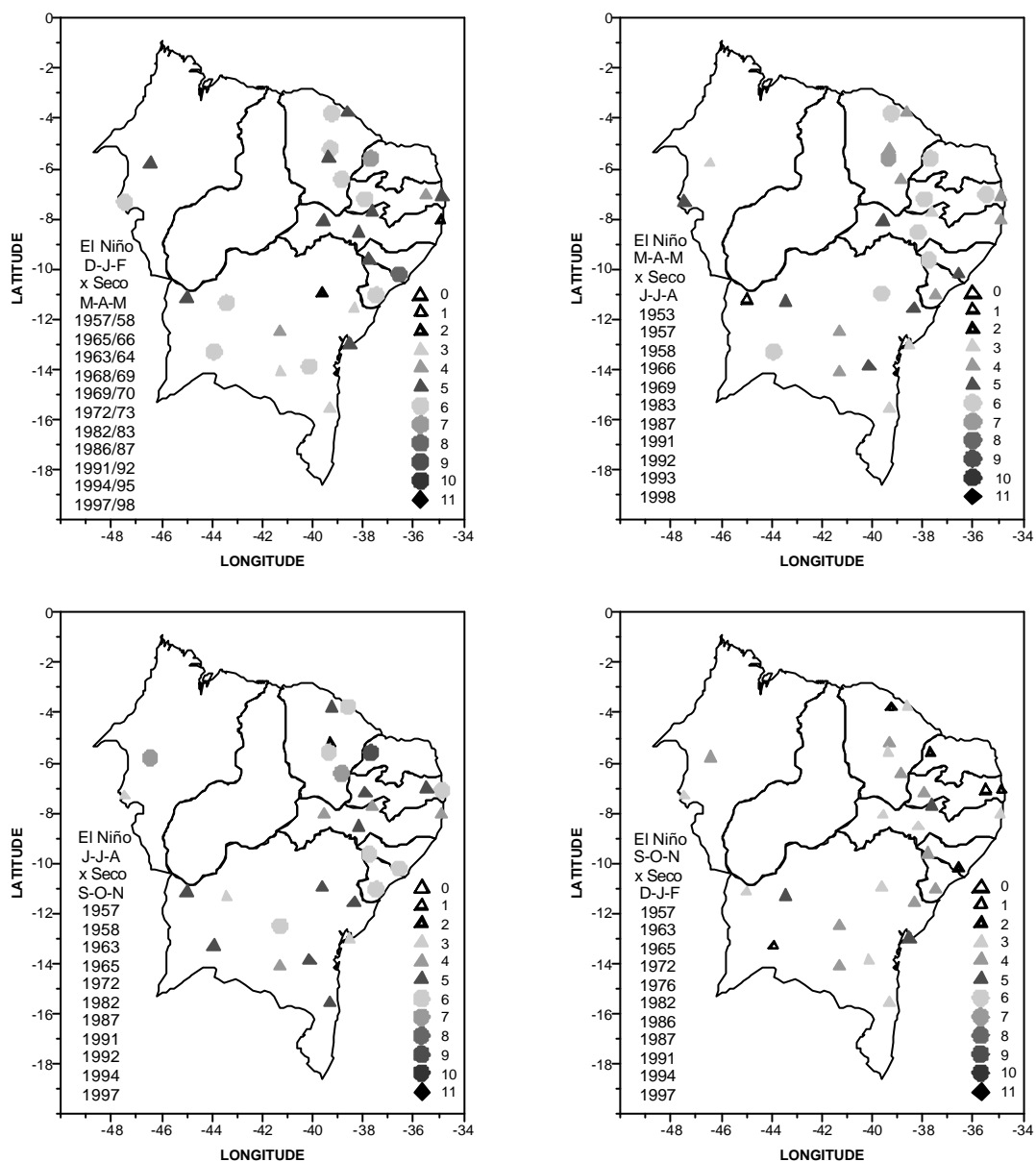


FIGURA C.12 - Frequência das ocorrências defasadas de 3 meses de precipitações sazonais abaixo das normais durante os 11 eventos extremos de El Niño entre 1949/50 e 2000. São estatisticamente significativos a 90% de confiança os valores iguais ou superiores a 6 (círculos).