



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

**PÓS - GRADUAÇÃO
EM METEOROLOGIA**

RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL E AS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS.

AUTOR: RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

PUBLICAÇÃO: DCA/CMM - TD nº 08 - 1995.

CAMPINA GRANDE

NOVEMBRO - 1995

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL E AS
ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS
ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS

RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA
NOVEMBRO-1995

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL E AS
ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS
ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Meteorologia, da Universidade
Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção de grau de mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CLIMATOLOGIA ESTATÍSTICA

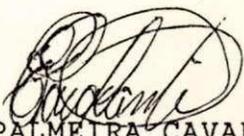
Orientador: ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA
NOVEMBRO-1995

RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL E AS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS.

RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/11/95


ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Orientador


JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
Membro


PAULO NOBRE
Membro

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO -1995

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, HUMBERTO DUARTE MENEZES (in memoriam) e MARIA DE NAZARÉ G. DO NASCIMENTO, pela dedicação e incentivo nos momentos mais difíceis da caminhada rumo ao conhecimento. Sem eles, este momento jamais seria realizado.

AGRADECIMENTOS

A "DEUS", por dar-me a calma e serenidade nos momentos mais difíceis dessa caminhada;

Aos meus pais HUMBERTO DUARTE e MARIA DE NAZARÉ, Pela educação, que a mim foi atribuída, durante todas as fases da minha vida;

Ao professor ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI, pela oportuna e valiosa orientação;

Aos meus irmãos REINALDO BRUNO e JOSÉ CARLOS, amigos e companheiros inseparáveis para toda a vida;

A minha namorada RUTELE PEREIRA, companheira nos momentos difíceis e importantes da minha vida;

Ao JOSÉ MARIA, que deu-me a oportunidade de preparação mais adequada rumo à universidade;

Aos meus tios, MARIA DE BELÉM, MARIA RUTH, MONSENHOR GERALDO, MARIA JOSÉ e MARIA LOURDES MACHADO, bem como, os padrinhos WANDA CUNHA e PEDRO DALTRO e o primo AMINTAS, pela colaboração e estima;

A EYRES DIANA VENTURA SILVA, pela ajuda na aquisição dos dados pluviométricos;

Ao professor JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO, pelos dados cedidos, viabilizando desta forma a execução deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), bem como, aos membros responsáveis pelo Curso de Mestrado em Meteorologia da UFPB, pela concessão da bolsa de estudo;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Diferentes técnicas estatísticas foram utilizadas neste estudo, afim de analisar as relações entre a estação chuvosa do "Nordeste do Brasil" (NEB) e as Anomalias de "Temperatura da Superfície do Mar" (TSM) do Atlântico e Pacífico tropical no período de 1970-1988.

Correlações preliminares entre os índices de precipitação de regimes pluviométricos do norte, leste e sul do NEB com as anomalias de TSM foram efetuadas. Os resultados sugerem a identificação de harmônicos relevantes nas séries de anomalias de TSM. Essas séries submetidas à análise harmônica evidenciou cinco harmônicos significativos, segundo o teste de Fisher, com períodos aproximados de 1, 2, 6, 10 e 19 anos para o Atlântico e 2, 2.5, 4, 5 e 19 anos para o Pacífico, explicando cerca de 65% e 78% da variância total, respectivamente. As correlações das séries compostas pela soma destas periodicidades e a precipitação de cada posto delimitaram áreas de possível previsibilidade, que abrangem praticamente todo o norte do NEB. A técnica de análise em componentes principais, aplicada à série previsível de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico, mostrou que a primeira e segunda componentes, que representam cerca de 98% da variância total, podem ser substituídas pelas anomalias de TSM de dois meses antes (lag 2). A análise de regressão em função da série previsível de anomalias de TSM, definidas nas análise em CPs, mostrou que cerca de 50% da variabilidade da precipitação é explicada por este modelo. Dentro das limitações do modelo foi feita uma tendência prognóstica para anos subsequentes à 1988.

ABSTRACT

In this study different statistical techniques were utilized to analyze the relations between the rainy season of the "Northeast Brazil" (NEB) and the "sea surface temperature" (SST) anomalies of the tropical Atlantic and Pacific oceans for the period 1970-1988.

Preliminary correlations between the precipitation indices of the rainfall regimes of the north, east and south of NEB and SST anomalies were obtained. The results suggest the identification of relevant harmonics of the SST anomaly series. These series which were subjected to the harmonic analysis evidenced five significant harmonics, following the test of Fisher, with the approximate periods of 1, 2, 6, 10 and 19 years for the Atlantic and 2, 2.5, 4, 5 e 19 years for the Pacific. These harmonics explained a total variation of 65% and 78%, respectively, for the Atlantic and the Pacific. The correlations of the series composed of the sum of the periodicities and the precipitation amount of each and every rainfall station delimited the areas of possible forecast, which comprises the whole north of NEB. The technique of principal component analysis applied to the forecastable series of the Atlantic and Pacific SST anomalies showed that the first and second components, which represent about 98% of the total variance can be substituted by SST anomalies with a lag of two months. The analysis of regression as a function of the SST anomaly forecastable series defined in the principal component analysis, showed that about 50% of the precipitation variability can be explained by this model. Within the limitations of the model, a prognostic tendency was worked out for the subsequent years of 1988.

SUMÁRIO

	Pag.
1.0 CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
2.0 CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
2.1 Principais sistemas atmosféricos que atuam sobre o NEB.....	06
2.2 Interações oceano-atmosfera e a precipitação na região tropical	08
3.0 CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1 Análise Harmônica	20
3.1.1 Teste de significância dos harmônicos.....	22
3.2 Análise em Componentes Principais.....	24
3.2.1 Componentes Principais Rotacionadas.....	27
4.0 CAPÍTULO 4 - DADOS E METODOLOGIAS	29
4.1 Disponibilidade de dados.....	29
4.1.1 Precipitação Pluviométrica.....	29
4.1.2 Temperatura da Superfície do Mar.....	33
4.2 Métodos de Análises.....	35
4.2.1 Índices Pluviométricos.....	35
4.2.2 Análise de Correlação.....	36
4.2.3 Teste Significância dos coeficientes de correlação.....	37
4.2.4 Análise Harmônica.....	38
4.2.5 Análise em Componentes Principais.....	39
4.2.6 Modelo de Regressão Linear Múltipla (MRLM).....	40

5.0	CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Relação entre as anomalias de TSM e a precipitação do NNE.....	43
5.2	Relação entre as anomalias de TSM e a precipitação do LNE.....	47
5.3	Relação entre as anomalias de TSM e a precipitação do SNE.....	50
5.4	Análise Harmônica da série de anomalias de TSM.....	54
5.5	Série previsível de anomalias de TSM x Precipitação no NEB....	60
5.5.1	Atlântico.....	61
5.5.2	Pacífico.....	66
5.6	Componentes Principais da série previsível de anomalias de TSM	74
5.6.1	Dezembro a fevereiro.....	74
5.6.2	Janeiro a março.....	78
5.6.3	Fevereiro a abril.....	81
5.7	O Modelo de regressão.....	86
5.7.1	Precipitação do mês de março.....	87
5.7.2	Precipitação do mês de abril.....	88
5.7.3	Precipitação do mês de maio.....	90
6.0	CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

LISTA DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1.1:	O NEB em relação a América do Sul, com sua divisão política: Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Pernambuco (PE), Paraíba (PB), Bahia (BA), Maranhão (MA), Piauí (PI), Alagoas (AL), Sergipe (SE).....	02
Figura 1.2:	Distribuição espacial dos regimes pluviométricos estabelecidos para o NEB. Fonte: STRANG (1972)...	02
Figura 2.1:	Desenho esquemático das anomalias das circulações de Hadley e Walker em relação às TSM. a) Pacífico quente, Atlântico Norte quente e Atlântico Sul frio; b) Pacífico frio, Atlântico Norte frio e Atlântico Sul quente. Fonte: ARAGÃO et al. (1994).....	19
Figura 4.1:	Distribuição espacial dos 113 postos pluviométricos do Nordeste do Brasil utilizados no estudo. Os números de ordem da Tabela 4.1 correspondem aos mesmos desta Figura.....	30
Figura 4.2:	Regiões dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais utilizadas na obtenção das anomalias de TSM (Áreas escuras). Fonte: ARAGÃO et al. (1994).	34
Figura 5.1:	Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do norte do NEB (FMAM) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.....	46
Figura 5.2:	Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do leste do NEB (AMJJ) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.....	49

Figura 5.3:	Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do sul do NEB (NDJF) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.....	51
Figura 5.4:	Espectro da variância do modelo senoidal associado às anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico. As barras escuras representam os harmônicos mais significativos ao nível de 95%, segundo o teste de Fisher.....	56
Figura 5.5:	Valores mensais de anomalias de TSM do Atlântico Jan1970-Dez1988, linha contínua. Parte previsível das anomalias de TSM segundo periodicidades significativas, linha sólida pesada e os limites de confiança à 80% em relação a parte previsível, linha pontilhada.....	57
Figura 5.6:	Valores mensais de anomalias de TSM do Pacífico Jan1970-Dez1988, linha contínua. Parte previsível das anomalias de TSM segundo periodicidades significativas, linha sólida pesada e os limites de confiança à 80% em relação a parte previsível, linha pontilhada.....	58
Figura 5.7:	Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a precipitação de março e a série previsível de anomalias de TSM do Atlântico . a) Lag1-fevereiro, b) Lag2-janeiro e c) Lag3-dezembro.....	63
Figura 5.8:	Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a precipitação de abril e a série previsível de anomalias de TSM do Atlântico . a) Lag1-março, b) Lag2-fevereiro e c) Lag3-janeiro.....	64

- Figura 5.9:** Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de maio** e a série previsível de **anomalias de TSM do Atlântico**. a) Lag1-abril, b) Lag2-março e c) Lag3-fevereiro..... 65
- Figura 5.10:** Regiões de correlações significativas (95% manchas claras) entre a **precipitação de março** e a série previsível de **anomalias de TSM do Pacífico**. a) Lag1-fevereiro, b) Lag2-janeiro e c) Lag3-dezembro..... 68
- Figura 5.11:** Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de abril** e a série previsível de **anomalias de TSM do Pacífico**. a) Lag1-março, b) Lag2-fevereiro e c) Lag3-janeiro..... 69
- Figura 5.12:** Regiões de correlações significativas (95% manchas claras) entre a **precipitação de maio** e a série previsível de **anomalias de TSM do Pacífico**. a) Lag1-abril, b) Lag2-março e c) Lag3-fevereiro..... 70
- Figura 5.13:** Distribuição espacial dos postos pluviométricos com correlações significativas ao nível de 95% ou mais com a parte previsível de anomalias de TSM para o Atlântico e Pacífico simultaneamente. a) Março, b) Abril e c) Maio..... 72
- Figura 5.14:** Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AD, AJ, AF (PD, PJ, PF) o Atlântico e Pacífico em dezembro, janeiro, fevereiro..... 77

Figura 5.15:	Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AJ, AF, AM (PJ, PF, PM) o Atlântico e Pacífico em janeiro, fevereiro, março.....	80
Figura 5.16:	Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AF, AM, AAB (PF, PM, PAB) o Atlântico e Pacífico em fevereiro, março, abril.....	83
Figura 5.17:	Série previsível de anomalias de TSM. Mês de janeiro	92
Figura 5.18:	Precipitação do mês de março. Valor observado (linha contínua:1971-1988). Valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade (barras verticais).	92
Figura 5.19:	Série previsível de anomalias de TSM. Mês de fevereiro	93
Figura 5.20:	Precipitação do mês de abril. Valor observado (linha contínua:1971-1988). Valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade (barras verticais).	93
Figura 5.21:	Série previsível de anomalias de TSM. Mês de março	94

Figura 5.22: Precipitação do mês de maio. Valor observado (linha contínua:1971-1988). Valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade(barras verticais).

LISTA DE TABELAS

	Pagina
Tabela 4.1: Lista dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho com suas respectivas localizações geográficas. Período de registro de 1970-1988.....	31
Tabela 5.1: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de dezembro-fevereiro (1970-88).....	75
Tabela 5.2: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de janeiro-março (1970-88).....	78
Tabela 5.3: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de fevereiro-abril (1970-88).....	81
Tabela 5.4: Correlação entre as quatro primeiras CPs rotacionadas para o Atlântico e Pacífico simultaneamente de dezembro-fevereiro, janeiro-março e fevereiro-abril (1970-1988) e a precipitação de março, abril e maio, respectivamente.....	85
Tabela 5.5: Resultados dos modelos de regressão.....	91

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As adversidades climáticas que assolam o "Nordeste do Brasil" (NEB, como segue, Fig. 1.1) estão diretamente relacionadas às variabilidades tanto espacial como temporal da precipitação sobre a região. Tais variabilidades estão associadas à diferentes sistemas atmosféricos da circulação geral que atuam sobre a região em épocas distintas do ano, à fenômenos atmosféricos e oceânicos que ocorrem em outras partes do globo como os eventos ENOS (El Niño/Oscilação Sul) sobre o Pacífico tropical, bem como, às ocorrências de anomalias de TSM sobre o Atlântico tropical.

Três diferentes regimes pluviométricos estabelecidos para o NEB foram sugeridos por STRANG (1972) e posteriormente evidenciados e discutidos por KOUSKY (1979, 1980) e MONTE (1986) (Fig. 1.2). Ao Norte do NEB, o máximo das chuvas concentra-se no trimestre fevereiro-março-abril (FMA) com pico máximo em março coincidindo com o deslocamento meridional da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) mais para o Sul; ao Sul do NEB em novembro-dezembro-janeiro (NDJ) com o máximo em dezembro associado à penetrações de sistemas de frentes frias oriundas do Sul do Brasil e à Leste do NEB em maio-junho-julho (MJJ) com máximo pluviométrico em maio. O Leste do NEB, além destes, é influenciado por outros diferentes sistemas, dentre os quais têm-se: Os distúrbios de Leste, sistemas de brisas terra-mar, a posição e intensidade da alta subtropical do Atlântico Sul e os vórtices ciclônicos da alta troposfera com influência também nas partes sul, central e norte do Nordeste.



Figura 1.1: O NEB em relação a América do Sul, com sua divisão política: Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Pernambuco (PE), Paraíba (PB), Bahia (BA), Maranhão (MA), Piauí (PI), Alagoas (AL) e Sergipe (SE).

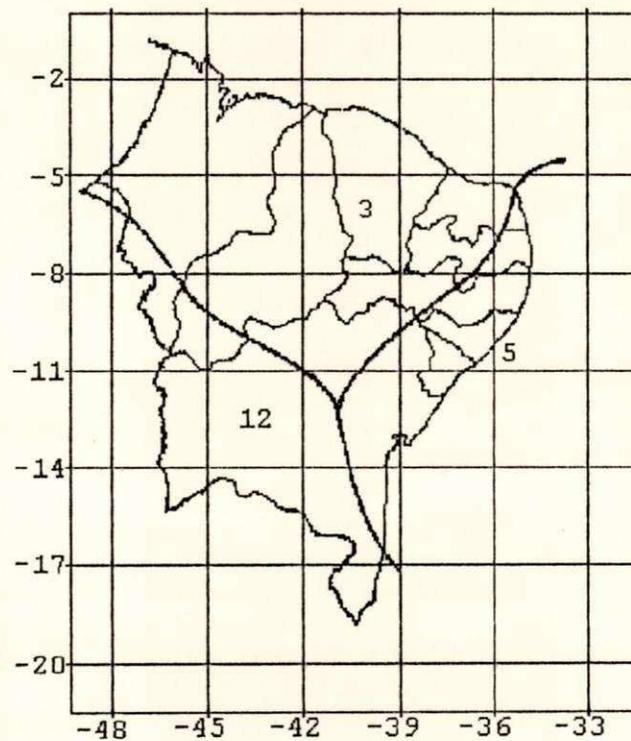


Figura 1.2 : Distribuição espacial dos regimes pluviométricos estabelecidos para o NEB. Fonte: STRANG, 1972.

As razões físicas da variabilidade da precipitação do NEB são complexas e estão relacionadas com a circulação atmosférica global. As ocorrências de anomalias de TSM tipo dipólo sobre o Atlântico tropical, assim referida por apresentar configurações que mostram anomalias de sinais opostos ao norte e sul do equador, e o aparecimento de anomalias de TSM sobre o Pacífico equatorial central leste durante as ocorrências de episódios ENOS (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; ARAGÃO et al., 1994) estão entre os principais fatores de grande-escala que contribuem para as mudanças na circulação atmosférica responsáveis pela variabilidade interanual da precipitação sobre o NEB.

O conhecimento prévio das condições meteorológicas de alguns meses em relação aos meses de maior precipitação favoreceria a uma tomada de decisões antecipadas de modo a minimizar os efeitos muitas vezes devastadores causados por ocorrências extremas (secas prolongadas/precipitação excessiva), visto que, sempre que esses casos ocorrem, cria-se uma situação de intranquilidade geral, principalmente aos habitantes das regiões afetadas e a economia local, devido a falta de infra-estrutura capaz de suportar os efeitos dessas ocorrências.

Gradativamente começa a se estabelecer no país a aplicação de modelos de previsão capazes de melhorar o entendimento das irregularidades climáticas que afetam o NEB. Acredita-se ser este um dos grandes desafios da meteorologia brasileira, e a este propósito muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos.

HASTENRATH e HELLER (1977), MOURA e SHUKLA (1981) sugeriram que as TSMs do Atlântico e Pacífico tropicais influenciam na variabilidade interanual das chuvas do NEB. Nos últimos anos alguns modelos estatísticos de previsão que utilizam somente os padrões de TSM como o único conjunto de preditores vêm sendo sugeridos (SANSIGOLO, 1990; WARD e FOLLAND, 1991).

SANSIGOLO (1990) não faz nenhuma restrição ao uso somente das TSM como único conjunto de preditores da estação chuvosa do norte do NEB, em vista de que as mesmas refletem os estados atmosféricos prévios e simultâneos sendo menos sujeitas a ruídos e estando disponíveis em tempo quase real possibilitando que previsões sazonais (março-maio) possam ser feitas no início de março.

Tendo em vista que os resultados das pesquisas até então realizadas sugerem a importância das TSM do Atlântico e Pacífico na distribuição da precipitação sobre o NEB, procurou-se neste trabalho avaliar três áreas previamente estabelecidas sobre os mesmos (ARAGÃO *et al.*, 1994) afim de verificar a sua importância na qualidade do período chuvoso do NEB, o qual se estende de novembro-julho. Para tal, propõe-se:

- 1 - Avaliar a relação entre os índices pluviométricos definidos para cada mês da quadra chuvosa do norte (FMAM), leste (AMJJ) e sul (NDJF) do NEB e as anomalias de TSM dos meses que precedem cada um destes períodos acima estabelecidos, através da técnica de análise de correlação;

2 - Identificar periodicidades nas séries de anomalias de TSM, a partir da análise harmônica, significativas segundo o teste de "Fisher";

3 - Identificar regiões do NEB que se correlacionam significativamente com as anomalias de TSM (parte determinística), obtidas a partir da análise harmônica, dos três meses imediatamente precedentes a precipitação de cada mês do período chuvoso. Para estas regiões definiu-se um novo conjunto de índices pluviométricos para os meses que melhor se correlacionaram com as anomalias de TSM.

4 - Aplicar a técnica de análise em componentes principais à estas séries de anomalias de TSM definidas pela análise harmônica considerando os três meses precedentes a cada mês do período chuvoso definido no item anterior.

5 - Por fim, adaptar um modelo funcional empírico baseado em análise de regressão múltipla que terá como variável dependente ou preditando os índices pluviométricos de cada mês do período chuvoso estabelecidos no item 3 e como variáveis independentes ou preditores as anomalias de TSM, obtidas pela análise harmônica, e definidas pela análise em componentes principais.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas últimas décadas vários estudos têm sugerido que a variabilidade da precipitação sobre os trópicos está associada com as variações de grande-escala da circulação atmosférica sobre os oceanos tropicais, particularmente o Atlântico e o Pacífico. Os sistemas atmosféricos que atuam sobre o NEB variam em intensidade, periodicidade e atuam de modo diferencial sobre áreas diferentes dependendo do ano.

2.1.Principais sistemas atmosféricos que atuam sobre o NEB.

As atividades convectivas e de formação de núvens sobre o NEB estão associadas à diferentes sistemas atmosféricos, os quais segundo o período de atuação dão a esta região características climáticas distintas, alterando a distribuição tanto espacial como temporal da precipitação sobre diferentes sub-regiões.

O deslocamento meridional da ZCIT sobre o oceano Atlântico exerce grande influência na distribuição da precipitação sobre o setor Norte do Nordeste que apresenta o seu máximo pluviométrico concentrado nos meses de FMAM. Geralmente o período de chuvas deficientes ou abundantes está associado ao posicionamento e permanência da ZCIT mais para o norte ou para o sul, respectivamente (NOBRE, 1993). Alguns fatores são responsáveis pelas variações na intensidade e posição da ZCIT. NAMIAS (1972), sugere que ventos alísios de Nordeste mais intensos tende a desviar a ZCIT para regiões mais ao sul, favorecendo assim ao aumento da

precipitação sobre o NEB. Um outro fator são as ocorrências de TSM mais quentes no Atlântico tropical sul e mais frias na Atlântico tropical Norte favorece ao deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao sul, acarretando em um aumento da precipitação sobre o Norte do Nordeste, MOURA e SHUKLA (1981). O tempo de permanência da ZCIT em torno do equador é um fator importante para definir a qualidade da estação chuvosa desta região, porém, em termos de previsão das anomalias de precipitação as análises sugerem que por si só este sistema não é um bom indicador (UVO et al., 1988). No entanto, a Zona de "Convergência dos Alísios" (CA) tem-se mostrado um melhor precursor (UVO e NOBRE, 1989), isto porque a CA é um resultado de um fenômeno de escala espacial maior que a ZCIT, assim, sofre menos a influência de fenômenos de escala menor.

No setor Sul do NEB, o máximo pluviométrico é observado principalmente nos meses de novembro e dezembro, o qual está associado a penetração de sistemas de frentes frias oriundos do Sul do Brasil que alcançam latitudes mais baixas (SERRA, 1941; KOUSKY, 1979). Nos meses de janeiro e fevereiro a frequência de penetração desse tipo de sistema é bem menor. Em condições de circulação atmosférica favorável estes sistemas podem afetar o regime de chuvas no Norte e Leste do Nordeste.

A precipitação na costa leste do NEB, além destes, tem sido associada a outros fatores. YAMAZAKY e RAO (1977) e HALL (1989) sugerem a incidência dos distúrbios de Leste como um dos causadores da precipitação sobre o litoral Leste do Nordeste. KOUSKY (1980) relacionou a variabilidade da precipitação mensal à intensidade das brisas terrestres. As linhas de instabilidade associadas à brisas

marítimas atuando sobre o litoral Leste do Nordeste foi sugerida por COHEN et al. (1989) sendo que as que afetam o regime pluviométrico desta região são aquelas linhas que atingem a parte mais interior. LIMA (1991) e RAO et al. (1993) associaram a variabilidade interanual da precipitação à posição e intensidade dos sistemas de alta pressão do Atlântico sul, sendo este um fator determinante para qualidade da estação chuvosa do litoral Leste do Nordeste.

O NEB está também sob a influência de vórtices ciclônicos da alta troposfera que penetram ou se formam sobre a região (ARAGÃO, 1986; VIRJI, 1981; KOUSKY e GAN, 1981; GAN e KOUSKY, 1986). Normalmente, as maiores precipitações causadas por estes sistemas são localizadas nos setores oeste e leste onde se encontram o máximo do movimento vertical ascendente. Os centros destes sistemas são mais frios do que as áreas adjacentes devido à subsidência do ar da alta troposféra, fazendo com que a nebulosidade seja quase inexistente, embora exista uma variação diurna da nebulosidade provocada pelo aquecimento maior da superfície do sol.

2.2. Interações oceano-atmosfera na região tropical

A influência do oceano Atlântico norte extratropical na variabilidade da precipitação sobre o Nordeste foi sugerida por NAMIAS (1972), o qual associou a circulação geral no hemisfério norte às dinâmicas das secas sobre o Nordeste. O autor propôs que a atividade ciclônica sobre o hemisfério norte nas regiões da Groelândia e Terra Nova em dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) influe

na precipitação sobre o Nordeste nos três meses subseqüentes, isto é, março-abril-maio (MAM). Ele sugere ainda que as atividades convectivas sobre o NEB sofrem a influência da ocorrência de uma condição de intenso bloqueio sobre o oceano Atlântico norte, reduzindo as atividades ciclônicas sobre o Nordeste da América do norte e Groelândia e as atividades da alta subtropical do Atlântico norte, associado com ventos de Nordeste mais fracos e TSM mais quente, devendo resultar na alteração da posição (mais para o norte) e intensidade (mais fraca) da ZCIT.

Posteriormente, HASTENRATH e HELLER (1977) estudaram as características da circulação de larga-escala em relação aos anos de secas e enchentes extremas no NEB, em particular sobre o estado do Ceará. Segundo os autores, durante os anos secos, há um fortalecimento e deslocamento da alta subtropical do Atlântico sul em direção ao equador e um enfraquecimento e deslocamento em direção ao pólo norte da alta subtropical do Atlântico norte; o padrão de TSM é caracterizado por desvios positivos no Atlântico norte e no Pacífico leste, e águas anormalmente frias na maior parte do Atlântico sul e equatorial. Para os anos com totais de precipitação acima do normal estas configurações são aproximadamente inversas em relação aos anos secos. Os autores sugerem ainda que o deslocamento para o equador das altas subtropicais do Atlântico norte e sul, a pré-estação de precipitação no NEB e a localização do cinturão de nebulosidade e precipitação sobre o Atlântico tropical oeste adjacente, estão entre os mais promissores preditores no prognóstico do comportamento da estação chuvosa extrema no NEB.

Os padrões de TSM sugerido por HASTENRATH e HELLER (1977) submetidos à análises a partir do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA), segundo MOURA e SHUKLA (1981), sugerem a existência de uma circulação meridional anômala termicamente direta originada pelo aparecimento de anomalias de TSM quentes no Atlântico norte e anomalias de TSM fria no Atlântico sul (Dipólo do Atlântico). As características dessa circulação anômala durante os anos secos é de apresentar movimento subsidente sobre o NEB (Anomalia de subsidência) e o Atlântico equatorial adjacente, e movimento ascendente sobre o Atlântico norte em baixa latitude. Para os anos úmidos estes padrões são revertidos, ou sejam, anomalias de TSM negativas no Atlântico Norte e positivas no Atlântico Sul, conseqüentemente alterando o comportamento da circulação sobre estas regiões (sobre o NEB, tem-se anomalia de movimento ascendente).

Baseado em análise de correlação CHUNG (1982), avaliou a influência relativa da TSM e dos campos de vento à superfície em várias partes do oceano Atlântico tropical sobre a precipitação em Quixeramobim (no estado do Ceará). As evidências apresentadas pelas análises sugerem que as secas no NEB são o resultado de um deslocamento anormal para o norte da região de convergência equatorial onde a TSM é mais quente, causada pela intensificação da circulação do anti-ciclone do Atlântico sul.

A circulação atmosférica de grande-escala sobre o oceano Atlântico tropical em relação às anomalias extremas de precipitação no norte e no sul do Nordeste foi discutida por CHU (1983). As análises indicaram que o mecanismo da circulação geral das

anomalias de precipitação diferem entre áreas vizinhas. As variações climáticas no norte do Nordeste são claramente definidas em termos da circulação de grande-escala, enquanto que, na parte sul essas características são menos evidentes.

Um estudo comparativo entre anos secos e úmidos para a região de Sahel (África) foi realizado por HASTENRATH (1984). Os resultados revelaram uma configuração do tipo dipólo anti-simétrico de anomalias de TSM no Atlântico, com anos úmidos associados com TSM mais quente que o normal no Atlântico norte e TSM mais fria ao sul do Equador.

As secas severas observadas durante os anos de 1982-1983 em dezembro-janeiro-fevereiro (DJFMAM) sobre grandes áreas continentais tropicais, inclusive o Norte do Nordeste e parte da região amazônica, estiveram associadas com o evento El Niño. A precipitação abaixo da normal sobre estas regiões parece ter sido influenciada por um jato subtropical sobre a América do Sul e Pacífico Leste, situação de Bloqueio em latitudes médias, além do aparente deslocamento e intensificação da célula de Walker do Atlântico (KOUSKY e CAVALCANTI, 1984; KAYANO, 1988).

A partir de análise em componentes principais LOUGH (1986) também identificou as mesmas características de TSM sugerida por HASTENRATH (1984) sobre o Atlântico tropical. As análises evidenciaram ainda que o segundo autovetor significativo de TSM mensal e sazonal apresenta uma significativa relação com a precipitação no Sahel, porém, essa relação depende dos padrões das anomalias de precipitação de grande escala. O autor sugere ainda

que na escala de tempo mensal a pressão ao nível do mar (PNM) forçante da TSM é mais forte que os efeitos das TSM na circulação atmosférica. As anomalias de TSM sobre o oceano Atlântico tropical também estão relacionadas com as anomalias de PNM sobre o oceano Pacífico equatorial.

O conhecimento da influência da ZCIT do Atlântico tropical sobre a precipitação da região Norte do Nordeste foi ampliado por UVO e NOBRE (1989) a partir da relação com as anomalias da circulação atmosférica e de TSM de grande escala. A correlação entre a posição da ZCIT e a TSM sugerem que a partir de fevereiro, apresenta-se um padrão tipo dipólo no Atlântico, onde TSM mais fria no Atlântico Norte e mais quente no Atlântico Sul indicam posição mais ao Sul da ZCIT. Eles sugerem ainda que a TSM do Atlântico Sul em dezembro é importante para a estimativa da posição da ZCIT em fevereiro.

Um modelo de regressão multivariada foi adaptado por HASTENRATH (1990) para prever a precipitação sobre o Nordeste baseado nos seguintes preditores: Pré-estação de precipitação no Nordeste, campos da componente meridional do vento à superfície sobre o Atlântico tropical (ambos indicadores da posição latitudinal da ZCIT), TSM no domínio do Atlântico Norte e Atlântico Sul, e TSM no Pacífico equatorial (índice de Oscilação Sul). A variância explicada pelas cinco primeiras EOFs estiveram entre 45% e 55% para os campos da componente meridional do vento, e de 65% à 81% para os campos de TSM.

Os padrões de grande escala das TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais foram submetidos à técnica de análise em componentes principais por SANSIGOLO (1990). Os coeficientes temporais para as componentes principais do Atlântico e do Pacífico foram usados como preditores nas análises de regressão múltiplas e análise discriminante. Os resultados mostraram que a primeira e segunda componentes principais para o Atlântico (A1 e A2, respectivamente) e a primeira componente principal para o Pacífico (P1), média de dezembro até fevereiro, acumulam respectivamente 16.7%, 15.2%, 24.7% da variância de TSM. A componente principal do pacífico foi identificada como preditora potencial das secas no Norte-Nordeste do Brasil. A partir da análise de regressão múltipla dois preditores foram escolhidos, A1 e P1, explicando 50% da variância dos dados observados (equação 2.1). A destreza dos anos secos, normais e chuvosos foi de 56%, 69% e 86% respectivamente. Portanto, segundo o autor, boas estimativas de precipitação sazonal na região Norte-Nordeste do Brasil podem ser feitas em março a partir das anomalias de grande escala das TSM do Atlântico e Pacífico.

$$P = - 0.09A1 + 0.04P1 \quad (2.1)$$

As características climatológicas da precipitação no leste do NEB foram investigadas por LIMA (1991). Os principais processos responsáveis pela variação interanual da precipitação sobre a região são a posição e intensidade dos sistemas de alta pressão no Atlântico sul (segundo a autora, parece ser o mecanismo que melhor determina a qualidade da estação chuvosa nessa região), as ocorrências ou não de El Niño e a TSM no Atlântico. As

configurações tipo dipólo de TSM sobre o Atlântico tropical verificada para o norte do Nordeste segundo HASTENRATH e HELLER (1977) e MOURA e SHUKLA (1981) também foi verificada na estação chuvosa do litoral leste do Nordeste. A diferença segundo a autora é com relação aos centros de máxima correlação e com a magnitude das mesmas que foram menores aos obtidos por estes autores. As correlações defasadas entre as anomalias de TSM e a precipitação mostraram que esse padrão tipo dipólo se estabelece em um período antes da estação chuvosa, onde o aumento (redução) das TSMs aumenta (reduz) a precipitação no litoral leste do Nordeste. A autora sugere ainda que o monitoramento das TSMs na pré-estação chuvosa do litoral leste do Nordeste do Brasil dá uma boa indicação da qualidade da estação chuvosa nessa região.

Um esquema de previsão baseado em autovetores de TSM anômalas sobre o Atlântico tropical e Pacífico equatorial foi desenvolvido por WARD e FOLLAND (1991). Eles afirmam que 35-50% da variância da precipitação no Nordeste é explicada por um modelo de regressão linear múltipla de dois preditores onde a média de anomalias de TSM de novembro-janeiro são usadas. Ainda segundo os autores, esses resultados devem ser preliminarmente suficientes para a previsão e que a destreza das previsões sazonais da precipitação baseadas nas anomalias de TSM pode ser aumentada se as TSMs durante a estação pudessem ser previstas integralmente.

Existe uma tendência das ocorrências de episódios ENOS acontecerem simultaneamente em torno de um ano de seca no NEB. ALVES e REPELLI (1992) investigaram a influência de 17 ocorrências

de ENOS, fase quente, na distribuição das chuvas sobre o setor norte do NEB e suas respectivas sub-regiões. Os resultados mostraram que sobre o setor norte do NEB não há tendência predominante para anos de estiagem quando comparado à ocorrências de anos normais ou muito chuvosos. Quanto à distribuição de chuvas intra-regionais a resposta a este fenômeno é bastante variada, devendo-se às características específicas de cada sub-região. Ainda segundo os autores, as ocorrências de ENOS e sua relação com os anos de estiagem prolongadas sobre o setor norte do NEB dependem do grau e das características espaciais e temporais das anomalias de TSM do oceano Pacífico equatorial.

Através de análises de correlação, RODRIGUES DA SILVA (1992), salienta que o relacionamento entre o El-Niño e as secas no Nordeste é mais forte em uma faixa de latitudes compreendidas entre 4.5°S e 14.5°S. Essa relação decresce em direção à latitudes inferiores a 4.5°S, onde o regime de chuvas é influenciado pela ZCIT e em direção à latitudes superiores a esta faixa, onde o regime de chuvas é afetado principalmente pela entrada de frentes oriundas do sul do Brasil.

A importância da circulação atmosférica sobre o oceano Atlântico norte no período de janeiro-fevereiro-março (JFM), para o desenvolvimento de padrões de TSMs anômalos sobre o oceano Atlântico tropical durante março-abril-maio (MAM) foi evidenciada e discutida por NOBRE (1993). Durante este período o Atlântico Norte está mais frio que o normal e o Atlântico Sul mais quente, a banda de máxima precipitação associada com a ZCIT está mais deslocada para o Sul. A mudança para o Norte da ZCIT está associada com os

anos em que as anomalias de TSM tipo dipólo mostram fase inversas (Norte mais quente e Sul mais frio). O autor sugere que o padrão tipo dipólo evidenciado pela segunda EOF (Empirical Orthogonal Function) de anomalias de TSM do Atlântico para o período de dezembro de 1963 a novembro de 1987 (caso de 12 meses) explica uma grande parte da variabilidade da precipitação sazonal (fevereiro-junho) sobre o norte do Nordeste. Porém, a primeira EOF da componente meridional do vento mostra uma relação mais forte com a precipitação do norte do Nordeste. Estes resultados sugerem que a componente meridional do vento à superfície sobre o Atlântico tem um maior valor prognóstico em relação às anomalias de TSM para prever anomalias de precipitação sobre o norte do Nordeste.

Direcionados ao estudo do diagnóstico de ocorrências climáticas extremas sobre o norte do NEB e sua previsão HASTENRATH e GREISCHAR (1993) sugerem que importantes informações prognósticas estão contidas na precipitação acumulada e nos campos da componente meridional do vento e temperatura da superfície do mar sobre o oceano Atlântico.

As mudanças do vento ao longo da costa leste, segundo RAO *et al.* (1993), sugerem que a diminuição das chuvas no inverno do litoral leste do NEB está associada com ventos de sudeste desenvolvendo-se perpendicularmente à costa. A intensidade e a localização da alta-subtropical no Atlântico sul parece ter um importante efeito na precipitação sobre o leste do Nordeste. As anomalias de TSM no quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril (JFMA) no Atlântico sudeste estão positivamente relacionadas com as anomalias de precipitação do leste do Nordeste.

No sentido de diagnosticar e prognosticar a precipitação interestacional sobre o Nordeste do Brasil, UVO et al. (1994) empregaram uma técnica de análise multivariada conhecida como decomposição de valores singulares (DVS) à matriz de covariância entre as anomalias de precipitação mensal sobre o NEB e a temperatura da superfície do mar dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais. Os autores concluíram a partir de resultados baseados em análises simultâneas para os dois campos de variáveis, que a influência do oceano Pacífico sobre a estação chuvosa do Nordeste foi mais evidente em março. A TSM do Oceano Atlântico apresentou uma relação relativamente forte com a precipitação no Nordeste abrangendo o início da estação chuvosa (fevereiro) e também sua duração. Durante os meses de abril e maio, as análises mostraram que o dipólo sobre o Atlântico e o sinal do El Niño no Pacífico influenciaram sobre a posição da ZCIT, apresentando uma relação mais forte com o padrão do Atlântico. Os resultados referentes às análises por "lags" mostraram que janeiro apresenta o melhor potencial de previsão para toda a precipitação da estação chuvosa. Dentro da estação chuvosa, as anomalias de TSM do oceano Atlântico parecem ser o melhor parâmetro para prever a precipitação mensal. Por outro lado, a precipitação em março está melhor relacionada com as anomalias de TSM na região do El Niño em janeiro e fevereiro.

As condições oceânicas e atmosféricas associadas com as precipitações anômalas na região da costa da Guinéa e Sahel foram analisadas por WAGNER e DA SILVA (1994). Segundo os autores as anomalias de precipitação em Sahel e na costa da Guinéa estão associadas com um padrão de TSM anti-simétrico e simétrico próximo

ao equador, respectivamente. Investigaram ainda a relação dos campos de vento à superfície e pressão ao nível do mar com este padrão de TSM, apresentando-se dinamicamente consistente com o ajustamento hidrostático da camada limite tropical, e que os efeitos das anomalias de radiação de ondas curtas e o fluxo de calor latente sobre os oceanos parecem representar um importante papel no decaimento das anomalias de TSM.

Com a finalidade de estudar a estrutura da atmosfera sobre o Nordeste do Brasil durante os anos anormalmente chuvosos, ARAGÃO *et al.* (1994) realizaram experiências com o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Laboratório de Meteorologia Dinâmica (MCGA-LMD) do Centre Nationale de Recherche Scientifique (CNRS) da França. Os resultados mostraram que as flutuações interanuais de precipitação estão ligadas àquelas dos oceanos tropicais em resposta aos fenômenos ENOS e o dipólo do Atlântico, sendo que: O oceano Pacífico positivo (quente) e o dipólo do Atlântico negativo (Atlântico sul frio e Atlântico norte quente) favorece a condição de seca sobre o Nordeste; e Pacífico negativo (frio) e o dipólo positivo (Atlântico sul quente e Atlântico norte frio) corresponde a um excesso de chuva sobre o Nordeste (Fig. 2.1). Para os meses de março e abril, normalmente considerados chuvosos no Nordeste, ocorrem mudanças nas circulações de Hadley e Walker sobre a região com subsidência anormal nos anos considerados secos e movimento ascendente anormal nos anos com excesso de precipitação.

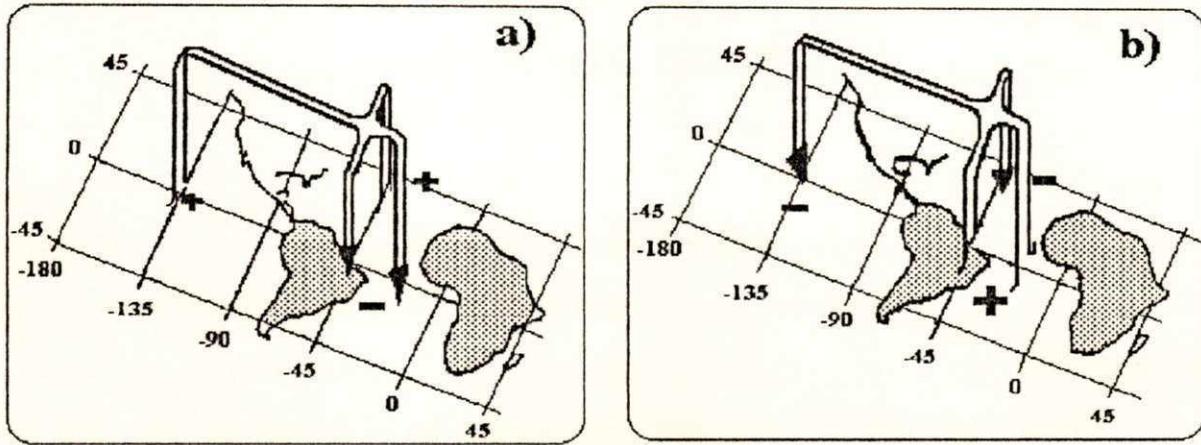


Figura 2.1: Desenho esquemático das anomalias das circulações de Hadley e Walker em relação às TSM. a) Pacífico quente, Atlântico Norte quente e Atlântico Sul frio; b) Pacífico frio, Atlântico Norte frio e Atlântico Sul quente. Fonte: ARAGÃO et al. (1994).

Portanto, como sugerem os resultados das pesquisas, as interações oceano-atmosfera são de grande importância no estudo da variabilidade da precipitação pluviométrica sobre os trópicos, e a necessidade de um conhecimento mais aprofundado sobre a influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais na distribuição da precipitação sobre a região Nordeste do Brasil.

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo enfatiza-se alguns aspectos de duas técnicas de análises de séries temporais que serão utilizadas como partes fundamentais no estudo da previsibilidade da precipitação do NEB:

1) Análise harmônica, afim de identificar periodicidades significativas na série de anomalias de TSM de modo a auxiliar no estudo da previsibilidade; 2) A técnica de Análise em Componentes Principais (ACP) aplicada à série harmônica (parte determinística) obtida anteriormente, utilizada aqui para redução e seleção de variáveis.

3.1. Análise Harmônica

As flutuações periódicas podem ser analisadas através da teoria da análise harmônica. De acordo com os princípios da matemática, uma função contínua, dentro de um certo intervalo de tempo, pode ser representada por uma série infinita de funções seno e cosseno.

A estimativa de parâmetros harmônicos em uma componente periódica depende da equação matemática de composição da série. Considerando:

$$X_t = \mu_t + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Onde μ_t é a componente periódica e ε_t a componente aleatória assumida ser independente e normalmente distribuída, isto é, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$, onde σ^2 é desconhecido.

A propriedade básica de uma série periódica é que ela repete-se em intervalos regulares. Esta série pode ser expandida em série de fourier e pode ser representada matematicamente em duas formas muito conhecidas.

$$\mu_t = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j \cos(W_j t) + b_j \sin(W_j t)$$

ou

$$\mu_t = a_0 + \sum_{j=1}^m C_j \cos(W_j t + \phi_j) \tag{3.2}$$

Em que a_0 é a média da série, a_j e b_j são os coeficientes de fourier e C_j e ϕ_j são as amplitudes e o ângulo de fase dos harmônicos, respectivamente, m o número de harmônicos significativos e W_j a frequência angular. Estes parâmetros são estimados por:

$$C_j = (a_j^2 + b_j^2)^{1/2} \tag{3.3}$$

$$\phi = \arctg\left(\frac{b_j}{a_j}\right) \tag{3.4}$$

Defini-se os coeficientes de fourier por:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \quad (3.5)$$

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \cos W_j t \quad (3.6)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \sin W_j t \quad (3.7)$$

onde $W_j = \frac{2\pi j}{N}$, para $j = 1, 2, \dots, m$

A forma prática de se fazer a análise espectral é através da análise do espectro da variância, o qual, é mais tratável do ponto de vista de significância estatística e interpretação física do fenômeno. As informações são obtidas a partir das análises dos diversos componentes de frequência que contribui para a variância total, trabalha-se portanto com o espectro normalizado dado pela expressão:

$$CV(\%) = \frac{C_j^2}{2S^2} \times 100 \quad (3.8)$$

Onde: CV é a contribuição a variância e S^2 a variância da série.

3.1.1. Teste de Significância dos Harmônicos

O periodograma, que é um estimador do espectro, é muito útil na identificação de periodicidades que não são aparentes em uma série temporal. Entretanto, diante dos picos observados no periodograma, pode-se concluir que representam um harmônico

significativo ou que são devidos a flutuações aleatórias. Desta forma, aplica-se testes estatísticos afim de determinar se estes picos observados no periodograma são ou não significativos.

A inferência estatística é feita sobre o comportamento da função μ_t , onde o teste de "Fisher" testa a hipótese da não existência de uma componente periódica, ou seja:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_N \quad (3.9)$$

O parâmetro usado no teste de significância de vários harmônicos é a variância do j -ésimo harmônico. Se a variância deve ser estimada apartir dos dados da amostra, que é o caso usual, o teste de significância de "Fisher" deve ser aplicado, o qual permite separar harmônicos significativos. Deste modo, defini-se a estatística g_r como:

$$g_r = \frac{C_j^2 \max}{2S^2} \quad (3.10)$$

Para testar a significância dos harmônicos, com a variância dos j -ésimo harmônicos, $\frac{C_j^2}{2}$, arranjadas em ordem decrescente com $C_j^2 \max$ o maior valor dessa seqüência e S^2 a variância estimada da série. Para $m = \frac{N}{2}$ e $m = \frac{(N-1)}{2}$ se N for um número par ou ímpar, respectivamente, onde N é o tamanho da amostra, a probabilidade P , segundo YEVJEVICH (1971), que o valor de g_r dado pela equação (3.10) deva exceder um valor g crítico é obtido pela expressão:

$$P(g_r > g) = m(1-g)^{m-1} - \frac{m(m-1)}{2} (1-2g)^{m-1} + \dots \\ \dots (-1)^{k-1} \frac{m!}{k!(m-k)!} (1-kg)^{m-1} \quad (3.11)$$

Em que \underline{K} é o maior inteiro menor que $1/g$, \underline{P} o nível de significância desejado e \underline{m} o número de harmônicos ($N/2$).

Uma aproximação considerada suficiente para \underline{g} crítico é obtida com o primeiro termo do lado direito da sequência (3.11). Esta relação foi também aproximada para investigar a probabilidade de dois ou mais harmônicos serem simultaneamente significativos. Nesta aproximação o i -ésimo harmônico tem valor de \underline{g} crítico dado por:

$$P = \sum_{j=1}^k (-1)^{j+1} \frac{m! (1-jg)^{m-1}}{(m-j)! (j-1)! (i-1)! j!} \quad (3.12)$$

O teste por tanto rejeita H_0 se g_r for maior que o g crítico correspondente ao nível de significância desejado. Dessa forma pode-se fazer inferências sobre os picos observados no periodograma e estabelecer se são ou não significativos.

3.2. Análise em componentes principais

Muitos métodos de análises de dados têm sido desenvolvidos afim de determinar fenômenos "principais e ocultos" que passam despercebidos quando se trabalha com um conjunto muito grande de dados.

A técnica de análise em componentes principais (ACP, como segue) tem por objetivo a descrição de um conjunto de dados. É um método fatorial que se baseia na redução do número de variáveis a partir de novas variáveis sintéticas obtidas pela combinação linear das \underline{p} variáveis originais, porém, essa redução só será possível se estas variáveis são dependentes e correlacionadas entre si (BOUROCHE e SAPORTA, 1982).

A técnica consiste em se projetar os \underline{n} indivíduos localizados em um espaço vetorial de dimensão \underline{p} , sobre uma direção desse espaço (chamada de direção principal). O ajuste das direções \underline{a} adequada pode ser expressa como as soluções da seguinte equação:

$$Ra = \lambda a \quad (3.13)$$

sendo que \underline{R} é uma matriz correlação simétrica entre as variáveis originais, \underline{a} são os autovetores da matriz de correlação e $\underline{\lambda}$ o autovalor correspondente.

A solução da equação (3.13) implica em um número igual a \underline{p} direções principais (a_1, a_2, \dots, a_p) as quais são ortonormais. Os vetores iniciais \underline{Y} passam a ter uma imagem \underline{C} que cumpre com a seguinte relação:

$$Y_n = AC_n \quad (3.14)$$

sendo $Y_n = \begin{vmatrix} Y_{1n} \\ Y_{2n} \\ \cdot \\ Y_{jn} \end{vmatrix}$ e $C_n = \begin{vmatrix} C_{1n} \\ C_{2n} \\ \cdot \\ C_{pn} \end{vmatrix}$ vetores coluna

\underline{A} é o operador mudança de base (ou matriz de direções principais), é uma matriz quadrada constituída de vetores coluna \underline{a} . Como \underline{A} é ortonormal, logo:

$$A^{-1} = A^T \quad (3.15)$$

$$\text{portanto: } C_n = A^T Y_n \quad (3.16)$$

Os vetores originais \underline{Y} , quando referidos à base \underline{a} , apresentam componentes C_k que acumulam a máxima variância possível. Como estão referidos às direções principais, logo serão denominadas de componentes principais possuindo as seguintes propriedades:

- a) A variância acumulada por uma componente principal será igual ao autovalor $\underline{\lambda}$ da matriz de correlação \underline{R} correspondente a essa direção principal. As componentes principais serão ordenadas de acordo com a ordem decrescente de $\underline{\lambda}$;
- b) As componentes principais são não-correlacionadas entre si, são uma combinação linear das variáveis originais, ou seja:

$$C_k = a_{11}Y_1 + \dots + a_{jk}Y_j + \dots + a_{nk}Y_n \quad (3.17)$$

c) Há redução do número de variáveis significativas para descrever o sistema. O desenvolvimento exato de uma variável y do n -ésimo ponto pode ser dado pelo equação (3.14) da seguinte maneira:

$$Y_i = a_{j_1}C_1 + a_{j_2}C_2 + \dots + a_{j_k}C_k \quad (3.18)$$

Onde \underline{c} e \underline{a} têm valores com limites $c_k^2 \approx \lambda_k$, $a_{jk}^2 \leq 1$. Logo a equação (3.14) admite a aproximação:

$$Y_i \approx a_{i1}C_1 + a_{i2}C_2 + \dots + a_{jm}C_m, \quad m < k, n = 1, 2, \dots, N \quad (3.19)$$

A correlação entre a j -ésima variáveis padronizadas e as k -ésima componentes é dada por:

$$\text{Corr}(Y_j, C_k) = (\lambda_k)^{1/2} a_{jk} \quad (3.20)$$

Esta relação mostra que a matriz de autovetores \underline{A} pode ser transformada em uma matriz $p \times p$ de correlação chamadas de "factor loadings" e são usadas para estabelecer a significância física das componentes, ou seja, se alguma componentes é altamente correlacionada com quaisquer variáveis, logo estas componentes são um reflexo destas variáveis (HAAN, 1977).

3.2.1. Componentes Principais Rotacionadas

Afim de se obter uma máxima representatividade da técnica de análise em componentes principais, procede-se a uma transformação ortogonal das "factor loadings" (método varimax de rotação ortogonal). Este método maximiza a variância dos "loadings"

entre cada componente e uma determinada variável. Os mecanismos de transformação serão descritos a seguir.

A equação (3.16) define as componentes principais. Os "factor loadings", equação (3.20), fornece as correlações entre cada componente e as variáveis originais. Essa matriz deve ser submetida a rotação por uma matriz ortogonal \underline{T} de modo que as correlações entre as variáveis e as componentes são mudadas, ou seja:

$$L^* = LT \quad (3.21)$$

A equação (3.21) produz "loadings" bem mais discriminados, onde alguns são altos, outros poucos são intermediários e outros são baixos. A partir desse novo conjunto de "factor loadings" um novo conjunto de componentes principais, agora rotacionadas, deve ser obtido pela expressão.

$$C^* = YR^{-1}L^*\lambda^{\frac{1}{2}} \quad (3.22)$$

CAPÍTULO 4

DADOS E METODOLOGIAS

Constam neste capítulo a descrição dos dados utilizados na elaboração deste trabalho, assim como, os métodos empregados à eles para posterior análise de resultados.

4.1. Disponibilidade de dados

4.1.1. Precipitação pluviométrica

Foram utilizados dados de totais mensais de precipitação referentes aos postos pluviométricos distribuídos sobre o NEB. Estes dados foram obtidos junto ao departamento de Ciências Atmosféricas do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba do Campus II (DCA-CCT-UFPB) cedidos à esta instituição pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Foram escolhidos 113 postos pluviométricos com período de registro de 1970-1988, porém, uma série maior, acima de 50 anos de dados, foi utilizada afim de se obter as médias e desvios padrões climatológicos mensais, usados para o cálculo dos índices pluviométricos mensais representativos dos meses considerados chuvosos do NEB, ou seja de novembro a julho, abrangendo desta forma o período chuvoso dos regimes Norte (FMAM), Sul (NDJF) e Leste (AMJJ) do NEB, segundo STRANG (1972); KOUSKY (1979) e MONTE (1986).

A distribuição geográfica dos 113 postos pluviométricos considerados no cálculo dos índices de precipitação está representado na Figura 4.1 e estão listados na Tabela 4.1.

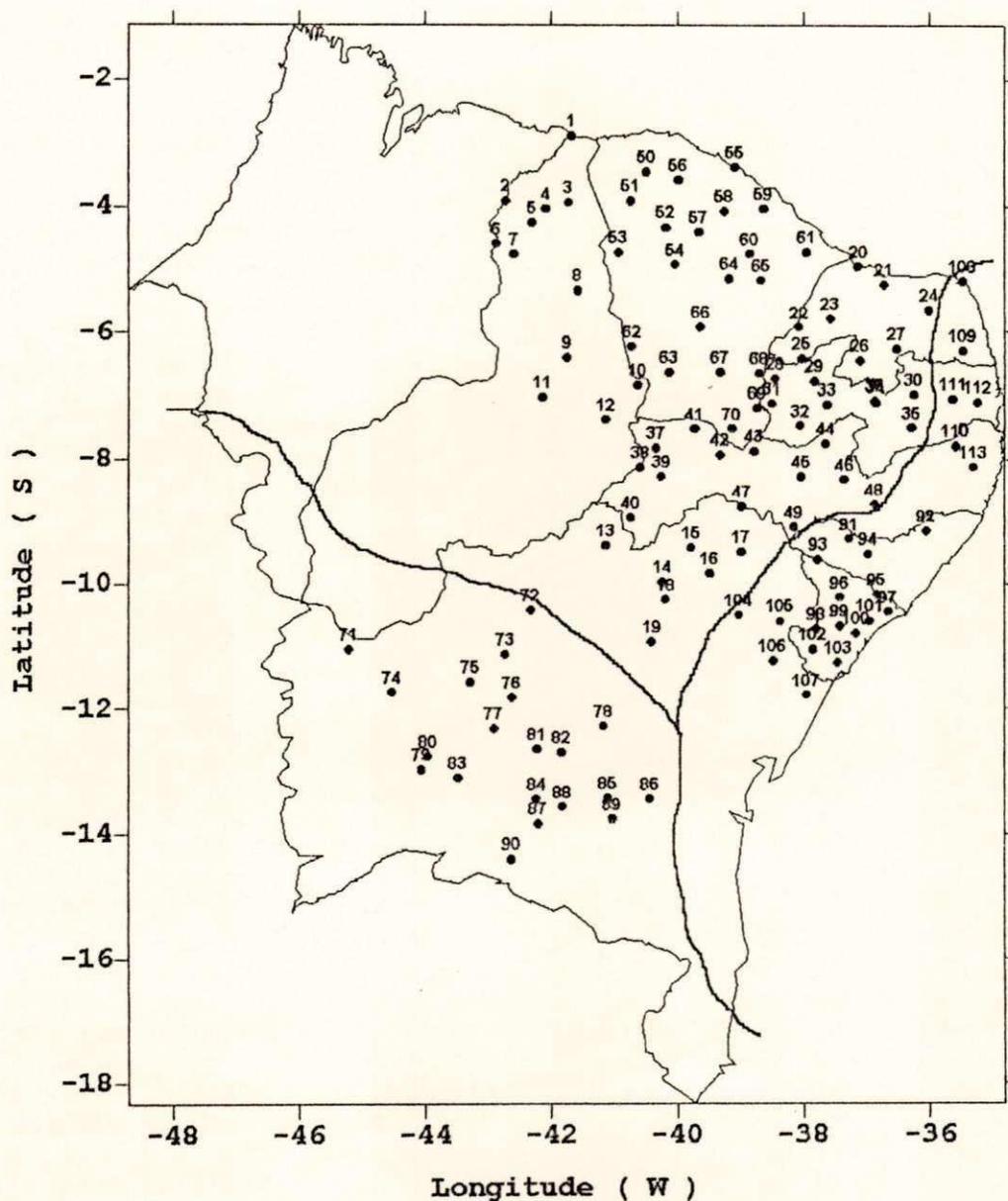


Figura 4.1: Distribuição espacial dos 113 postos pluviométricos do Nordeste do Brasil utilizados no estudo. Os números de ordem da Tabela 4.1 correspondem aos mesmos desta Figura.

Tabela 4.1: Lista dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho com suas respectivas localizações geográficas. Período de registro de 1970-1988.

ORDEM	CÓDIGO	POSTO PLUVIOMÉTRICO	ESTADO (Sigla)	LAT. (S) (° ')	LONG. (W) (° ')	ALT. (m)
1	2756769	LUIZ CORREIA	(PI)	02 53	41 40	0010
2	2774857	PORTO	(PI)	03 54	42 43	0032
3	2776859	PIRACURUCA	(PI)	03 56	41 43	0070
4	2785086	BATALHA	(PI)	04 02	42 05	0080
5	2785541	BARRAS	(PI)	04 15	42 18	0075
6	2794129	UNIÃO	(PI)	04 35	42 52	0050
7	2794584	JOSÉ DE FREITAS	(PI)	04 45	42 35	0130
8	3706689	CASTELO DO PIAUI	(PI)	05 20	41 34	0250
9	3726851	VALENÇA DO PIAUI	(PI)	06 24	41 45	0295
10	3738679	PIO IX	(PI)	06 50	40 37	0550
11	3745075	OEIRAS	(PI)	07 01	42 08	0170
12	3747775	JAICOS	(PI)	07 22	41 08	0255
13	3787874	CASA NOVA	(BA)	09 24	41 08	0380
14	3799955	BARRINHA	(BA)	09 58	40 14	0500
15	3880846	BARRO VELHO	(BA)	09 26	39 47	0400
16	3891606	UAUA	(BA)	09 50	39 29	0439
17	3892004	VÁRZEA DA EMA	(BA)	09 30	38 59	0380
18	4709564	JAGUARARI	(BA)	10 15	40 11	0660
19	4719823	SAÚDE	(BA)	10 56	40 24	0535
20	2895974	AREIA BRANCA	(RN)	04 57	37 08	0005
21	3806557	PENDÊNCIA	(RN)	05 15	36 43	0020
22	3813889	TABULEIRO GRANDE	(RN)	05 56	38 04	0180
23	3814589	CARAÚBAS	(RN)	05 47	37 34	0146
24	3818301	JARDIM DE ANGICOS	(RN)	05 39	36 00	0150
25	3823898	ALEXANDRIA	(RN)	06 25	38 01	0315
26	3825981	CAICÓ	(RN)	06 27	37 06	0143
27	3826598	CURRAIS NOVOS	(RN)	06 16	36 31	0350
28	3833413	ANTENOR NAVARRO	(PB)	06 44	38 27	0240
29	3834538	POMBAL	(PB)	06 46	37 49	0178
30	3837953	OLIVEDOS	(PB)	06 59	36 15	0545
31	3843202	S. JOSÉ DE PIRANHAS	(PB)	07 07	38 30	0300
32	3843992	NOVA OLINDA	(PB)	07 28	38 03	0315
33	3844279	CATINGUEIRA	(PB)	07 08	37 37	0290
34	3846231	SALGADINHO	(PB)	07 06	36 51	0410
35	3857044	CABACEIRAS	(PB)	07 30	36 17	0390
36	3866128	S. JOÃO DO TIGRE	(PB)	07 04	36 52	0616
37	3759636	BARRA DE S. PEDRO	(PE)	07 50	40 20	0444
38	3768286	STA. FILOMENA	(PE)	08 08	40 35	0534
39	3769552	STA. CRUZ	(PE)	08 16	40 15	0489
40	3778954	PAU FERRO	(PE)	08 57	40 44	0385
41	3850058	EXÚ	(PE)	07 31	39 43	0510
42	3851839	SERRITA	(PE)	07 56	39 19	0425
43	3852745	S. JOSÉ DO BELMONTE	(PE)	07 52	38 47	0460
44	3854570	AFOGADOS DA INGAZEIRA	(PE)	07 45	37 39	0525
45	3863596	BETÂNIA	(PE)	08 17	38 02	0431
46	3865632	ALGODÕES	(PE)	08 19	37 21	0507
47	3872508	BELÉM DO S. FRANCISCO	(PE)	08 46	38 58	0305
48	3876429	TARA	(PE)	08 44	36 52	0586
49	3883271	TACARATU	(PE)	09 06	38 09	0550
50	2769904	MERUÓCA	(CE)	03 27	40 29	0450
51	2778854	MOCAMBO	(CE)	03 54	40 44	0150
52	2789669	STA. QUITÉRIA	(CE)	04 20	40 10	0190
53	2798416	PORANGA	(CE)	04 44	40 46	0700
54	2799895	ESPÍRITO SANTO	(CE)	04 55	40 02	0301

Segue

Continuação Tabela 4.1

55	2861786	PARACURU	(CE)	03 23	39 05	0010
56	2870109	MIRAIMA	(CE)	03 35	39 58	0070
57	2880871	UBIRAÇU	(CE)	04 24	39 39	0300
58	2881152	PARAMOTI	(CE)	04 04	39 15	0160
59	2882076	GUAIUBA	(CE)	04 02	38 38	0059
60	2892531	OLHO D'ÁGUA	(CE)	04 45	38 51	0150
61	2894413	PALHANO	(CE)	04 44	37 57	0020
62	3728459	PARAMBU	(CE)	06 14	40 43	0470
63	3739279	AIUABA	(CE)	06 38	40 07	0350
64	3801367	URUQUE	(CE)	05 09	39 10	0214
65	3802368	SITIÁ	(CE)	05 10	38 40	0080
66	3810875	CATOLÉ	(CE)	05 55	39 38	0350
67	3831239	CAIPÚ	(CE)	06 38	39 19	0310
68	3832361	UMARI	(CE)	06 39	38 42	0350
69	3840356	SANTANA DO CARIRI	(CE)	07 11	38 44	0480
70	3851075	PORTEIRAS	(CE)	07 31	39 08	0520
71	4629161	FORMOSA DO RIO PRETO	(BA)	11 03	45 12	0491
72	4705839	BOM SUCESSO	(BA)	10 26	42 19	0350
73	4724255	STO. INÁCIO	(BA)	11 07	42 44	0520
74	4730255	TAGUÁ	(BA)	11 04	44 31	0459
75	4733145	MORPARA	(BA)	11 34	43 17	0415
76	4734678	IPUPIARA	(BA)	11 49	42 37	0732
77	4744622	OLIVEIRA DOS BREJINHOS	(BA)	12 19	42 54	0553
78	4747569	WAGNER	(BA)	12 17	41 10	0466
79	4751993	SANTANA	(BA)	12 59	44 03	0580
80	4752512	SERRA DOURADA	(BA)	12 46	43 57	0497
81	4755357	IBITIARA	(BA)	12 39	42 13	0871
82	4756434	BONINAL	(BA)	12 42	41 50	0945
83	4763207	SÍTO DO MATO	(BA)	13 06	43 28	0420
84	4765954	PARAMIRIM	(BA)	13 27	42 14	0593
85	4767883	NOVO ÁCRE	(BA)	13 26	41 06	0590
86	4769914	MARACAS	(BA)	13 27	40 26	0970
87	4775761	S. TIMÓTEO	(BA)	13 51	42 12	0700
88	4776138	RIO DE CONTAS	(BA)	13 34	41 49	1002
89	4777595	CONTENDAS DO SINCORA	(BA)	13 46	41 02	0286
90	4784874	GUIRAPA	(BA)	14 24	42 38	0800
91	3885644	POÇO DAS TRINCHEIRAS	(AL)	09 18	37 17	0255
92	3887392	UNIÃO DOS PALMARES	(AL)	09 10	36 03	0155
93	3894248	PIRANHAS	(AL)	09 37	37 46	0110
94	3896006	MAJOR ISIDORO	(AL)	09 32	36 59	0217
95	4806336	PORTO REAL DO COLÉGIO	(AL)	10 11	36 50	0030
96	4805418	N. S. DA GLÓRIA	(SE)	10 13	37 25	0290
97	4806971	PACATUBA	(SE)	10 27	36 39	0020
98	4814443	SIMÃO DIAS	(SE)	10 44	37 48	0283
99	4815319	ITABAIANA	(SE)	10 41	37 25	0186
100	4815667	LARANJEIRAS	(SE)	10 48	37 10	0009
101	4816211	JAPARATUBA	(SE)	10 36	36 57	0079
102	4824131	BONFIM	(SE)	11 03	37 51	0230
103	4825512	ESTÂNCIA	(SE)	11 16	37 27	0053
104	4811097	EUCLIDES DA CUNHA	(BA)	10 30	39 01	0523
105	4813227	CÍCERO DANTAS	(BA)	10 36	38 22	0420
106	4823406	NOVA SOURE	(BA)	11 14	38 29	0136
107	4834513	ESPLANADA	(BA)	11 47	37 57	0181
108	3809407	TOUROS	(RN)	05 12	35 28	0004
109	3829607	STO. ANTÔNIO	(RN)	06 18	35 28	0095
110	3858684	BOM JARDIM	(PE)	07 48	35 35	0325
111	3748174	ALAGOA GRANDE	(PB)	07 03	35 38	0180
112	3849254	SAPÉ	(PB)	07 06	35 14	0125
113	3869424	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	(PE)	08 07	35 18	0137

4.1.2. Temperatura da Superfície do Mar

Os dados de anomalias de TSM referentes aos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais para o período de 1970-1988 constitui-se no único conjunto de preditores da estação chuvosa do NEB utilizados neste trabalho. Estes dados são uma combinação de dois períodos, sendo compilados, segundo ARAGÃO (1994), por REYNOLDS e GEMMIL (1984) para o período de 1970-1978 e pelo protocolo AMIP ("Atmospheric Model Intercomparison Project") para o período de 1979-1988 (GATES, 1992).

As áreas nos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais foram selecionadas usando os pontos de grade com correlações maiores que 0.6 em valor absoluto entre os índices de precipitação observados para os meses de março e abril e as anomalias de TSM, simultaneamente. Portanto, o índice do Pacífico foi computado como a média de anomalias de TSM em 150 pontos de grade e o índice do Atlântico é a diferença entre as médias de anomalias de TSM do Atlântico Norte (53 pontos de grade) e Atlântico Sul (63 pontos de grade). As regiões assim estabelecidas estão destacadas na Figura 4.2, segundo ARAGÃO *et al.* (1994).

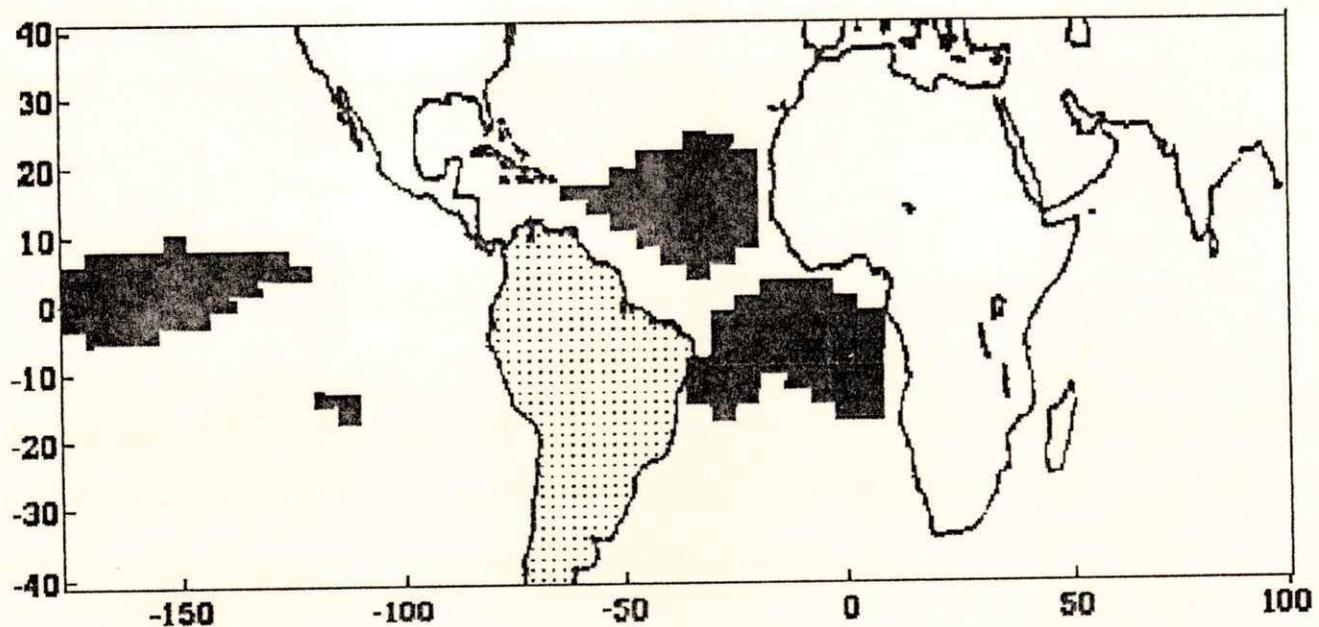


Figura 4.2: Regiões dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais utilizadas na obtenção das anomalias de TSM (Áreas escuras). Fonte: ARAGÃO et al. (1994).

4.2. Métodos de Análise

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho definiu-se uma sequência, a qual constitui-se num conjunto de procedimentos e técnicas estatísticas para o estabelecimento de fórmulas empíricas que interpretem a relação funcional entre as variáveis envolvidas com boa aproximação.

4.2.1. Índices Pluviométricos

Apartir da série de totais mensais de precipitação foram definidos os índices pluviométricos mensais normalizados representativos dos períodos chuvosos do NEB entre novembro-julho, abrangendo portanto os regimes Norte, Sul e Leste do NEB para o anos 1970-1988, os quais foram obtidos como segue:

a) Obtenção dos totais mensais de precipitação para os 113 postos selecionados para compor os índices referentes aos regimes Norte, Sul e Leste do NEB para o período de 1970-1988;

b) Cálculo das médias e desvios padrões mensais de longo período para cada um dos 113 postos (acima de 50 anos de dados) obtidos pelas expressões:

$$P_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P_{jk} \quad e \quad S_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (P_{jk} - \bar{P}_j)^2} \quad (4.1)$$

Onde \underline{N} é o número de anos utilizados.

c) Finalmente, as séries dos índices mensais normalizados de precipitação para cada regime (período 1970-1988) podem ser obtidas pela expressão:

$$IP_{jkr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(P_{jk} - \bar{P}_j)}{S_j} \right)_i \quad (4.2)$$

Onde:

- IP_{jkr} índice de precipitação para o mês j do ano k regime R ;
- P_{jk} Precipitação observada para o mês j do ano k (1970-88);
- \bar{P}_j Precipitação média para o mês j (acima de 50 anos);
- σ_j desvio padrão para o mês j ;
- n número de postos pluviométricos dentro de cada regime;
- i postos

4.2.2. Análise de Correlação

Afim de verificar a relação entre a precipitação de cada mês do período chuvoso do NEB, que vai de novembro-julho, e as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico alguns meses antes de cada mês do período chuvoso assim estabelecido, utilizou-se a técnica de análise de correlação por "lag". Os coeficientes de correlação são assumidos serem igualmente espaçados no tempo, sendo $k = 1, 2, \dots$ meses antes de cada mês do período chuvoso. O coeficiente de correlação para uma amostra de tamanho n é dado por:

$$r_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{(IP_t - \bar{IP}) \cdot (ATSM_{t-k} - \overline{ATSM})}{\sigma_{IP} \cdot \sigma_{ATSM}} \quad (4.3)$$

Onde IP_t é o índice de precipitação de um determinado mês do período chuvoso e TSM_{t-k} as anomalias de TSM dos meses precedentes aos meses do período chuvoso estabelecido anteriormente e \overline{IP} , \overline{ATSM} e σ_{IP} , σ_{ATSM} as médias e os desvios padrões dos índices de precipitação e anomalias de TSM para o período de 1970-1988, respectivamente.

4.2.3. Teste Significância dos Coeficientes de Correlação

Habitualmente deseja-se interpretar se um dado valor do coeficiente de correlação r , combinado com o respectivo tamanho da amostra n , permite concluir, a um determinado nível de significância α , que realmente existe correlação linear entre as variáveis. Dessa forma apesar de r só descrever os dados da amostra, o interesse centraliza-se via de regra, no parâmetro da população ρ . Particularmente deseja-se provar a hipótese nula de que não há relação (linear) alguma na população, ou seja:

$$H_0 : \rho = 0$$

Neste caso utiliza-se a estatística que envolve a distribuição de t de "Student", onde o teste pode ser feito através de :

$$t_{n-2}(\alpha) = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4.4)$$

Onde a variável t se distribui com $\varphi=n-2$ graus de liberdade, a um dado nível de significância α .

4.2.4. Análise Harmônica

A análise precedente é feita analisando a série temporal no domínio do tempo. Porém, muitas vezes periodicidades nos dados devem ser melhor determinadas analisando a série temporal no domínio da frequência.

A teoria da análise espectral postula que uma série temporal é caracterizada por variações sobre um espectro contínuo de frequência composto por uma parte determinística (Previsível) e outra aleatória (não previsível). A parte previsível engloba o conhecimento do fenômeno e é usualmente expressa por uma função matemática, neste caso, a soma de senos e cossenos. A segunda componente, a parte não previsível, devido ao caráter aleatório, impõe-se que a mesma obedeça a algum modelo de probabilidade.

Procede-se portanto à análise harmônica das séries temporais de anomalias de TSM mensais sobre as regiões estabelecidas para o Atlântico e Pacífico tropical para o período de janeiro/1970-dezembro/1988, afim de identificar periodicidades estatisticamente significativas segundo o teste de "Fisher". As anomalias de TSM reproduzidas pela composição destas periodicidades representam a parte previsível da série, as quais foram utilizadas em uma nova análise de correlação por "lag" em relação a cada posto pluviométrico, afim de identificar regiões do NEB correlacionadas significativamente um, dois e três meses antes de cada mês do período chuvoso de novembro-julho.

Um novo conjunto de índices pluviométricos foi definido para as regiões identificadas na análise precedente, considerando os

meses do período chuvoso que melhor se correlacionou com as anomalias de TSM nos três meses anteriores a estes.

4.2.5. Análise em Componentes Principais

Procedeu-se à uma interpretação da técnica de análise em componentes principais apartir da matriz de "factor loadings" a qual mostra a relação entre uma determinada componente e as variáveis originais (parte previsível de anomalias de TSM obtida pelo modelo senoidal, considerando o Atlântico e Pacífico).

Para melhor interpretação das componentes, considerou-se os "factor loadings" de uma componente individual ser alto, neste caso maior que 0.90 para algumas variáveis, com um número mínimo de fatores intermediários e baixos para os restantes. Os "factor loadings" altos sugerem uma alta correlação com a variável ou uma forte similaridade linear entre a componente e a variável. Os de valores intermediários devem indicar alguma relação entre a componente e a variável porém sua significância real deve ser difícil de analisar, enquanto que os "factor loadings" baixos devem indicar que a componente e a variável são independentes ou que a variável não têm nenhuma influência na componente. A fim de obter essa máxima representação das componentes principais, acima definida, procedeu-se a uma transformação ortogonal dos "factor loadings" (método varimax de rotação ortogonal), descrita no capítulo III.

A interpretação dos resultados foi avaliada em um diagrama de correlação, onde serão alocadas as variáveis em questão, cujas coordenadas são suas correlações com as respectivas componentes

principais. As variáveis foram distribuídas no interior de um círculo de raio unitário denominado "círculo de correlação", pois:

$$\alpha_{j_1}^2 + \alpha_{j_2}^2 + \dots + \alpha_{j_k}^2 \leq 1 \quad (4.5)$$

Permitindo distinguir dessa forma as variáveis que estão ligadas entre si ou opostas, com a condição, entretanto, de que as coordenadas referentes as variáveis estejam próximas da circunferência. Na verdade, essa proximidade será verificada para as componentes que acumulam virtualmente a maior parte da variância dos dados originais, \underline{Y}_i .

As séries temporais das componentes principais foram então correlacionadas aos índices pluviométricos de cada mês do período chuvoso que apresentaram correlações significativas com a série previsível de anomalias de TSM.

Através dos "factor loadings rotacionados" foi possível identificar a variável (parte previsível de anomalias de TSM) que representou melhor uma determinada componente. Estas variáveis foram então utilizadas como previsoras em um modelo de regressão linear múltipla, tendo a precipitação como preditando.

4.2.6. Modelo de Regressão Linear Múltipla (MRLM)

Utilizou-se aqui o modelo estatístico de previsão baseado em análise de regressão linear múltipla. Este modelo relaciona uma variável chamada dependente (neste caso, precipitação mensal) às outras variáveis chamadas independentes (neste caso, anomalias de

TSM mensais). Esta relação permite estimar a precipitação de cada mês do período chuvoso do NEB apartir da combinação linear das anomalias de TSM mensais. O modelo na sua forma geral é dado por:

$$P = \beta_0 + \beta_1 ATSM_1 + \beta_2 ATSM_2 + \dots + \beta_i ATSM_i \quad (4.6)$$

Onde \underline{P} indica o valor do índice de precipitação mensal em função das anomalias de TSM mensais selecionadas pela análise em componentes principais e os β_i representam os coeficientes da regressão. Designa-se $\hat{\beta}_i$ como estimadores dos β_i . A partir do período de dados (1970-1988) obteve-se as estimativas dos $\hat{\beta}_i$, compondo dessa forma, as estimativas de \underline{P} através da formula.

$$\hat{P} = \sum_{i=0}^n \hat{\beta}_i ATSM_i \quad (4.7)$$

Agora, \hat{P} é a estimativa de \underline{P} , sendo n o número de variáveis independentes envolvidas no modelo. Para a determinação das estimativas dos coeficientes da regressão, utilizou-se o método dos mínimos quadrados.

Afim de melhorar a previsão sugere-se a construção de intervalos de confiança para as estimativas, os quais podem ser obtidos por:

$$\hat{P} \pm t_c \hat{\sigma}_{res.} \quad (4.8)$$

Onde \hat{P} é a estimativa da precipitação mensal, t_c é obtido pela tabela "t-student" em relação ao grau de liberdade associado à regressão e o nível de significância adotado para a previsão, neste caso 80%, ou seja, pode-se dizer com 80% de confiança que a precipitação estimada pelo modelo cairá dentro desse intervalo e $\hat{\sigma}_{res.}$ o desvio padrão residual do modelo. Convém observar a importância deste desvio na construção dos intervalos de confiança, e modelos, com pequenos valores de desvio produzirão estimativas mais seguras. O nível de significância adotado para a regressão foi de 95%.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência de análises apresentadas a seguir se procura investigar as possíveis relações entre a precipitação no NEB durante o período chuvoso de novembro a julho e as anomalias de TSM, antes de cada mês do período chuvoso acima mencionado, observadas em três áreas previamente estabelecidas sobre os oceanos Atlântico (anomalias tipo dipólo - Atlântico Norte menos Atlântico Sul) e Pacífico tropical (ARAGÃO *et al.*, 1994). Estas relações, a princípio, serão evidenciadas em um NEB subdividido em três regimes predominantes com distribuição espacialmente distinta (STRANG, 1972; MONTE, 1986).

O teste de significância "t-Student" aplicado aos coeficientes de correlação nas análises que se seguem indica que os mesmos, em módulo, igual ou maior a 0.45 e 0.58 são significativos a 95% e 99% respectivamente.

5.1. Relação entre as anomalias de TSM e a Precipitação do NNE

A Figura 5.1 apresenta as correlações entre a precipitação de cada mês da quadra chuvosa do Norte do NEB (FMAM) e as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico tropicais antes de cada mês da quadra chuvosa.

Para o Atlântico, Figura 5.1.a, nota-se uma predominância de correlações negativas. As precipitações observadas nos meses de fevereiro e março apresentam correlações não significativas, aos níveis de significância estabelecidos, com exceção do mês de março

para o "lag 4" (quatro meses antes, ou seja, novembro) apresentando coeficiente de correlação de -0.46 significativo ao nível de 95%. Verificou-se porém que a precipitação nos meses de abril e maio apresentou uma relação mais forte com as anomalias de TSM, principalmente com as do Atlântico. A precipitação no mês de abril apresentou coeficientes da ordem de -0.83, -0.80 e -0.65 para os "lags 0, 1 e 2", respectivamente (ou seja, até dois meses antes), todos significativos ao nível de 99% segundo o teste "t-Student". Os coeficientes significativos à 95% foram verificados para os lags 3, 5, 7 e 8, e foram: -0.54, -0.52, -0.56 e -0.47, respectivamente. O mês de maio apresentou coeficiente de correlação igual a -0.65 para o "lag 0" e -0.63 para o "lag 1" significativos à 99% e -0.56 para o "lag 2" significativo à 95%.

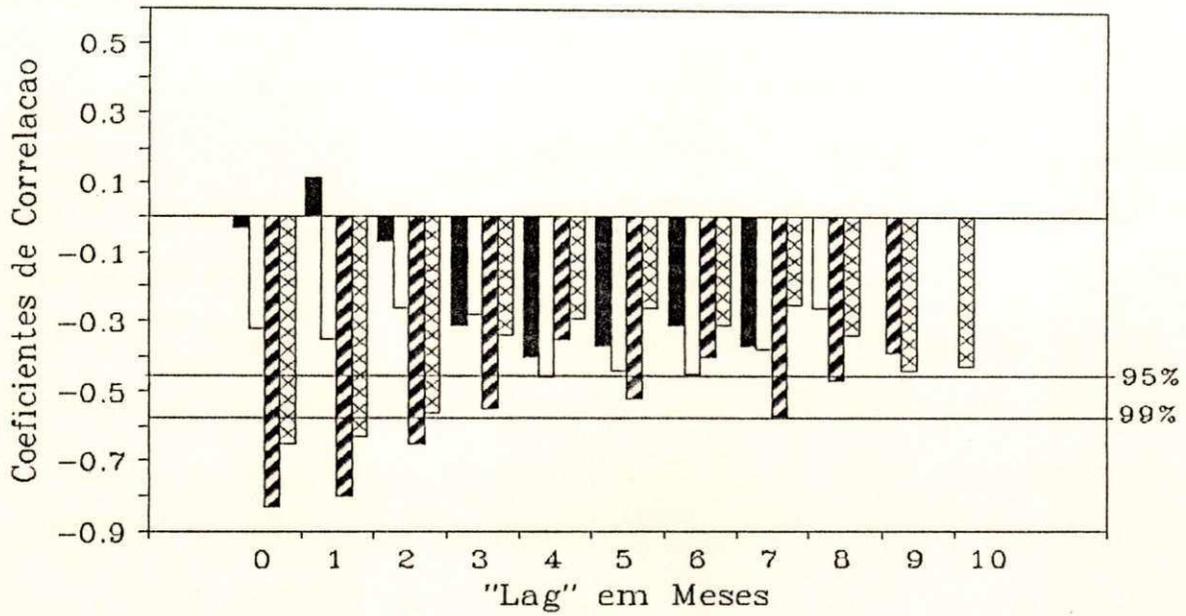
Para o Pacífico, Figura 5.1.b, as correlações mantiveram-se predominantemente negativas, porém os coeficientes com ordem de grandeza inferior aos observados para o Atlântico. Os meses de fevereiro e março apresentaram correlações não significativas aos níveis estabelecidos. Os maiores coeficientes foram observados para os meses de abril e maio, variando de -0.55 para o "lag 0", significativo à 95% para ambos os meses e -0.58 para a precipitação de maio e o "lag 1" significativo ao nível de 99%.

Esses resultados mostram que, com base nas anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico, os meses que apresentaram correlações significativas aos níveis estabelecidos foram abril e maio e para "lags" de até dois meses antes. Houve uma predominância de correlações negativas entre a precipitação do norte do NEB e as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico. A configuração tipo

dipólo negativo (Atlântico Sul mais quente que o Atlântico Norte) favorece a um aumento da precipitação sobre a região.

Para o Pacífico as correlações negativas implica em uma relação entre as ocorrências de anomalias de TSM quentes (frias) e condições de seca (chuva acima do normal) no norte do NEB. Este resultado é consistente com estudos anteriores (WARD e FOLLAND, 1991, ARAGÃO *et al.*, 1994). Os alto valores dos coeficientes de correlação obtidos entre as anomalias de TSM e a precipitação no Norte do Nordeste nos meses de abril e maio sugere que esta região é mais sensível as variações de TSM do oceano Atlântico (HASTENRATH, 1984). MOURA e SHUKLA (1981) mostraram que as correlações máximas entre a precipitação no Norte do Nordeste e as anomalias de TSM sobre o Atlântico tropical se estabelece durante março e abril, apresentando uma configuração tipo dipólo, ou seja, Atlântico Sul positivo e Atlântico Norte negativo.

a)



b)

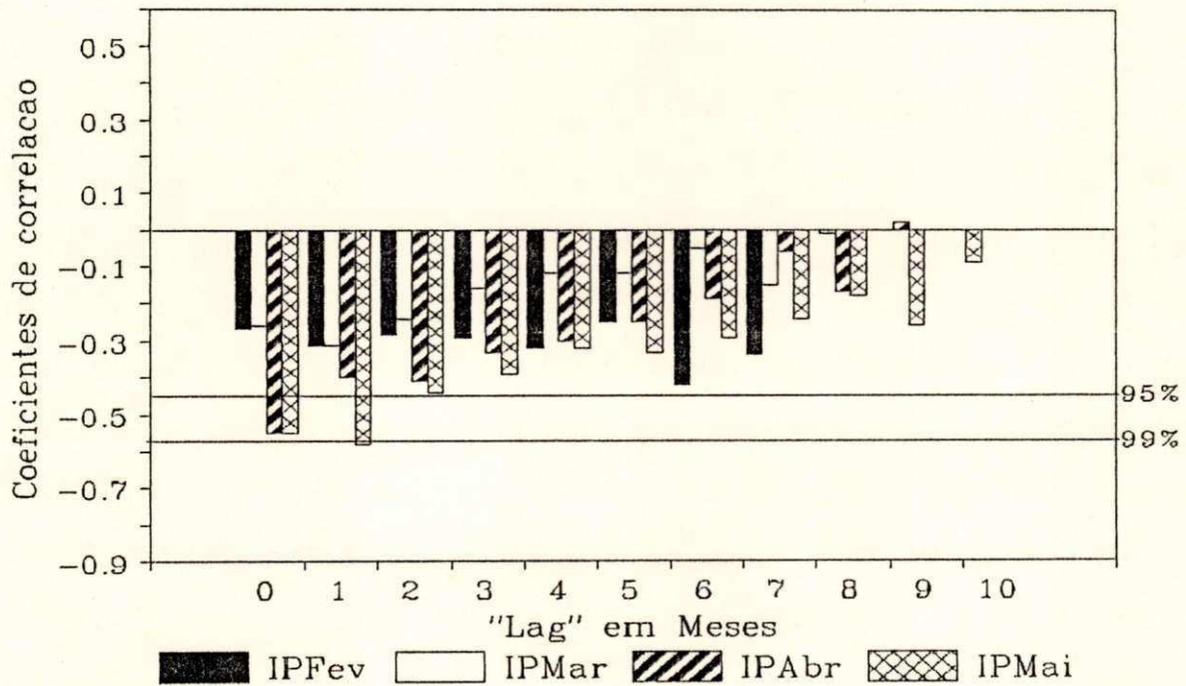


Figura 5.1: Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do norte do NEB (FMAM) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.

5.2. Relação entre as anomalias de TSM e a Precipitação do LNE

A Figura 5.2 evidencia a relação entre as anomalias de TSM sobre o Atlântico e Pacífico nos meses anteriores a cada mês da quadra chuvosa do leste do NEB (AMJJ), respectivamente. Correlações negativas são verificadas na maior parte das análises, assemelhando-se aos padrões verificados para o norte do NEB. Nota-se na Figura 5.2.a relacionamento predominante do Atlântico sobre a precipitação da região, porém com coeficientes com magnitude inferior aos observados para o Norte do NEB. As maiores correlações foram observadas para o mês de maio com coeficientes da ordem de -0.60 , -0.67 e -0.61 para os "lags 0, 1, e 2" (ou seja, até dois meses antes da precipitação de maio) significativos à 99%. Correlações significativas ao nível de 99% também foram verificadas para o mês de abril para os "lags 0 e 1" com coeficientes da ordem de -0.59 . Verificou-se também correlações significativas ao nível de 95% para o referido mês para os "lags 5, 6 e 7" com coeficientes de -0.48 , -0.46 e -0.50 , respectivamente. O mês de junho mostrou-se não relacionado às anomalias de TSM do Atlântico visto que os coeficientes de correlação foram não significativos aos níveis de significância previamente definidos, enquanto que, julho apresentou correlações da ordem de -0.57 e -0.47 para os "lags 8 e 9" significativos à 95%.

Nota-se para o Pacífico, Figura 5.2.b, que as correlações apresentaram-se linearmente decrescendo com o aumento dos "lags". O mês de maio foi o que apresentou correlações mais significativas ao nível de 95% com coeficientes de -0.47 para o "lag 0" e -0.50 para o "lag 1". Os meses de abril, junho e julho apresentaram

coeficientes não significativos aos níveis de significância estabelecidos.

Estes resultados sugerem que a precipitação de abril do litoral Leste do NEB é mais sensível às variações de TSM do Atlântico e para "lags" não superiores a dois. LIMA (1991) estabeleceu que o aumento (redução) das TSM do Atlântico tropical nos períodos pré-estação chuvosa do litoral Leste do NEB aumenta (reduz) a precipitação sobre esta região. Enquanto que esta relação é menos nítida para os casos de ENOS em relação a quadra chuvosa AMJJ, porém, para o período seco SOND a tendência foi de reduzir ainda mais a precipitação do leste do NEB.

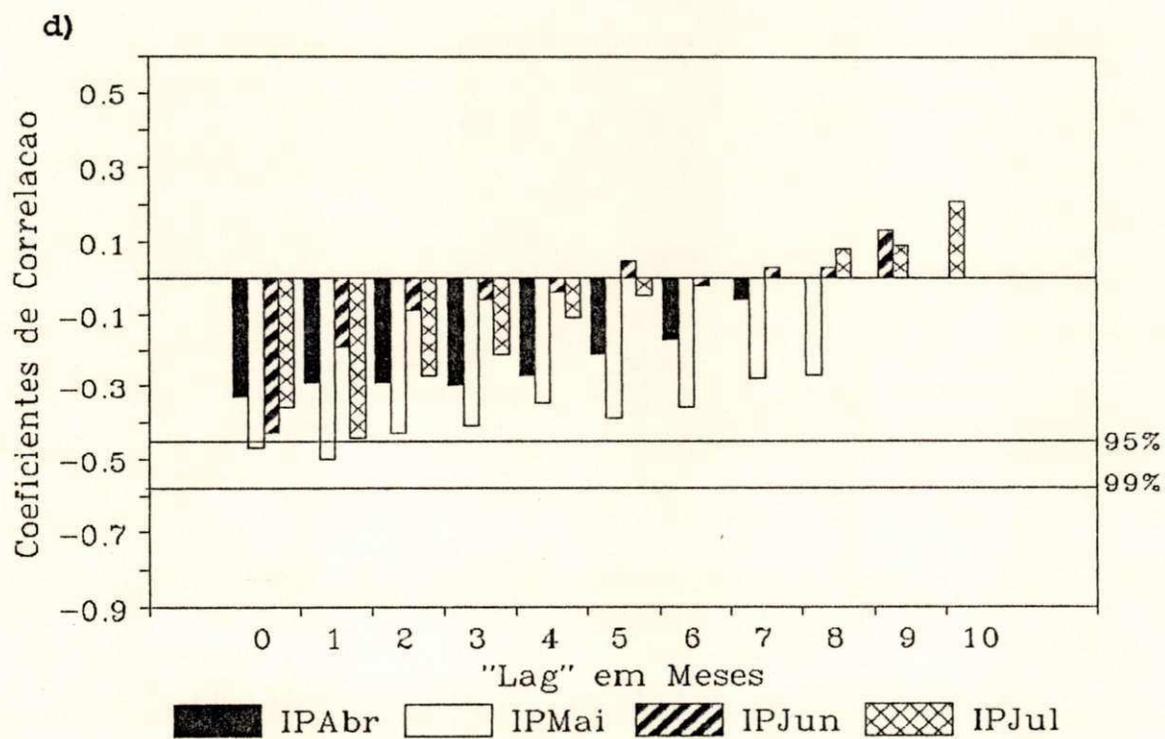
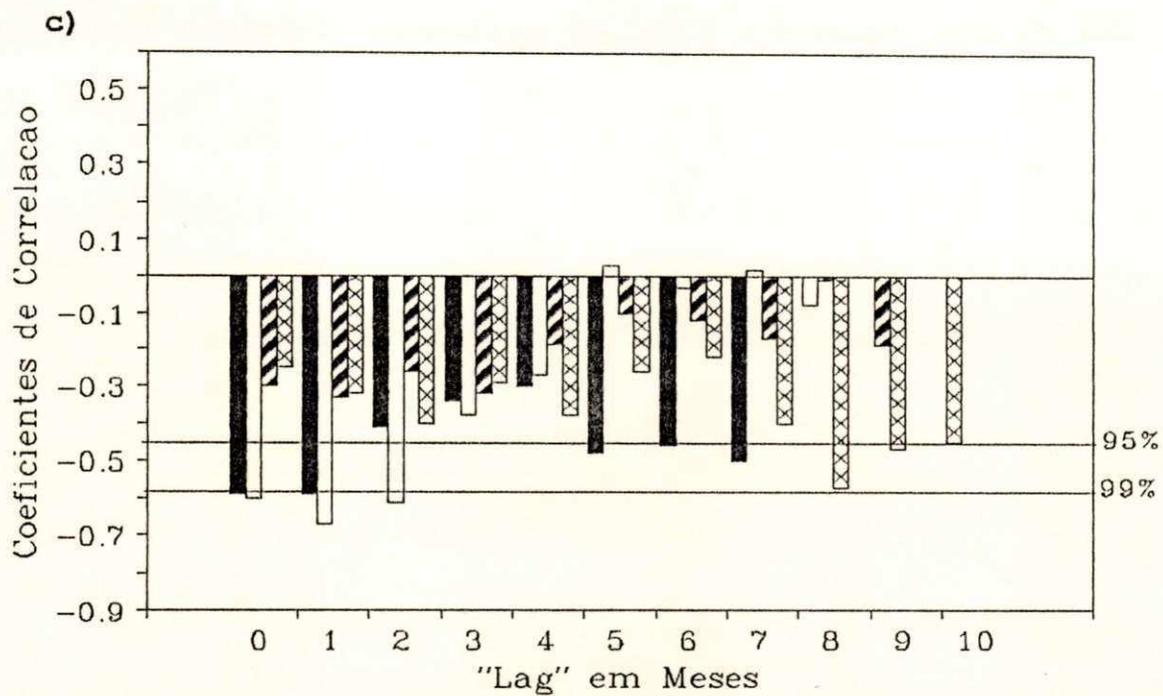


Figura 5.2: Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do leste do NEB (AMJJ) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.

5.3. Relação entre as anomalias de TSM e a Precipitação do SNE

Os meses da quadra chuvosa do sul do Nordeste (NDJF) foram menos sensíveis as variações de TSM tanto do Atlântico como do Pacífico, em vista dos baixos valores dos coeficientes de correlação observados (Figura 5.3.a,b, respectivamente). Os padrões dos coeficientes de correlação apresentaram-se diferentes aos observados para os regimes norte e leste do NEB, com alternâncias de coeficientes positivos e negativos.

Para o Atlântico, Figura 5.3.a, os maiores coeficientes de correlação foram observados em relação a precipitação no mês de fevereiro, com valores predominantemente positivos e significativos ao nível de 95% somente para os "lags 0 e 1", variando de 0.52 até 0.47, respectivamente.

A precipitação nos meses de novembro e dezembro foi mais sensível às variações de TSM do Pacífico, Figura 5.3.b, porém com coeficientes que não alcançaram o nível de 95%, com exceção do "lag 0" considerando a precipitação no mês de novembro, com valor de -0.47, o qual, decresce linearmente até -0.35 no "lag 2". A precipitação nos meses de novembro e dezembro apresentou coeficientes de correlação com valores predominantemente negativos e positivos, respectivamente, com as anomalias de TSM do Pacífico. Não se chegou, a princípio, a um entendimento do porque destes padrões de correlações observados para esses meses, sugerindo desta forma, um estudo mais direcionado ao regime sul do NEB com um maior número de postos pluviométricos, visto que somente vinte postos estavam disponíveis quando da realização deste trabalho.

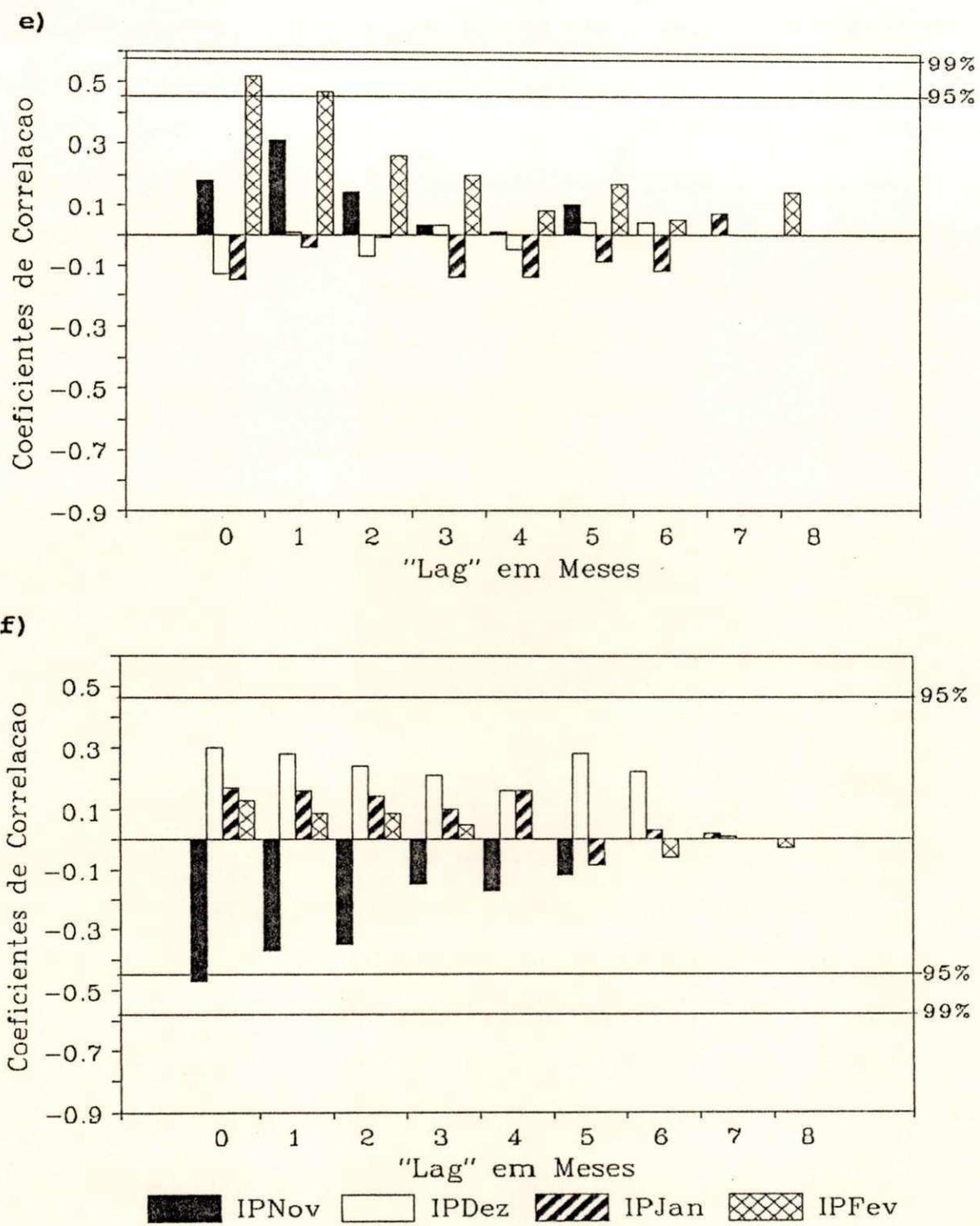


Figura 5.3: Correlações por "lag" mensal entre os índices pluviométricos de cada mês da quadra chuvosa do sul do NEB (NDJF) e as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico.

Em resumo pode-se verificar que as regiões previamente estabelecidas sobre os oceanos Atlântico e Pacífico tropical, e que serão utilizadas nas próximas seções no estudo da previsibilidade da precipitação do NEB, apresentaram significativas correlações negativas para o Pacífico e Atlântico Norte, e positiva sobre o Atlântico Sul (segundo o teste "t-Student") com a precipitação do norte do NEB, principalmente até dois meses antes em relação a precipitação dos meses de abril e maio. Porém, esta região foi mais sensível às variações de TSM no Atlântico se considerarmos ao nível de significância de 99%. Durante o meses de fevereiro a abril águas mais quentes são observadas no Atlântico Sul e águas mais frias no Atlântico Norte, isto, favorece o deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao sul sugerindo o aumento da precipitação sobre esta região.

Os padrões de correlações considerando o leste do NEB foram parecidos com os do norte do NEB, porém com ordem de magnitudes menores. Esta região mostrou-se também mais sensível às variações de TSM do Atlântico até dois meses antes da precipitação de abril e maio. As correlações com o sul do NEB não alcançaram, de modo geral, coeficientes significativos aos níveis de significância estabelecidos, sendo que a correlações foram realmente muito baixas. A causa dos baixos valores dos coeficientes de correlação observados entre as anomalias de TSM e a precipitação da quadra chuvosa dos regimes leste e sul do NEB pode estar associada ao fato que as áreas do Atlântico e Pacífico foram escolhidas para maximizar correlações com o Norte do NEB.

É importante ressaltar que para o cálculo dos índices de precipitação referentes aos regimes norte, sul e leste do NEB não foram eliminadas as estações pluviométricas que estão sob a influência dos efeitos da altitude. Provavelmente este procedimento deve elevar um pouco os valores das correlações.

As configurações de TSM anômalas sobre o Atlântico e Pacífico tropical são fatores importantes e de influência na precipitação do NEB. Os resultados apresentados sugerem uma relação praticamente simultânea entre as anomalias de TSM observadas sobre as regiões do Atlântico e Pacífico previamente definidas (ARAGÃO *et al.*, 1994), tal fato, reduz o valor prognóstico das TSM afim de prever anomalias de precipitação sobre o NEB.

Porém, esta simultaneidade pode ser suprida se as anomalias de TSM foram prognosticadas apartir da teoria da análise harmônica, onde a parte previsível constituída pela soma das periodicidades significativas pode ser obtida pela combinação de funções seno e cosseno. A esse objetivo é que destina-se a seção seguinte.

5.4. Análise Harmônica das séries de anomalias de TSM.

Um método apropriado para se estudar contribuição de flutuações que ocorrem em uma série temporal consideradas "determinísticas" por apresentarem comportamentos oscilatórios característicos pode ser feito através dos diversos componentes de frequência, utilizando-se o espectro normalizado da variância dado pela equação 3.8, onde as variâncias individuais estão divididas pela variância total.

Da análise harmônica aplicada à série de anomalias de TSM mensais nas regiões previamente estabelecidas sobre os oceanos Atlântico (dipólo, Atlântico norte - Atlântico sul) e Pacífico tropical para o período de janeiro de 1970 a dezembro de 1988 obteve-se os seguintes resultados. No espectro da variância apresentado na Figura 5.4.a, para o Atlântico, pode-se observar uma predominância na faixa de frequências aproximada de 19, 10 e 6 anos com contribuição à variância de 16.84%, 28.15% e 10.21%, respectivamente. Ficou evidenciado também a existência de dois ciclos menores de aproximadamente 2 anos e 1 ano, cada um contribuindo com 4.08% e 5.38% à variância total. Estes valores apresentaram-se significativos ao nível de 95% segundo o teste de "Fisher" e contribuíram com cerca de 65% à variância explicada pelo modelo senoidal, restando 35% para a variação dos resíduos.

A Figura 5.4.b, mostra também os resultados da análise harmônica feita agora para a região do Pacífico. A contribuição para a variância total, evidenciada pelo espectro da variância, sugere a predominância de periodicidades na faixa de frequências de

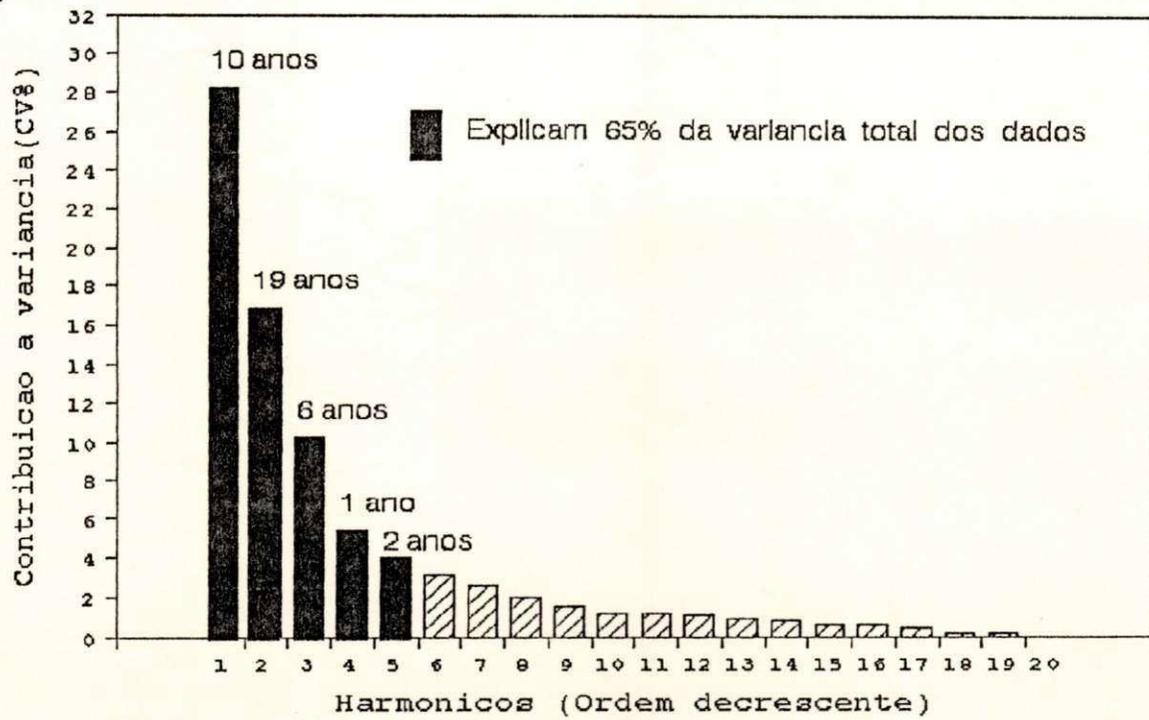
19, 5 e 4 anos, e dois ciclos menores de 2.5 anos e 2 anos, todos como significativos à 95% segundo o teste de Fisher, cada qual contribuindo com 18.79%, 31.89%, 13.31%, 5.83% e 8.08%, respectivamente, totalizando 78% da variância explicada pelo modelo, restando 22% para a parte aleatória.

O ajuste feito a partir do modelo senoidal tendo como base o conjunto dessas periodicidades consideradas como a parte previsível das ATSM está representado nas Figuras 5.5 e 5.6 para o Atlântico e Pacífico, respectivamente. A composição dos harmônicos significativos de anomalias de TSM para cada um dos oceanos estão representados pela linha sólida pesada, juntamente com a série original (linha sólida - a indisponibilidade de dados no momento que o trabalho era desenvolvido impossibilitou o traçado da série para o período de 1989 a 1995) e os limites do intervalo de confiança das estimativas ao nível de 80% (linha pontilhada), os quais foram obtidos por:

$$\hat{X}_t \pm 1.28 \hat{\sigma}_r \quad (5.1)$$

Sendo, \hat{X} a parte previsível das anomalias de TSM estimada pelo modelo senoidal e $\hat{\sigma}_r$ o desvio padrão dos resíduos, os quais representam 35% e 22% da variância total dos dados para o Atlântico e Pacífico, respectivamente. Tem-se portanto 80% de possibilidades de podermos afirmar que os valores das anomalias de TSM caem entre os limites estabelecidos na equação 5.1.

a)



b)

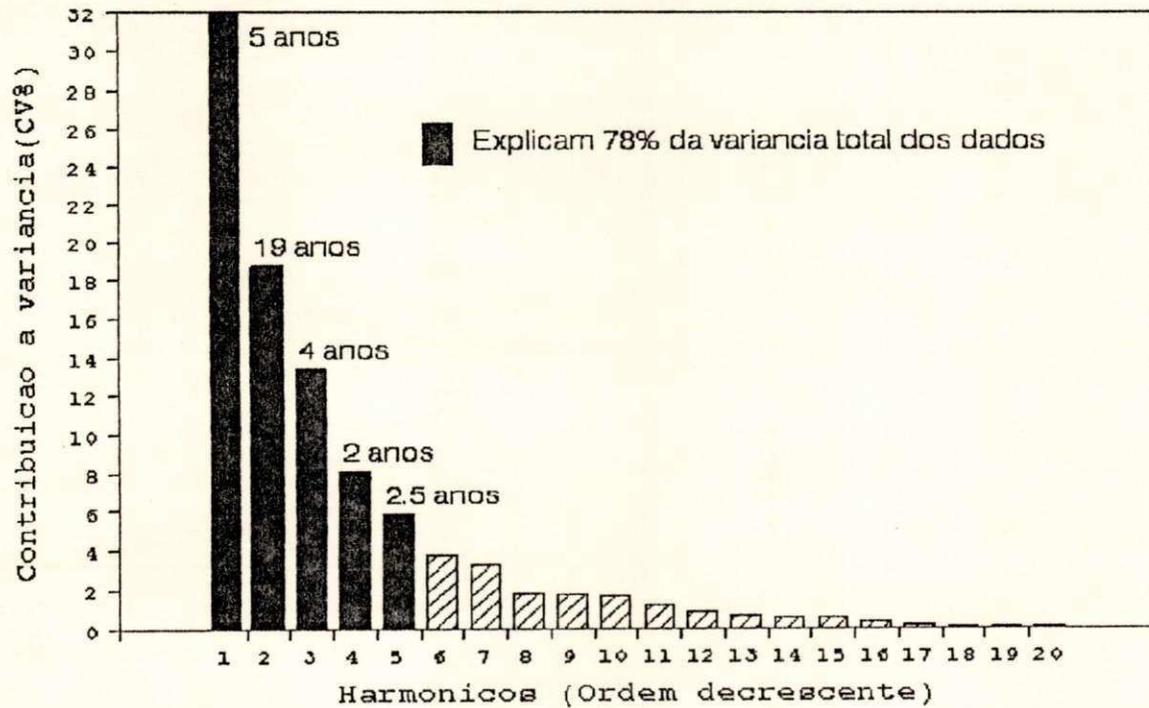


Figura 5.4: Espectro da variância do modelo senoidal associado as anomalias de TSM. a) Atlântico, b) Pacífico. As barras escuras representam os harmônicos mais significativos ao nível de 95%, segundo o teste de Fisher.

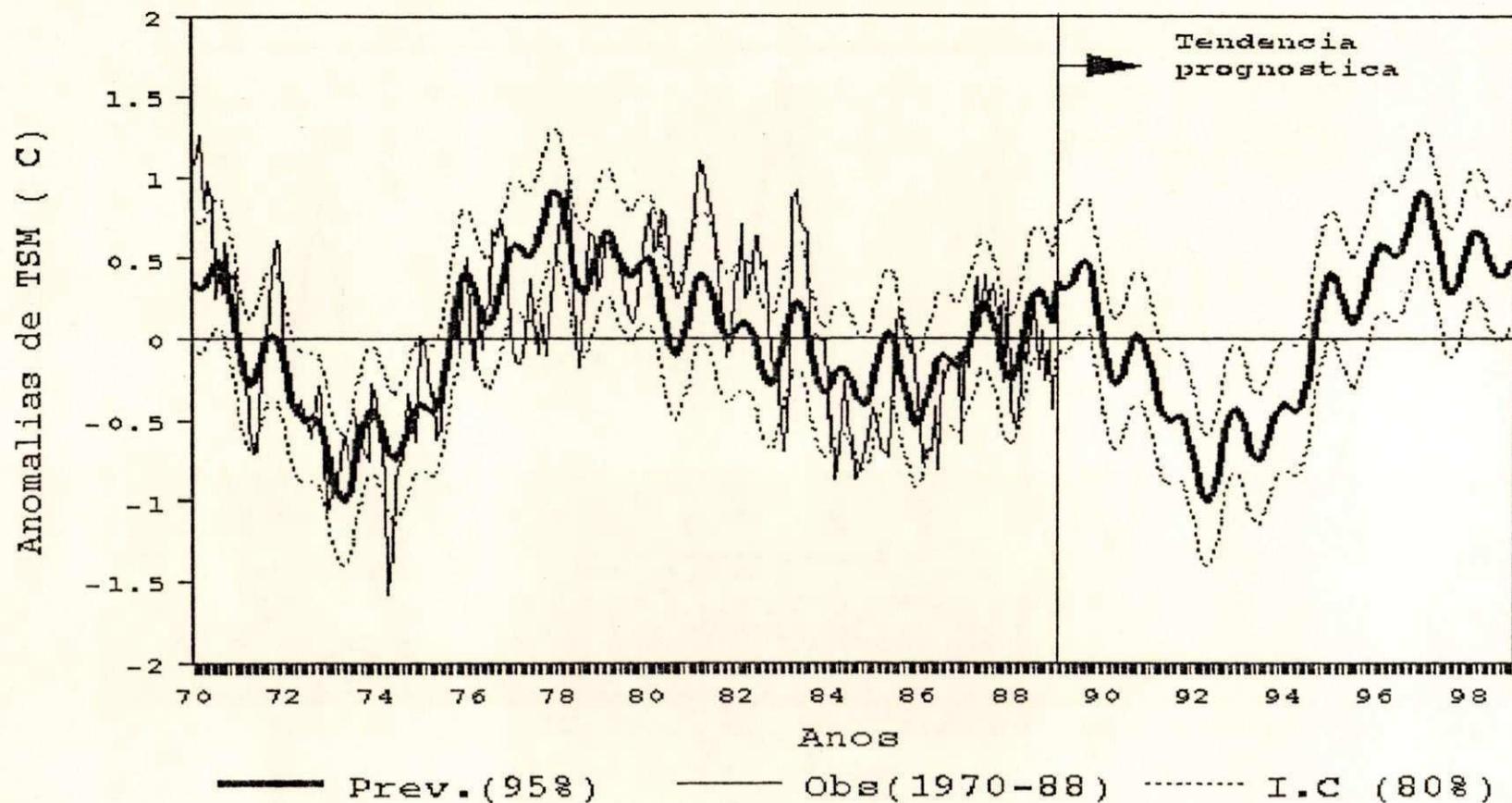


Figura 5.5: Valores mensais de anomalias de TSM do Atlântico (Jan 1970-Dez 1988), linha contínua. Parte previsível das anomalias de TSM segundo periodicidades significativas, linha sólida pesada e os limites de confiança à 80% em relação a parte previsível, linha pontilhada.

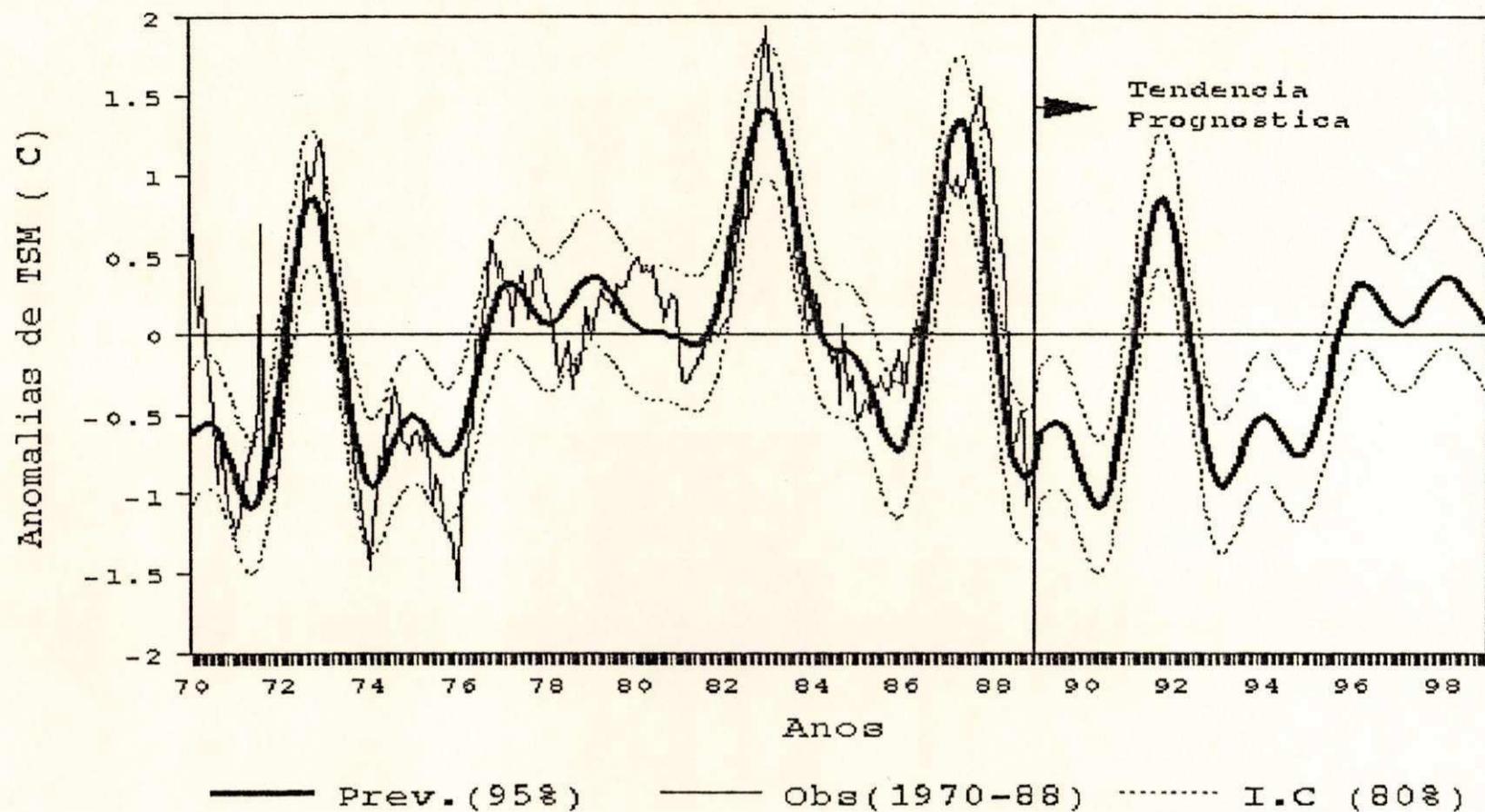


Figura 5.6: Valores mensais de anomalias de TSM do Pacífico (Jan 1970-Dez 1988), linha contínua. Parte previsível das anomalias de TSM segundo periodicidades significativas, linha sólida pesada e os limites de confiança à 80% em relação a parte previsível, linha pontilhada.

Em resumo a análise espectral da série de anomalias de TSM mostradas nas Figuras 5.4 evidenciou frequências de oscilação aproximadas na faixa de 19, 10, 6, 2 e 1 ano para o Atlântico e de 19, 5, 4, 2.5 e 2 anos para o Pacífico. O teste de Fisher aplicado sugere que os mesmos são significativos ao nível de 95% de confiabilidade. A periodicidade de 19 anos observada na série de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico é consequência do tamanho da série (19 anos de dados) e portanto oscilações com períodos superiores à 19 anos não são representados na análise harmônica. Estas periodicidades estão próximas às observadas para a série de precipitação referênte ao Nordeste do Brasil com período de 2, 2.5, 4.5, 13 e 26 anos, segundo MONTE (1986). Mais recentemente, RODRIGUES DA SILVA (1992), também evidenciou ciclos característicos em torno de 26, 13, 3-4 e 2-3 anos na pluviometria do Nordeste.

Assim, decidiu-se manter as periodicidades observadas nas série de anomalias de TSM nas análises que se seguem e direciona-las ao estudo da previsibilidade da precipitação à ser desenvolvido nas seções seguintes.

5.5. Série previsível de anomalias de TSM x Precipitação no NEB.

A série previsível das anomalias de TSM composta pela soma das periodicidades evidenciadas na análise espectral foram correlacionadas às séries de índices pluviométricos calculados para cada um dos 113 postos distribuídas pelo NEB no período de 1970 a 1988. O objetivo desta análise inicial foi definir quais as regiões do NEB relacionadas com a combinação dessas periodicidades observadas um, dois e três meses antes de cada mês do período chuvoso do NEB (novembro-julho).

Os resultados mostraram que durante o período de novembro-fevereiro e junho-julho, meses considerados chuvosos no Sul e Leste do NEB, respectivamente, as correlações com a série previsível das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico composta pela soma dos ciclos de 1, 2, 6, 10 e 19 anos e 2, 2.5, 4, 5 e 19 anos, respectivamente, não alcançaram o nível de significância de 95%, exceto alguns postos isolados, os quais não foram suficientes para definir uma região de correlação significativa. Portanto, sugere-se que estas periodicidades observadas para as regiões sobre os oceanos Atlântico e Pacífico não interferem significativamente no regime pluviométrico do período chuvoso do Sul e Leste do NEB. O que já era de se esperar, pois as regiões sobre os oceanos foram definidas para maximizar a relação com a precipitação do regime norte (ARAGÃO *et al.*, 1994)

5.5.1. Atlântico

Porém, verificou-se que a série previsível de anomalias de TSM que caracterizam o dipólo do Atlântico, com antecedência de um, dois e três em relação a precipitação de cada mês do período chuvoso do norte do NEB (MAM) apresentaram correlações predominantemente negativas significativas ao nível de 95% ou mais.

As regiões de correlações significativas segundo o teste "t-Student" à 95% e 99% estão representadas nas Figuras 5.7 a 5.9, pelas regiões mais claras e escuras do mapa, respectivamente.

Nota-se pela Figura 5.7 que correlações significativas ao nível de 95% começam a se estabelecer em março, predominando em quase todo o norte do NEB definindo uma região (latitudes inferiores a 9°S) que permanece praticamente inalterada em relação às anomalias de TSM nos três meses que precedem a precipitação do mês de março. Algumas evidências de correlações mais fortes, ou seja, significativas ao nível de 99% (manchas escuras) foram observadas no extremo norte do Ceará e Rio Grande do Norte e parte central do Nordeste nas divisas da Bahia, Pernambuco e Piauí e mais uma pequena região no Noroeste do Piauí.

Em relação a precipitação do mês de abril, Figura 5.8, verificou-se uma configuração similar ao observado para o mês de março. As correlações permanecem predominantemente negativas, porém com coeficientes significativos a 99% (manchas escuras) abrangendo uma maior parte da região compreendendo uma faixa no sentido noroeste-sudeste (do Piauí ao Ceará) e o extremo nordeste do Ceará ("lag 1 e 2, Figuras 5.8.a,b, respectivamente) e uma região no

extremo leste entre as divisas da Paraíba e Rio Grande do Norte e uma parte central entre as divisas da Paraíba e Pernambuco ("lag 1, 2 e 3, Figuras 5.8.a,b,c, respectivamente), além de uma faixa que se estende por todo o estado do Ceará no sentido nordeste-sudoeste, lag 3, Figura 5.8.c. Ficou evidente também que as regiões de correlações significativas ficaram praticamente inalteradas quando considerados um, dois e três meses de antecedência relativamente à precipitação do mês acima referido, abrangendo praticamente todo o norte do NEB, e penetrando mais em direção ao litoral da Paraíba e Pernambuco Figura 5.8.a,b, c.

Em maio, Figura 5.9, verificou-se uma redução do número de postos que apresentam correlações significativas, de modo a reduzir a região de influência das TSM com o aumento do lag. Percebe-se também que estas regiões de influência permanecem inalteradas em relação aos três meses anteriores à precipitação de maio, e que abrangem o extremo norte do NEB, em particular o estado do Ceará (latitudes inferiores a 5°S), e uma pequena faixa que se localiza próximo ao litoral de Sergipe, Figura 5.9.a,b,c. As correlações permanecem predominantemente negativas e significativas ao nível de significância de 95% (manchas claras), com excessão de uma pequena região no extremo norte do Ceará e litoral de Sergipe que apresentam correlações significativas ao nível de 99% (manchas escuras).

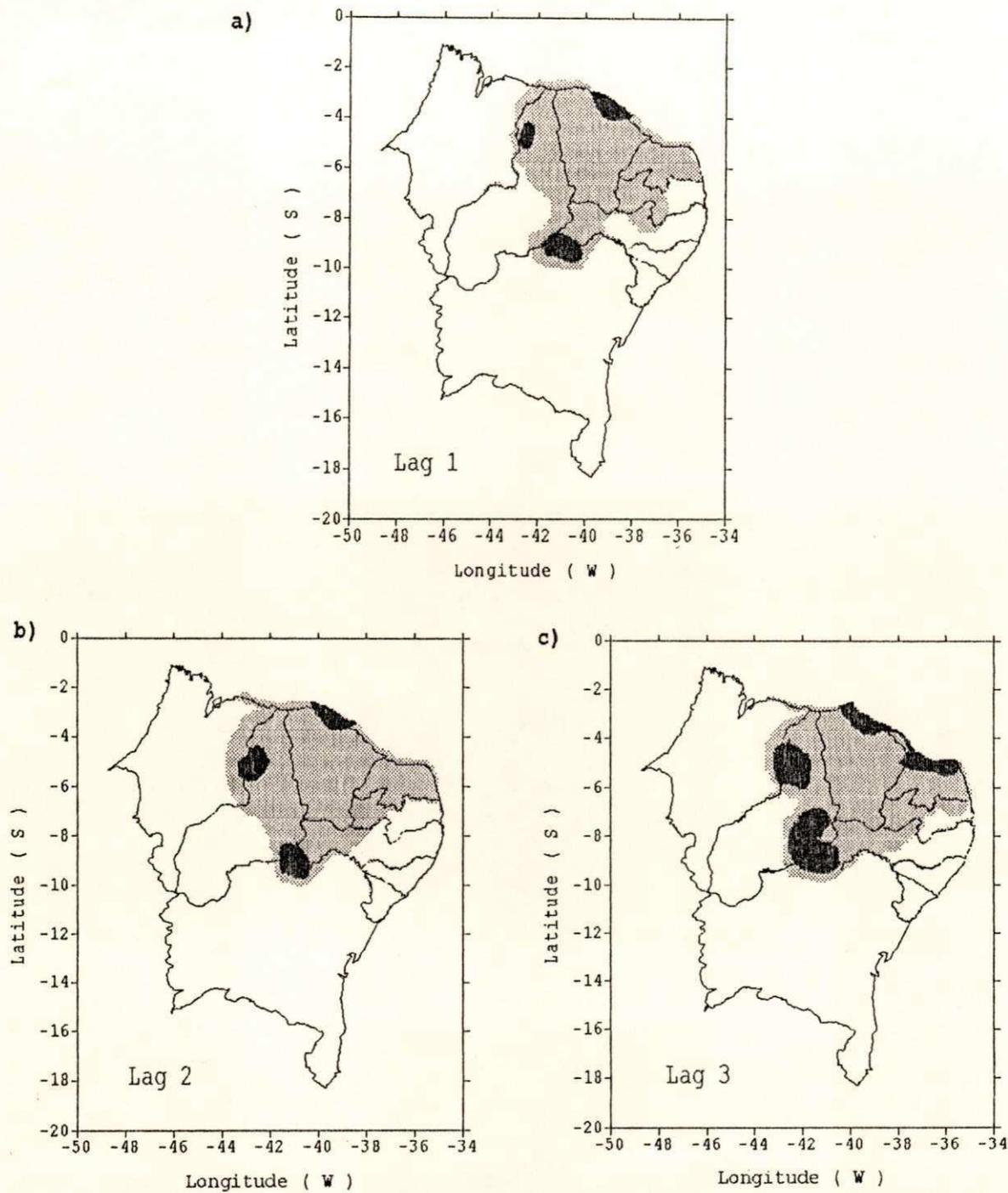


Figura 5.7: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de março** e a série previsível de **anomalias de TSM do Atlântico**. a) lag 1-fevereiro, b) lag 2-janeiro e c) lag 3-dezembro.

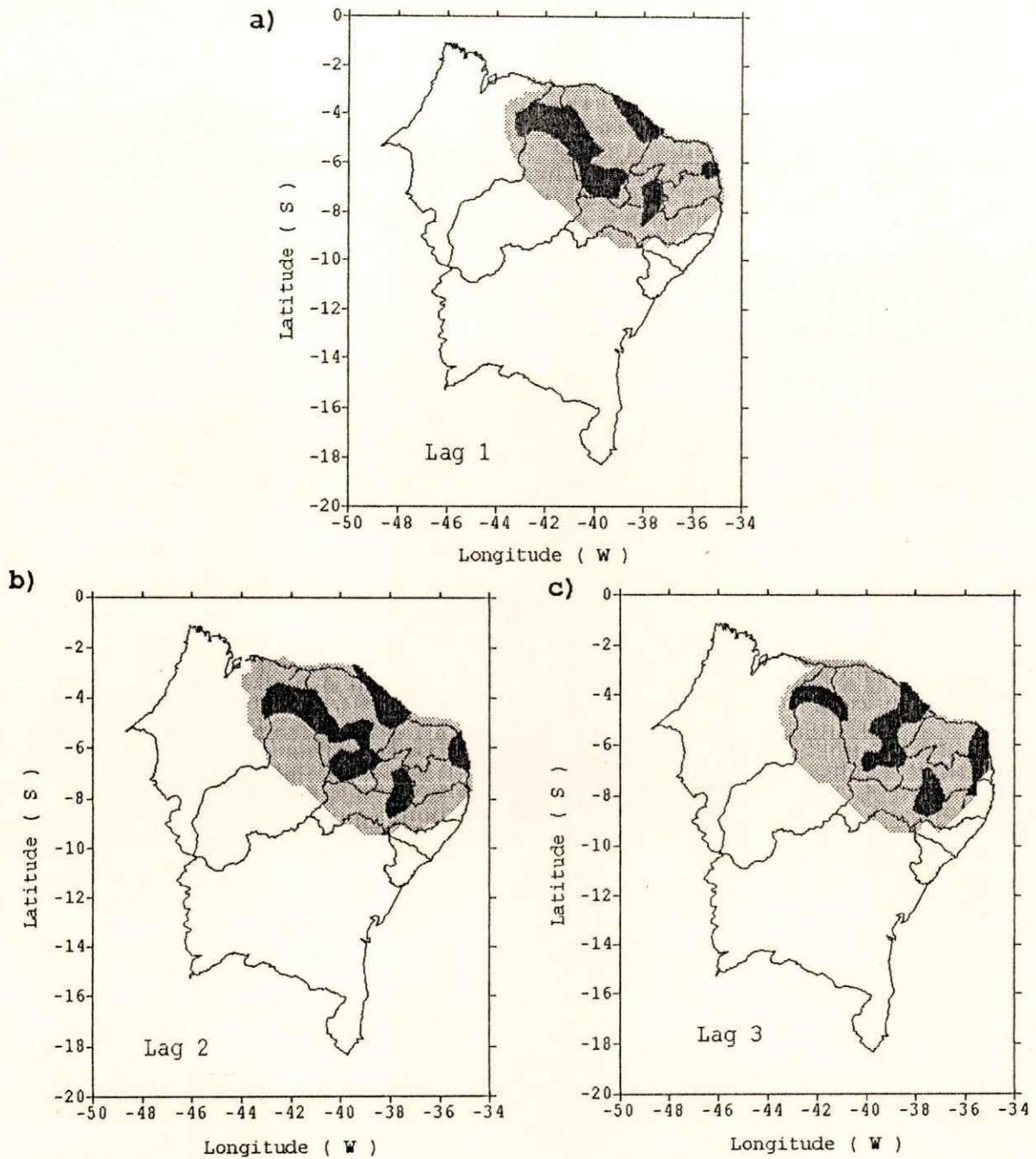


Figura 5.8: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de abril** e a série previsível de **anomalias de TSM do Atlântico**. a) lag 1-março, b) lag 2-fevereiro e c) lag 3-janeiro.

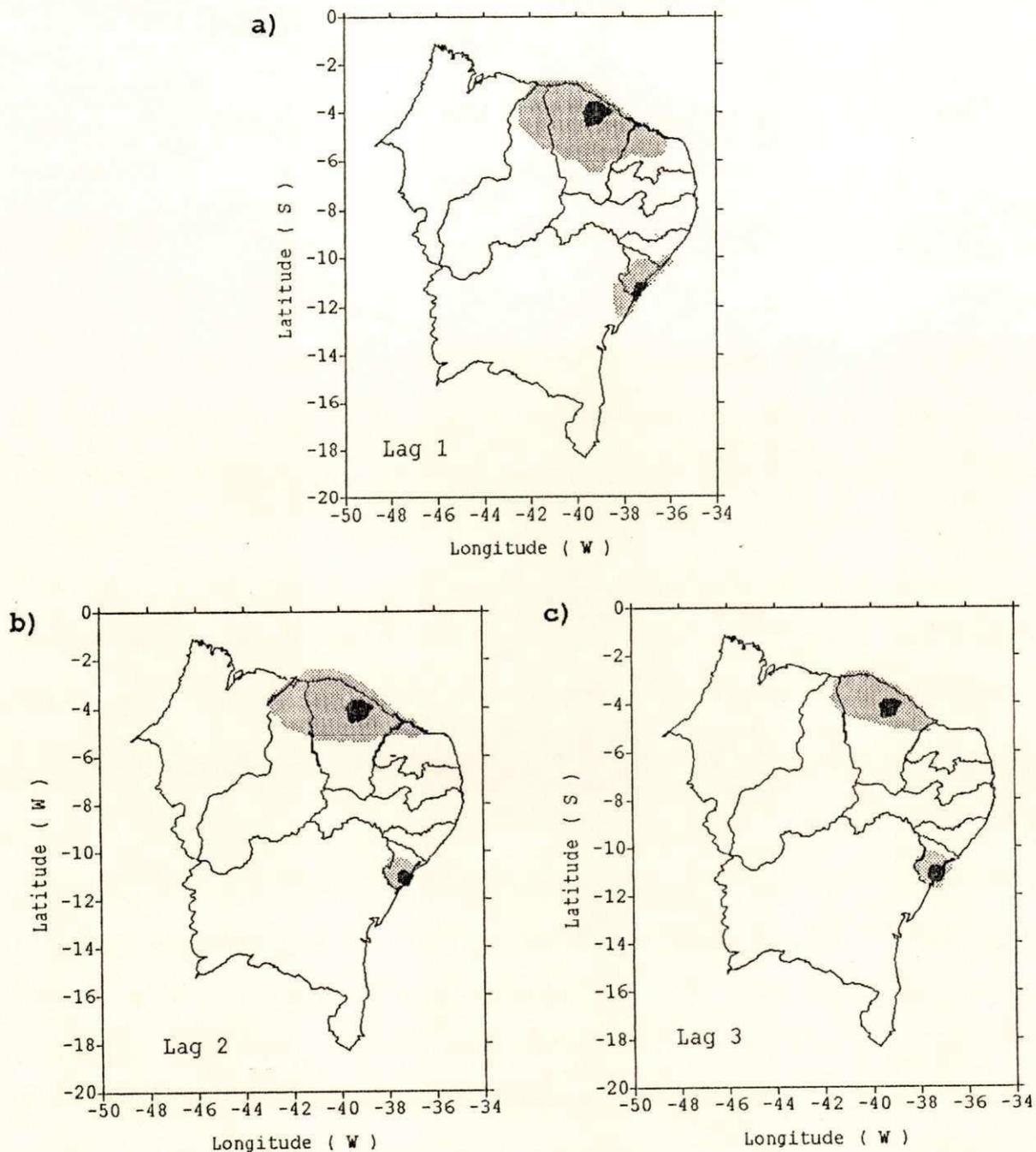


Figura 5.9: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de maio** e a série previsível de **anomalias de TSM do Atlântico**. a) lag 1-abril, b) lag 2-março e c) lag 3-fevereiro.

5.5.2. Pacífico

As anomalias de TSM do Pacífico, Figuras 5.10 a 5.12, apresentam correlações significativas negativas ao nível de 95%, segundo o teste "t-Student", com a precipitação de março, abril e maio, respectivamente.

Em março uma região de correlações significativas ao nível de 95% (manchas claras) se estabelece em uma faixa que compreende latitudes inferiores a 8°S entre as longitudes de 37°W - 40°W , permanecendo praticamente inalteradas em relação às anomalias de TSM nos três meses precedentes (Figura 5.10.a,b,c). A região compreendida engloba mais especificamente o leste do Ceará e a parte leste do Rio Grande do Norte e Paraíba e o extremo norte de Pernambuco.

Em relação a precipitação de abril, Figura 5.11.a, b, c, regiões de correlações significativas ao nível de 95% (manchas claras) abrangem praticamente todo o norte do NEB considerando os lag 1 e 2 ao norte da latitude de 8°S (Figura 5.11.a,b) e uma pequena faixa no extremo norte do NEB, ao norte de 5°S , no lag 3 (Figura 5.11.c). Uma pequena região de correlação significativa ao nível de 99% (manchas escuras) se localiza sobre o extremo norte do Rio Grande do Norte, mantendo-se praticamente inalteradas em relação aos lags 1, 2 e 3.

No mês de maio, Figura 5.12.a,b,c, a região de correlação significativa desloca-se para o extremo norte do Nordeste (entre 3°S - 5°S e 38°W - 43°W), abrange todo o extremo norte do Ceará e Piauí em relação às anomalias de TSM do Pacífico de abril e março

(lag 1 e 2, Figura 5.12.a,b, respectivamente). Para o lag 3 (Figura 5.12.c), ou seja, três meses antes da precipitação de maio a região de influência é reduzida abrangendo uma pequena faixa no extremo norte do Ceará e Piauí (entre 3°S-5°S e 40°W-42°W).

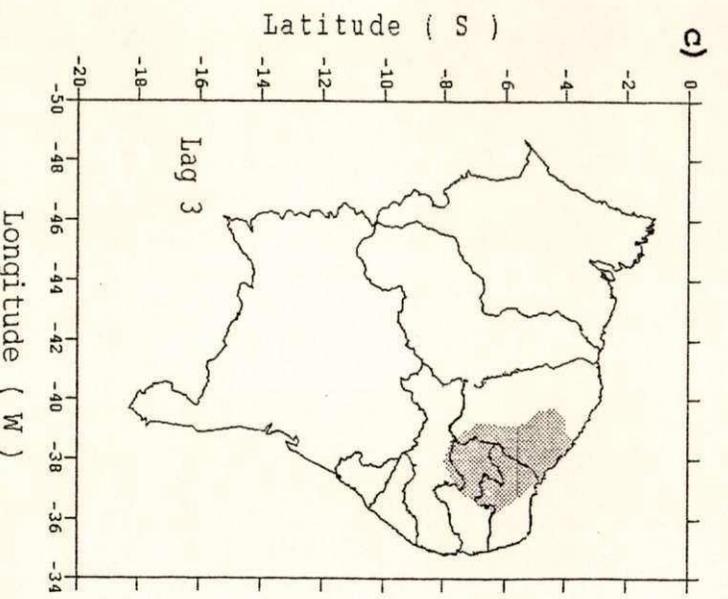
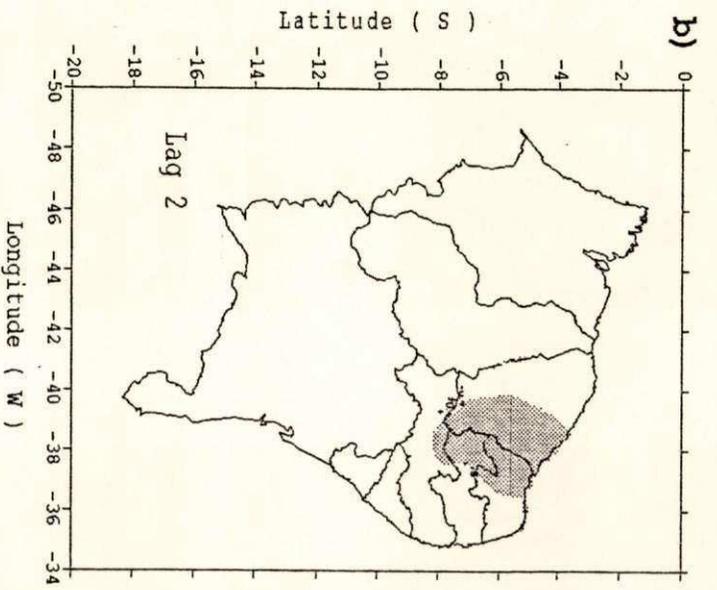
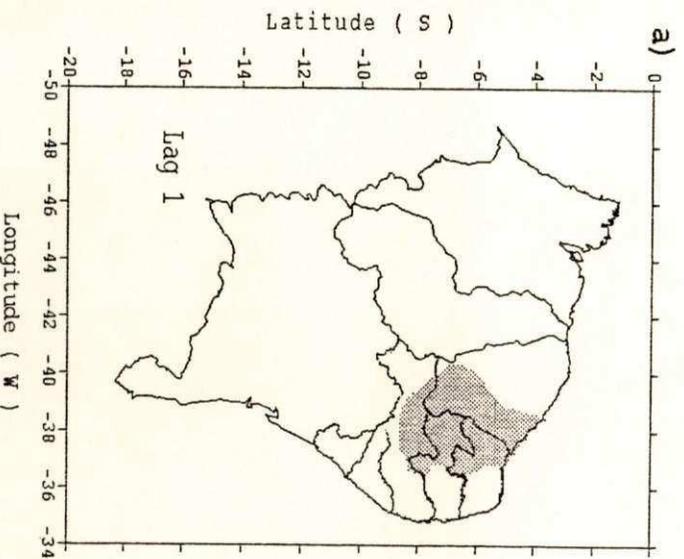


Figura 5.10: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras) entre a precipitação de março e a série previsível de anomalias de TSM do Pacífico.
 a) lag 1-fevereiro, b) lag 2-janeiro e c) lag 3-dezembro.

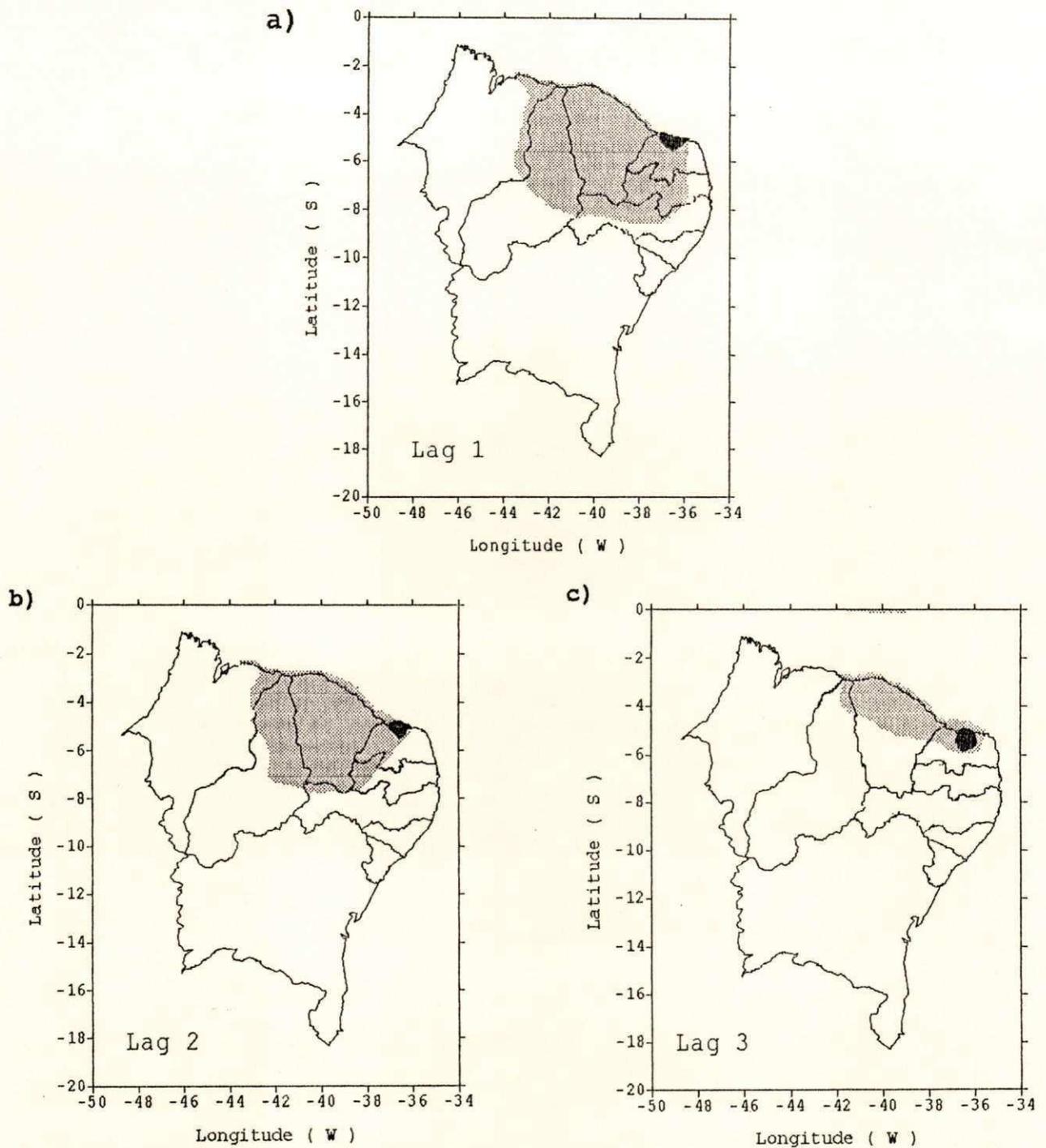


Figura 5.11: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras e 99% manchas escuras) entre a **precipitação de abril** e a série previsível de **anomalias de TSM do Pacífico**. a) lag 1-março, b) lag 2-fevereiro e c) lag 3-janeiro.

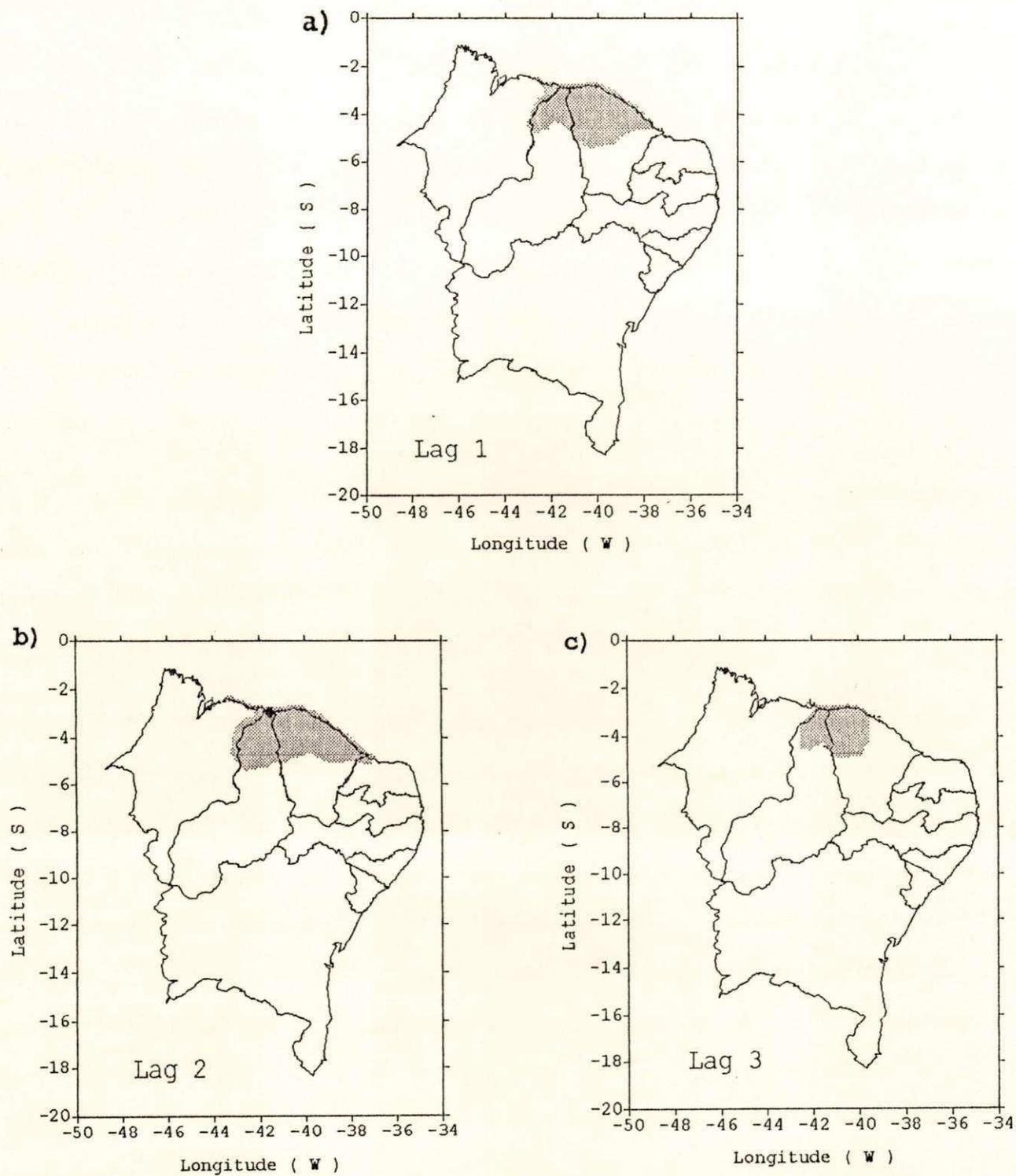


Figura 5.12: Regiões de correlações significativas (95% manchas claras) entre a **precipitação de maio** e a série previsível de **anomalias de TSM do Pacífico**. a) lag 1-abril, b) lag 2-março e c) lag 3-fevereiro.

Notou-se portanto, de acordo com as Figuras 5.7 a 5.9, que as anomalias de TSM nas regiões definidas sobre a Atlântico tem uma grande influência na precipitação da estação chuvosa do norte do NEB (MAM), sugerindo dessa forma a sua importância no estudo da previsibilidade da precipitação desta região. Esta importância também foi sugerida por UVO et al. (1994) a partir de análises DVS, que atribuiu às anomalias de TSM do Atlântico como a de maior influência na precipitação da estação chuvosa do NEB, e que as mesmas não devem ser desprezadas em se tratando de previsão.

As regiões de correlações significativas da precipitação com as anomalias de TSM sobre as regiões do Atlântico e Pacífico tendem a reduzir e se concentrar no extremo norte do NEB com o fim da estação chuvosa dessa região, ou seja, maio.

Portanto, sugere-se que as anomalias de TSM sobre estas regiões do Atlântico e Pacífico devam ser utilizadas em estudos da previsibilidade da precipitação da estação chuvosa do norte do NEB. De uma forma geral as regiões de influência da TSM nos três meses anteriores a cada mês da estação chuvosa estão sumariadas na Figura 5.13, pelos respectivos postos pluviométricos. A previsibilidade da precipitação de cada mês da estação chuvosa, ou seja, março, abril e maio será direcionada preferivelmente a estas regiões. Foram definidos índices pluviométricos mensais para o período de 1970 a 1988, para o conjunto de postos representativos de cada região. Estes índices serão utilizados como preditoras em um modelo de regressão linear múltipla que terá as anomalias de TSM de ambos os oceanos como preditoras, selecionadas a partir de análises em componentes principais, abordada na seção subsequente.

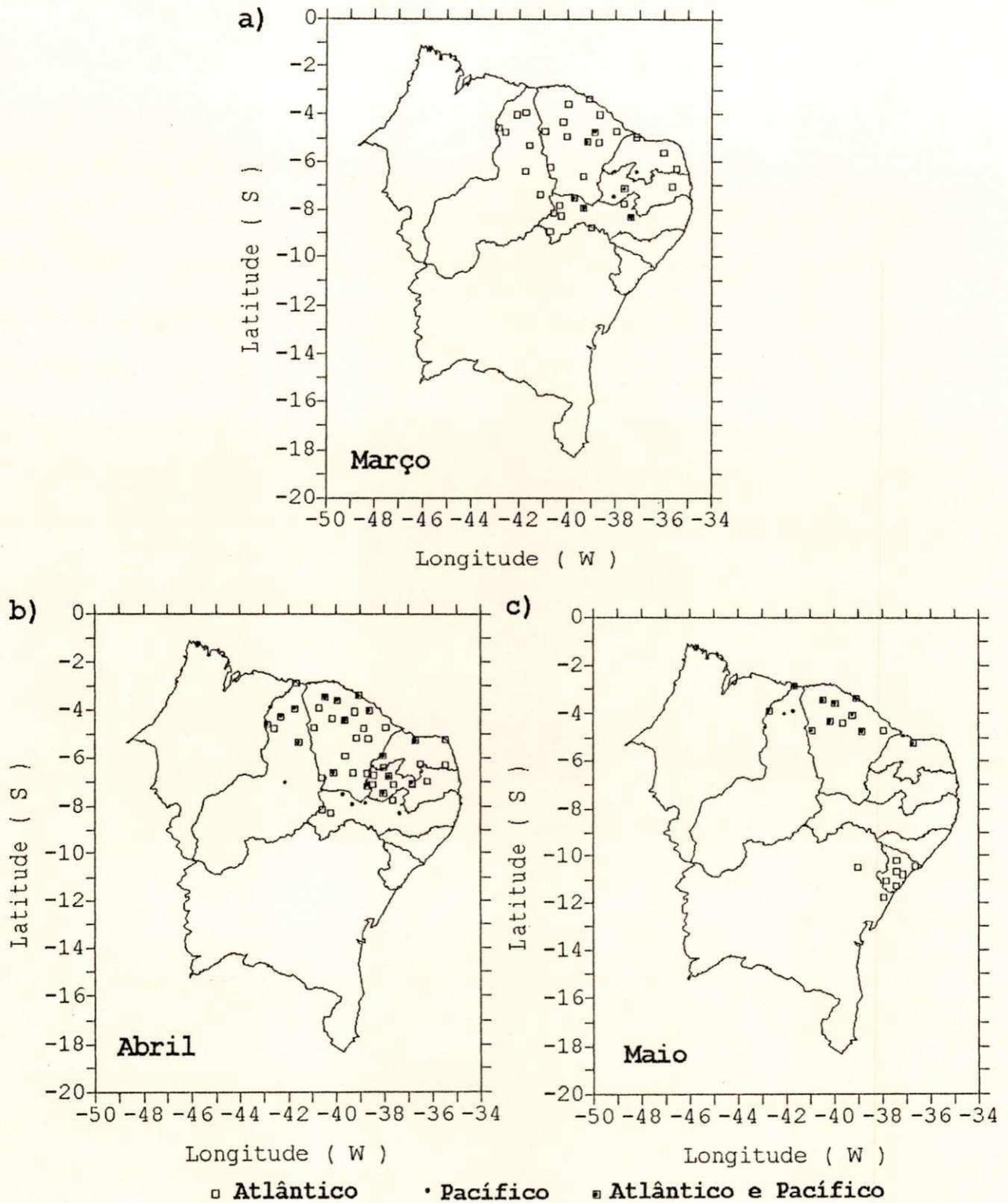


Figura 5.13: Distribuição espacial dos postos pluviométricos com correlações significativas ao nível de 95% ou mais com a parte previsível de anomalias de TSM para o Atlântico e Pacífico simultaneamente. a) Março, b) Abril e C) Maio.

Os resultados mostraram que as relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico (série previsível) e a precipitação do período chuvoso do NEB, que vai de novembro-julho, foram significativas somente para os meses de março, abril e maio, considerados chuvosos no norte do NEB. Para os meses de novembro-fevereiro e junho-julho, meses considerados chuvosos no sul e leste do NEB, respectivamente, as correlações não alcançaram o nível de 95% ou mais, tendo coeficientes na verdade muito baixos. Essa fraca correlação verificada para esses regimes é justificada principalmente pelo fato que as áreas foram definidas sobre os oceanos para maximizar a relação com a precipitação do regime Norte do NEB.

5.6. Componentes Principais da série previsível de anomalias de TSM.

As séries de anomalias TSM do Atlântico e Pacífico obtidas pela composição dos harmônicos significativos, segundo o teste de "Fisher" (série previsível), foram submetidas a análises em componentes principais, considerando "loadings" rotacionados.

O objetivo foi de verificar a importância da utilização desta técnica, restritas às componentes que explicam a maior parte da variância dos dados de anomalias de TSM de até três meses antes de cada mês do período chuvoso do norte do NEB (MAM), definidos nas análises precedentes como os meses que apresentaram melhores correlações com a série previsível de anomalias de TSM.

5.6.1. Dezembro a fevereiro.

Os resultados das análises em componentes principais aplicada simultaneamente às séries previsíveis de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico, obtida pelo modelo senoidal, para os meses de dezembro a fevereiro em relação à precipitação do mês de março são mostrados na Figura 5.14, com seus respectivos autovalores associados, verificados na Tabela 5.1, a qual mostra a percentagem das variâncias relativa às seis componentes.

Nota-se pela Tabela 5.1 que a maior parte da variância total está distribuída entre as duas primeiras componentes, cada uma explicando cerca de 56% e 42.8% da variância, respectivamente, enquanto que as componentes restantes contribuem com menos de 2%.

Tabela 5.1: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de dezembro a fevereiro (1970-88)

FATOR	AUTOVALOR	VAR.EXP.	VAR.ACUM.
1	3.3596	56.0	56.0
2	2.5654	42.8	98.7
3	0.0383	0.6	99.4
4	0.0363	0.6	100.0
5	0.0038	0.0	100.0
6	0.0006	0.0	100.0

Os "factor loadings" submetidos à rotação ortogonal (método Varimax), cujos resultados, observados na Figura 5.14 mostram claramente que a série previsível de anomalias de TSM do Pacífico de dezembro a fevereiro explicam praticamente toda a variância da primeira componente, e que o Pacífico em janeiro (PJ) aparece melhor correlacionado com esta primeira componente, localizando-se sobre o círculo de correlação (extremo direito do eixo 1 - Figura 5.14.a). Esta predominância do Pacífico com a primeira componente foi observada pelo fato que o Atlântico, no mesmo período, apresentou "loadings" realmente muito baixos com esta primeira componente. Na verdade o Atlântico correlacionou-se predominantemente com a segunda componente e foi responsável por praticamente toda a variância explicada pela mesma, evidenciando que o Atlântico em janeiro (AJ) foi o que melhor se correlacionou com esta segunda componente (extremo superior do eixo 2-Figura 5.14.a). A partir da terceira componente os "loadings" foram muito baixos mostrando que praticamente não houve relação entre as anomalias de TSM e as componentes principais. Tal fato pode ser

verificado na Figura 5.14.b,c, onde o Atlântico (Figura 5.14(b)) e o Pacífico (Figura 5.14(c)) de dezembro a fevereiro concentram-se próximo ao centro do círculo de correlações.

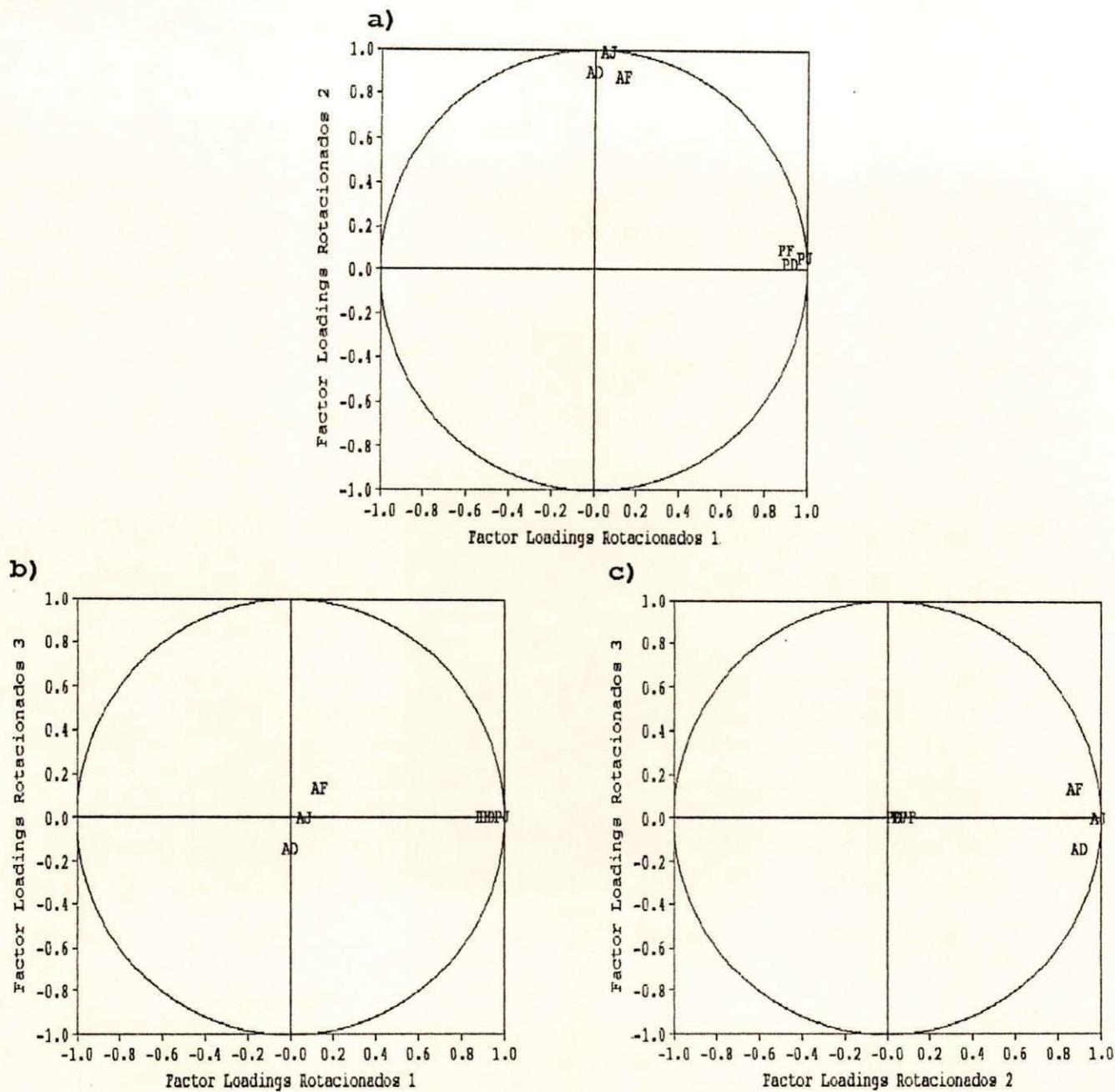


Figura 5.14: Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AD, AJ e AF (PD, PJ e PF) o Atlântico (Pacífico) em dezembro, janeiro e fevereiro.

5.6.2. janeiro a março.

Os resultados da técnica aplicada simultaneamente às séries de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico considerando agora os meses de de janeiro a março em relação à precipitação do mês de abril são mostrados na Figura 5.15 e Tabela 5.2.

A variância explicada pelas duas primeiras componentes, Tabela 5.2, acumulam em torno de 98% da variância total dos dados, cada uma contribuindo com cerca de 60% e 38% à variância, respectivamente, restando menos de 2% para as componentes restantes.

Tabela 5.2: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de janeiro a março (1970-88).

FATOR	AUTOVALOR	VAR. EXP.	VAR. ACUM.
1	3.6434	60.7	60.7
2	2.2788	38.0	98.7
3	0.0449	0.7	99.5
4	0.0325	0.5	100.0
5	0.0003	0.0	100.0
6	0.0006	0.0	100.0

O Pacífico de janeiro a março claramente aparece definido em termos da primeira componente rotacionada. O Pacífico no mês de fevereiro (PF) destaca-se dentre outros por ser o que melhor se correlacionou com esta componente (Figura 5.15.a - extremo direito do eixo 1). O Atlântico no mesmo período foi definido em termos da

segunda componente, sendo o mês de fevereiro (AF) melhor correlacionado com esta segunda componente (Figura 5.15.a - extremo superior do eixo 2). Os "loadings" que associaram o Atlântico com a primeira componente e ao Pacífico com a segunda no período de janeiro a março, foram muito baixos, sugerindo dessa forma, como dito anteriormente, a predominância do Pacífico com a primeira e o Atlântico com a segunda componente, ambas melhores correlacionadas com o mês de fevereiro. As componentes restantes, que pouco contribuíram para a variância dos dados, não apresentaram nenhuma relação com a série previsível de anomalias de TSM durante este período (Figura 5.15.b,c - grupo localizado próximo centro do círculo de correlações).

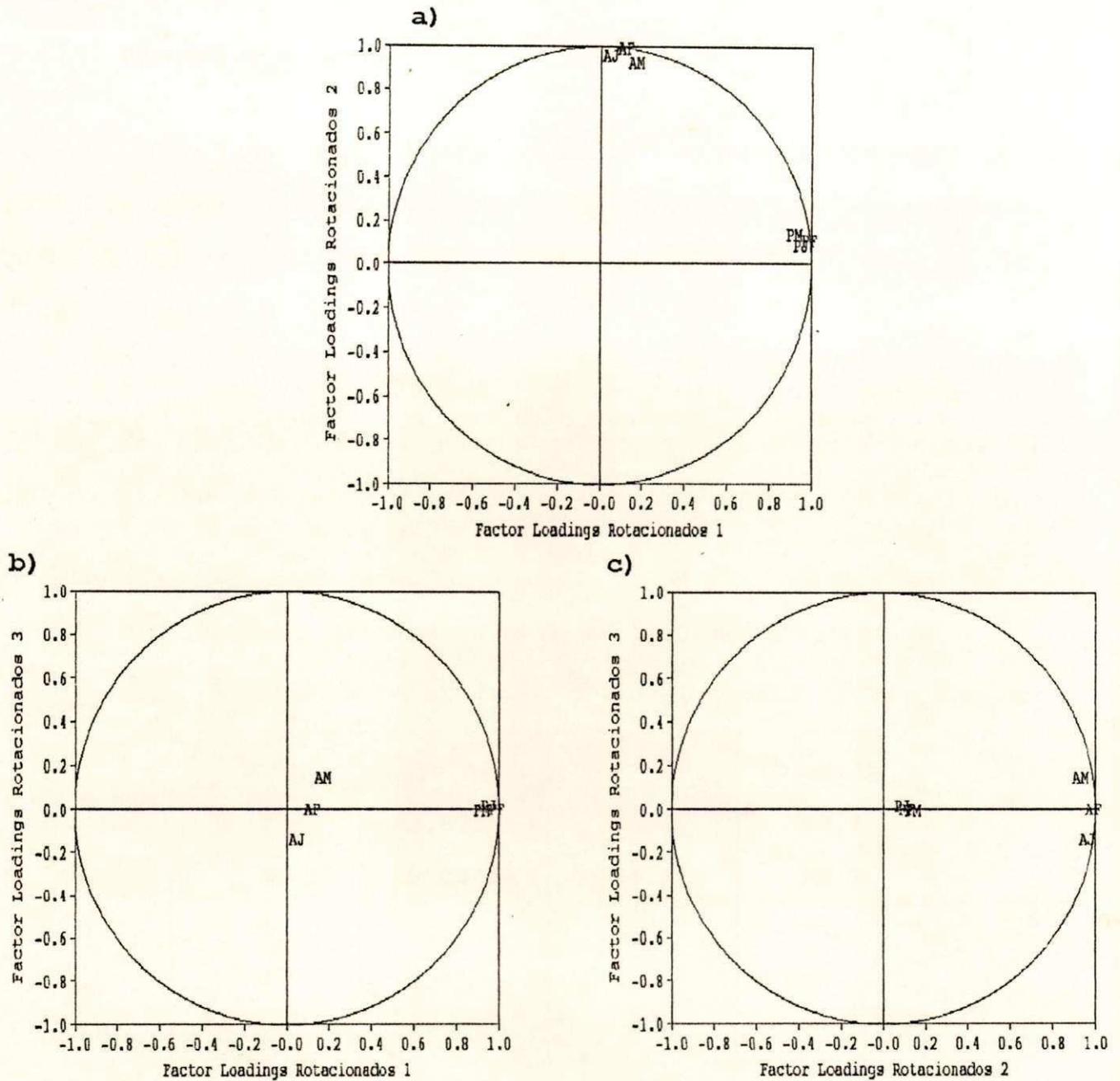


Figura 5.15: Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AJ, AF e AM (PJ, PF e PM) o Atlântico (Pacífico) em janeiro, fevereiro e março.

5.6.3. fevereiro a abril.

Por fim, têm-se as análises considerando às séries previsíveis de anomalias de TSM de fevereiro a abril em relação à precipitação do mês de maio. Os resultados são mostrados na Figura 5.16 e Tabela 5.3.

Os resultados mostram que a maior parte da variância acumulada distribui-se sobre as duas primeiras componentes, cada uma explicando cerca de 65% e 34%, respectivamente (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Percentagem da variância associada às CPs do Atlântico e Pacífico de fevereiro a abril (1970-88).

FATOR	AUTOVALOR	VAR.EXP.	VAR.ACUM.
1	3.8755	64.6	64.6
2	2.0441	34.1	98.7
3	0.0504	0.8	99.5
4	0.0296	0.5	100.0
5	0.0026	0.0	100.0
6	0.0005	0.0	100.0

Nota-se na Figura 5.16.a que a primeira componente (que explica praticamente o dobro da variância observada para a segunda componente), aparece predominantemente associada ao Pacífico nos meses de fevereiro a abril, com a maior correlação verificada para o Pacífico em março (PM), extremo direito do eixo 1. A segunda componente para o mesmo período associa-se fortemente ao

Atlântico, onde a melhor relação foi verificada para o Atlântico em março (AM), extremo superior do eixo 2. O Atlântico e Pacífico não apresentaram praticamente nenhuma relação com a terceira componente (Figura 5.16.b,c - grupo localizado próximo ao centro do círculo de correlações).

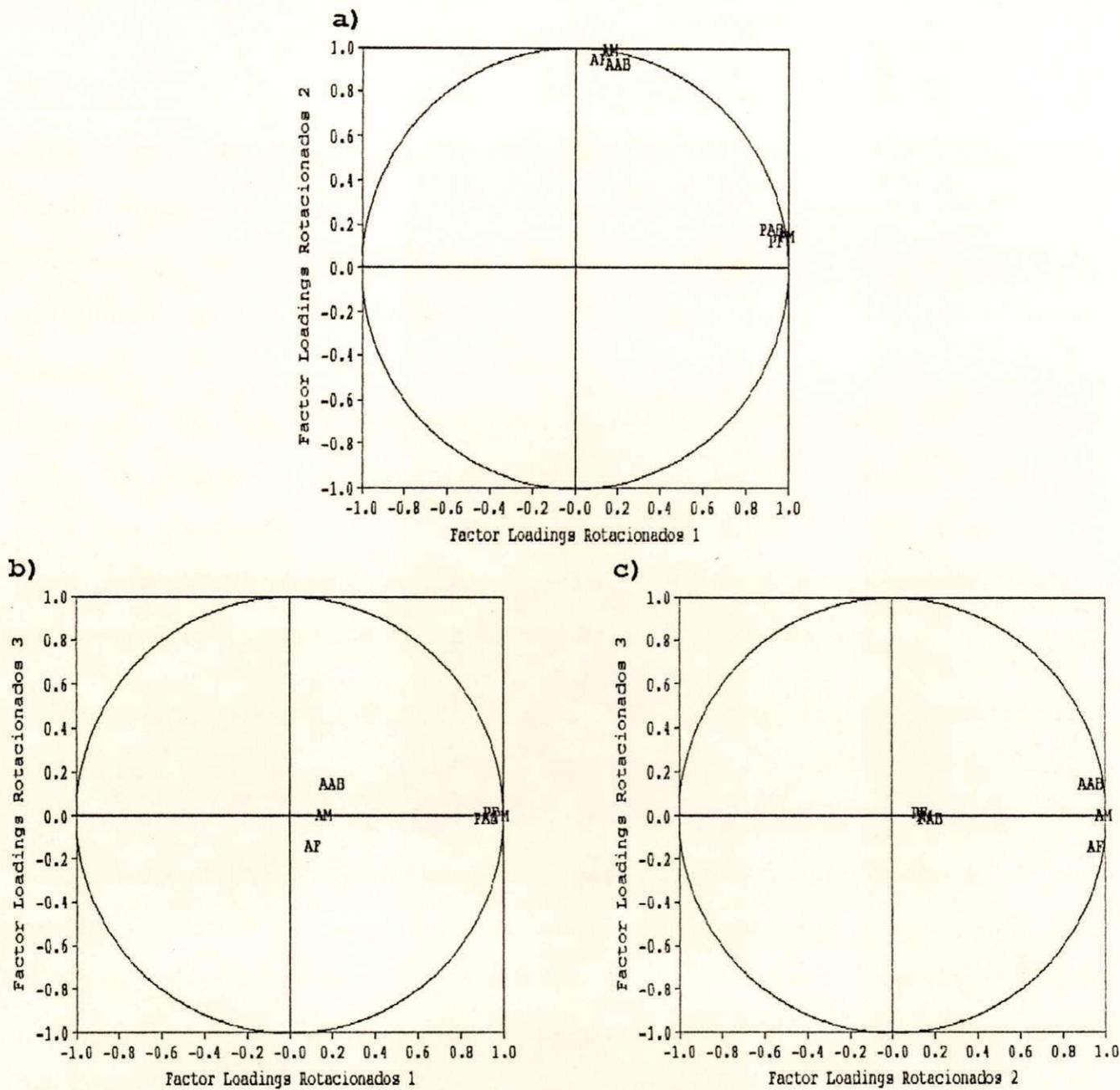


Figura 5.16: Diagramas de correlação: a) componente 1 x componente 2, b) componente 1 x componente 3 e c) componente 2 x componente 3. Sendo: AF, AM e AAB (PF, PM e PAB) o Atlântico (Pacífico) em fevereiro, março e abril.

Pode-se observar através dos resultados apresentados acima que as análises em componentes principais aplicada às séries previsíveis de anomalias de TSM, obtidas a partir dos harmônicos significativos segundo o teste de "Fisher", para os meses de dezembro a fevereiro, janeiro a março e fevereiro a abril mostraram evidências que a melhor relação foi sempre verificada dois meses antes em relação à precipitação dos meses de março, abril e maio, respectivamente. E mais, que a primeira componente pode ser trocada pela série previsível de anomalias de TSM do Pacífico e a segunda pela do Atlântico dois meses antes (preditores) em relação à precipitação de cada mês acima definidos (preditando) em um modelo de regressão linear múltipla abordado na seção seguinte.

Outro resultado importante foi que a segunda componente predominantemente associada ao Atlântico apresentou uma relação mais forte com a precipitação de março, abril e maio, com coeficientes significativos à 95% ou mais, segundo o teste "t-Student". A primeira componente que aparece associada ao Pacífico apresentou coeficientes de correlação significativos somente ao nível de 90% com a precipitação dos meses de março e abril e de 95% ou mais com a precipitação do mês de maio (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Correlação entre as quatro primeiras CPs rotacionadas para o Atlântico e Pacífico simultaneamente de dez-fev, jan-mar e fev-abr (1970-1988) e a precipitação de março, abril e maio, respectivamente.

Precipitação	cp1Rot	cp2Rot	cp3Rot	cp4rot
Março	-0.40*	-0.58**	0.29	-0.04
Abril	-0.42*	-0.59**	0.1	-0.26
Maio	-0.52**	-0.53**	-0.04	-0.12

Segundo o teste t-studente:

* Significativo à 0.1 ** significativo à 0.05 ou mais

Estes resultados sugerem o uso da técnica de análise em componentes principais para auxiliar nos estudos da previsibilidade da precipitação do NEB. O que já vem sendo feito por alguns autores. SANSIGOLO (1990) em uma análise individual definiu duas componentes como importantes no estudo da previsibilidade sazonal da precipitação (MAM) no norte do NEB. A primeira relacionada ao Atlântico e a segunda ao Pacífico, média de dezembro-fevereiro, sendo esta última considerada como preditora potencial das secas do norte do Nordeste. WARD e FOLLAND (1991) também sugeriu o uso desta técnica aplicada às anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico para o período de novembro-janeiro para o estudo da previsibilidade da precipitação sazonal (MAM).

Mais recentemente, NOBRE (1993), sugeriu que a primeira EOF da componente meridional do vento sobre o Atlântico (no caso de 12 meses) tem um maior valor prognóstico em relação a segunda EOF de

TSM do Atlântico, para o mesmo período, para prever anomalias de precipitação sobre o norte do Nordeste (fevereiro-junho).

5.7. O modelo de regressão

A dependência praticamente linear entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico tropical e a precipitação no NEB, sugere a adaptação de uma forma funcional que represente bem essa relação. Propõe-se então a utilização do modelo de regressão linear múltipla, onde os coeficientes foram ajustados a partir das séries de anomalias de TSM compostas pela soma das periodicidades significativas, segundo o teste de "Fisher", verificadas na análise harmônica dois meses antes, "lag 2" (obtidos pela ACP como as variáveis que melhor se correlacionaram com uma determinada componente) em relação aos índices de precipitação obtidos para os meses de março, abril e maio, referentes a áreas definidas pelos postos pluviométricos observadas na Figura 5.13, para o período de 1970-1988.

A extrapolação das séries de anomalias de TSM compostas pela soma destas periodicidades possibilita fazer uma tendência prognóstica da precipitação em relação aos anos posteriores a este período com base no modelo de regressão proposto.

É importante ficar claro que a percentagem da variância explicada pela soma dos 5 harmônicos significativos de anomalias de TSM (cerca de 70% da variância total), apesar de contribuir com uma quantidade substancial, ainda resultará em algumas implicações no modelo de regressão com vistas ao prognóstico da precipitação.

Tendo em mente este argumento, utilizou-se estas periodicidades afim de verificar a tendência prognóstica da precipitação nos meses de março, abril e maio obtida pelo modelo de regressão. Os valores prognosticados tiveram como referência o nível de 80% de confiabilidade.

Os resultados do modelo de regressão estão sumariados na Tabela 5.5 e representados graficamente nas Figuras 5.18, 5.20 e 5.22. Como observado para a série de anomalias de TSM, face a indisponibilidade da série de precipitação, no momento da execução deste trabalho, não foi possível traçar a série pluviométrica observada para os anos de 1989 a 1995.

5.7.1. Precipitação do mês de março

Nas análises dos "factor loadings rotacionados" vistas na seção anterior considerando os meses de dezembro a fevereiro verificou-se que a primeira componente (segunda componente) pode ser trocada pela série previsível de anomalias de TSM do Pacífico (Atlântico) do mês de janeiro (Fig. 5.17), ou seja, dois meses antes da precipitação de março (lag 2). Portanto, estas séries serão utilizadas aqui como preditoras da precipitação do mês de março.

Nota-se na Tabela 5.5 que o modelo proposto explica cerca de 50% da variabilidade total da precipitação observada nesse mês. O desvio padrão residual foi de 0.54.

A partir do desvio padrão residual pode-se definir intervalos de confiança para as estimativas, obtendo-se dessa forma

uma região de confiança para a curva ajustada pelo modelo de regressão proposto.

A Figura 5.18, apresenta as curvas referentes à precipitação observada e estimada (1971-1988), linhas contínuas e pontilhadas, respectivamente, bem com a tendência prognóstica para o período de 1989 até 1998, além do intervalo de confiança das estimativas. A precipitação do mês de março quando comparada com os resultados do modelo, para o mesmo mês, mostra que os valores observados em sua grande maioria encontram-se compreendidos entre os limites de confiabilidade determinados pelo modelo. Os anos de 1982, 1983, 1985 e 1986 apresentaram diferença maior entre o valor estimado e o observado, embora dentro dos limites esperados, indicando que durante estes anos a parte aleatória teve grande influência. Discrepâncias acentuadas foram verificadas nos anos de 1972, 1981 e 1987 afastando-se dos limites de aceitação esperados. A partir da extrapolação da soma dos ciclos significativos observados nas séries de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico (1, 2, 6, 10 e 19 anos e 2, 2.5, 4, 5 e 19 anos, respectivamente) pode-se de acordo com o modelo de regressão, estabelecer uma tendência prognóstica da precipitação do mês de março dos anos posteriores à 1988. No caso dos anos de 1996, 1997 e 1998 os resultados mostraram que a precipitação desse mês apresentará uma tendência de estar entre seco ou normal com uma confiabilidade de 80%.

5.7.2. Precipitação do mês de abril.

Os resultados obtidos a partir dos "loadings rotacionados" considerando a série previsível de anomalias de TSM do Atlântico e

Pacífico nos meses de janeiro à março evidenciou que a primeira componente (segunda componente) pode ser trocada pelo Pacífico (Atlântico) no mês de fevereiro (Fig. 5.19), ou seja, dois meses antes em relação a precipitação de abril (lag 2).

O modelo de regressão proposto da precipitação do mês de abril em função da série previsível de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico em fevereiro explica 52% da variabilidade da precipitação (Tabela 5.5). O desvio padrão residual de 0.7 mostrou-se maior em relação ao mês anterior, com isso, a amplitude do intervalo de confiança das estimativas tornou-se maior, reduzindo desta forma a precisão das estimativas.

Verificou-se através da Figura 5.20 que a precipitação observada no mês de abril (linha contínua) comparada aos resultados do modelo de regressão (linha pontilhada), para o mesmo mês, encontra-se compreendida dentro dos limites de significância esperado, determinado apartir do modelo, exceto os anos de 1977 e 1985. Para os anos de 1972, 1974, 1978, 1980, 1981 e 1984 foi verificado uma maior diferença entre o valor observado e o estimado pelo modelo de regressão, embora mantendo-se dentro dos limites de confiabilidade esperado, sugerindo dessa forma que a parte aleatória durante estes anos teve uma grande influência. A curva de tendência prognóstica, obtida apartir dos valores extrapolados dos ciclos significativos observados na série de anomalias de TSM, mostrou que o mês de abril para os anos de 1996, 1997 e 1998 apresentou uma tendência de estar entre seco ou normal considerando um limite de confiabilidade de 80%.

5.7.3. Precipitação do mês de maio.

Por fim, tem-se o modelo de regressão para a precipitação do mês de maio em relação às séries previsíveis de anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico no mês de março (lag 2 - Fig. 5.21). Tendo-se em mente, como citado nos outros casos, este mês foi revelado a partir das análises dos "loadings rotacionados", usando o período de fevereiro a abril, como sendo o que apresentou melhor relação com a primeira e segunda componentes, as quais estão associadas ao Pacífico e Atlântico respectivamente, podendo assim substituí-las no modelo de regressão.

Verificou-se que cerca de 55% da variabilidade da precipitação de maio é explicada por este modelo com desvio padrão residual de 0.54 (Tabela 5.5).

Nota-se, através da Figura 5.22, que os valores observados da precipitação do mês de maio (linha contínua) na maior parte da análise, caem dentro dos limites de confiabilidade ajustados pelos valores prognosticados definidos pelo modelo de regressão, com exceção dos anos de 1976 e 1977. Anos como os de 1974, 1978, 1981, 1982 e 1985 apresentaram-se mais afastados dos valores observados, porém dentro dos limites esperados, isto sugere que houve uma grande influência da parte aleatória durante estes anos. A curva de tendência prognóstica para o período de 1989 à 1998 mostra que maio poderá vir a ser um mês com características de seco ou normal nos anos de 1996, 1997 e 1998 com uma confiabilidade de 80%.

Tabela 5.5: Resultados dos modelos de regressão

IP _{mês}	COEFICIENTES			R	σ _{est}
	β ₀	β ₁	β ₂		
MARÇO	0.181	-0.967	-0.267	0.70	0.54
ABRIL	0.215	-1.141	-0.530	0.72	0.70
MAIO	0.100	-0.752	-0.528	0.74	0.54

$$IP_{mês} = \beta_0 + \beta_1 A_{(lag\ 2)} + \beta_2 P_{(lag\ 2)}$$

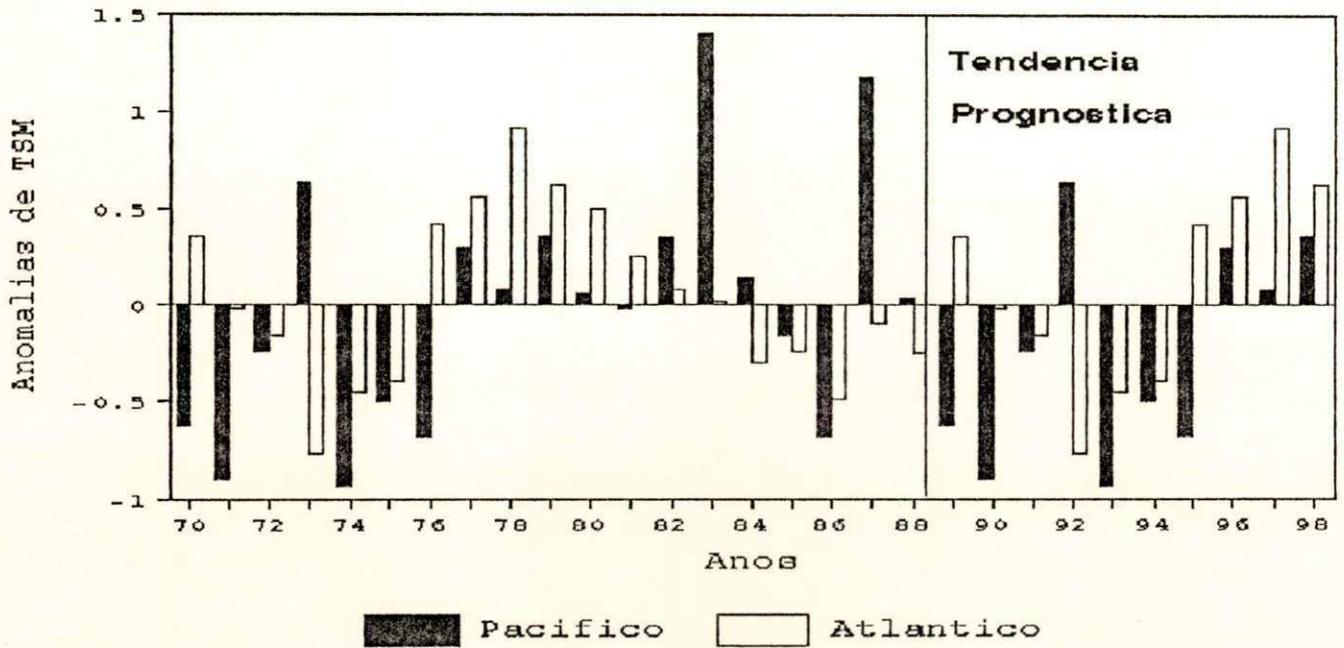


Figura 5.17: Série previsível de anomalias de TSM. Mês de janeiro.

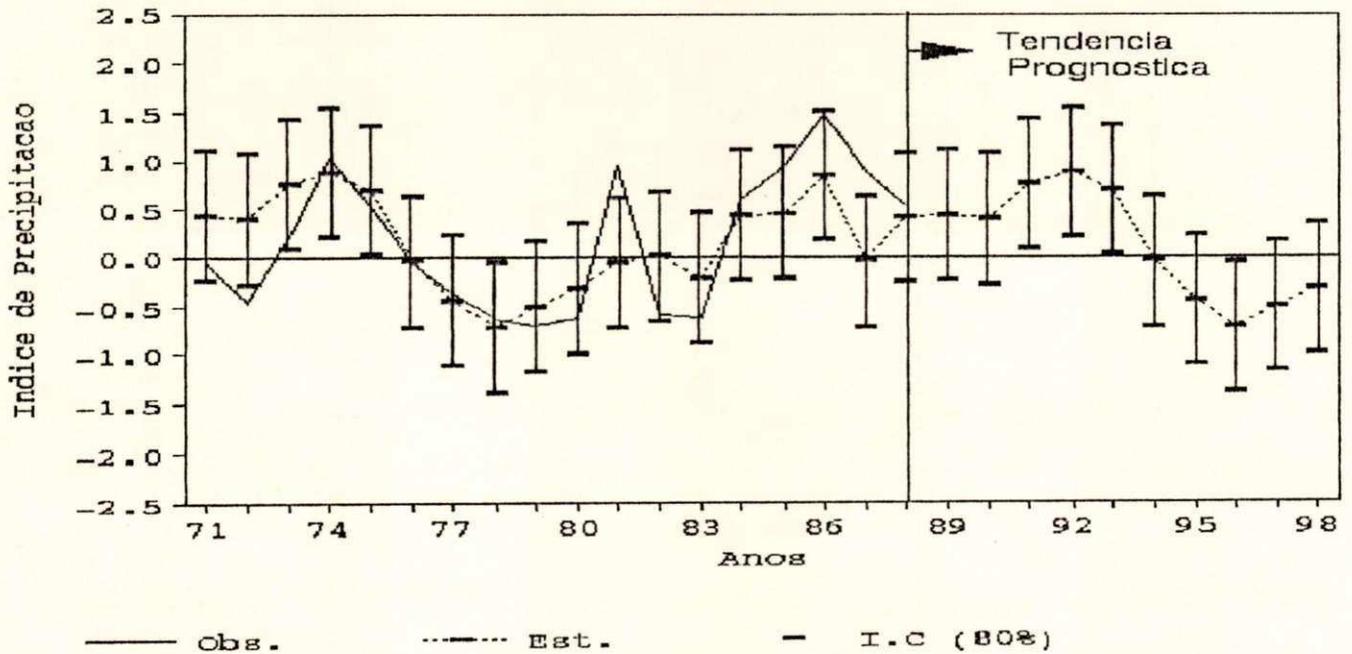


Figura 5.18: Precipitação de março. Valor observado (linha contínua:1971-1988), valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade (Barras verticais).

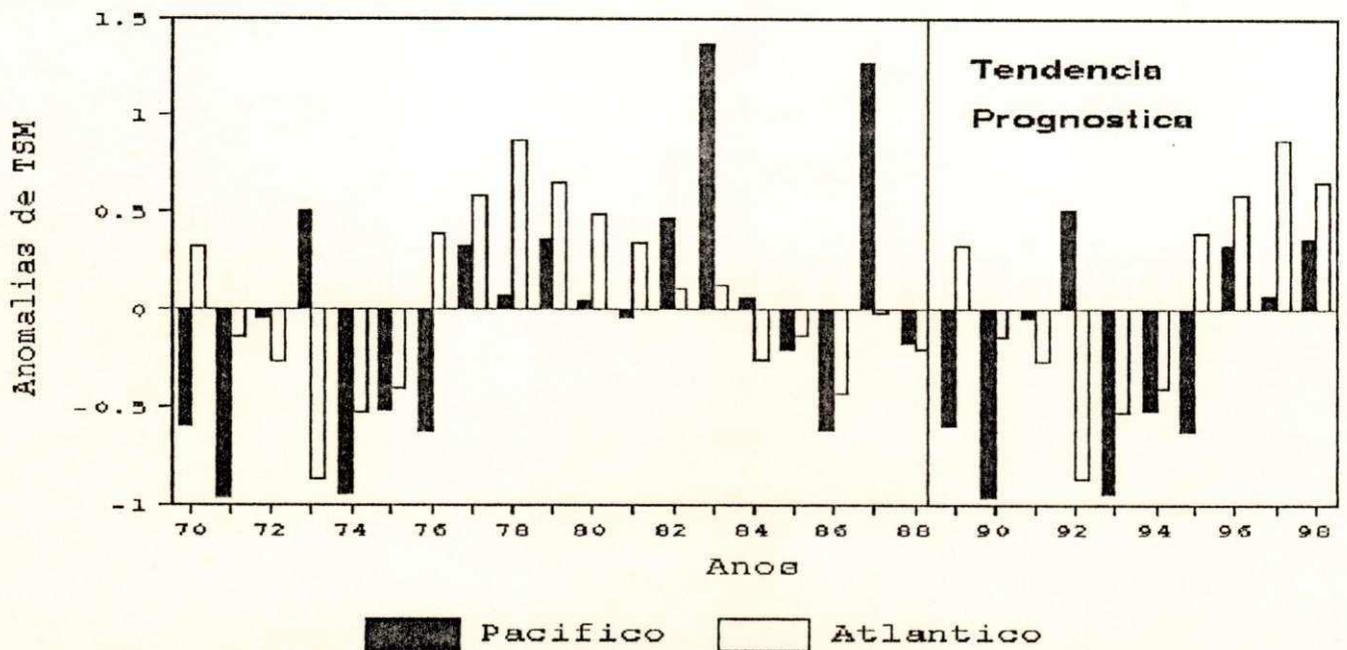


Figura 5.19: Série previsível de anomalias de TSM. Mês de fevereiro.

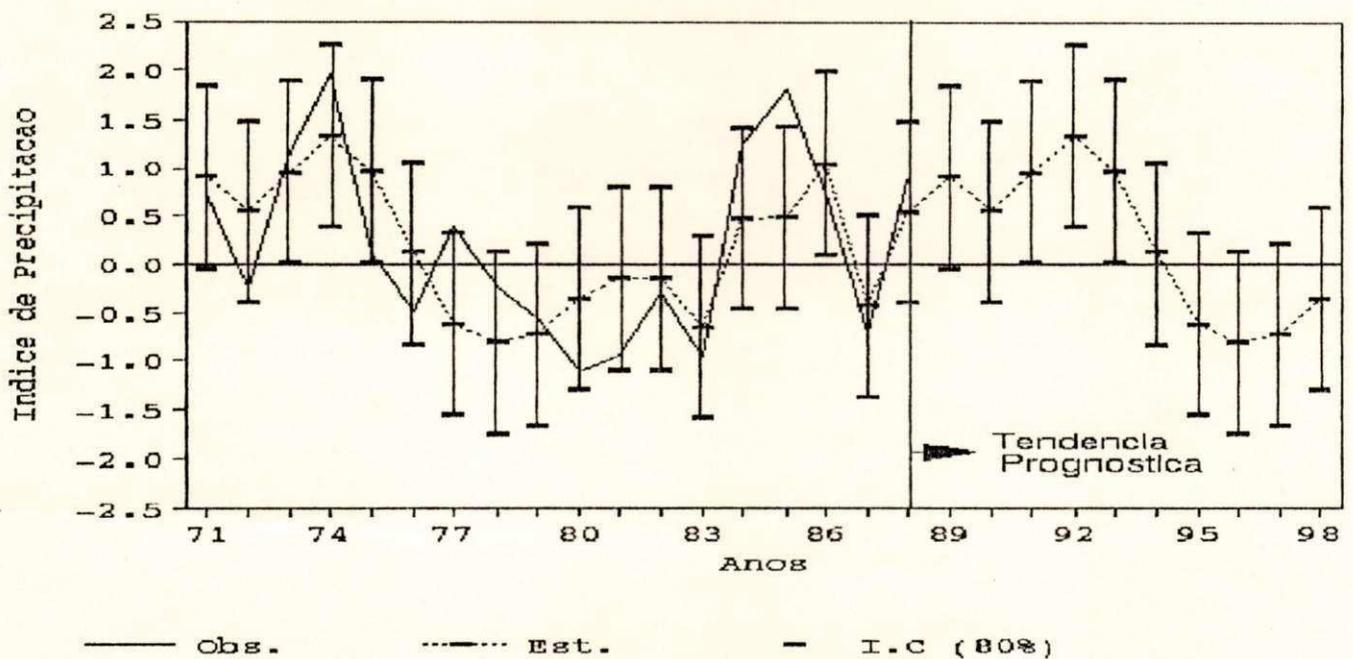


Figura 5.20: Precipitação de abril. Valor observado (linha contínua: 1971-1988), valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade (Barras verticais).

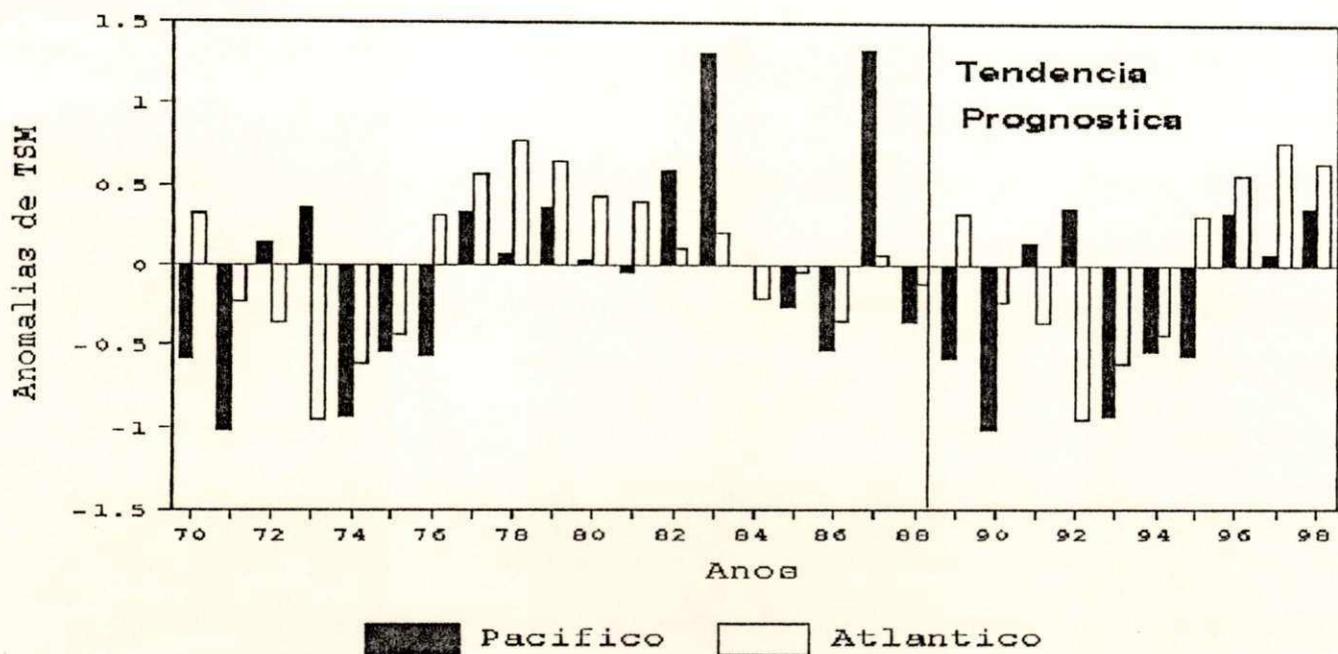


Figura 5.21: Série previsível de anomalias de TSM. Mês de março.

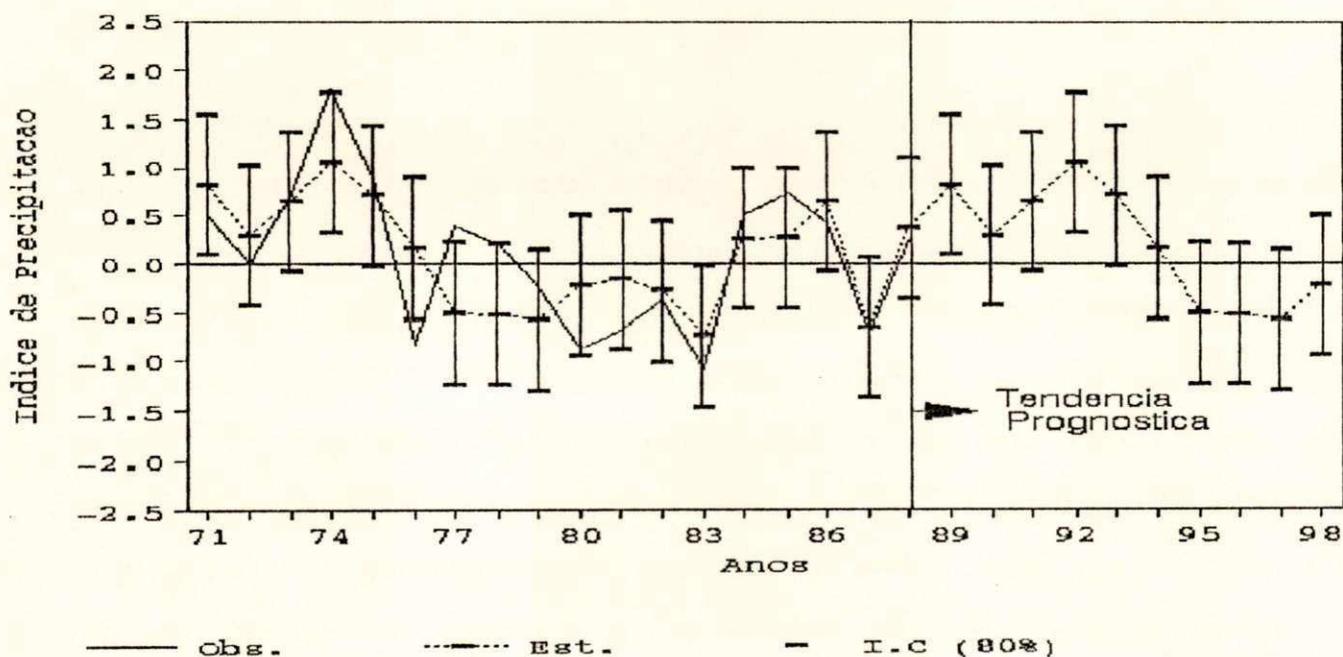


Figura 5.22: Precipitação de maio. Valor observado (linha contínua:1971-1988), valor estimado pelo modelo de regressão (linha pontilhada), tendência prognóstica (1989-1998) e limites de confiança das estimativas ao nível de 80% de confiabilidade (Barras verticais).

Os resultados de modo geral mostraram que uma tendência prognóstica à longo prazo da precipitação dos meses de março, abril e maio, nas áreas definidas na Figura 5.13, pode ser obtida a partir da extrapolação das séries previsíveis de anomalias de TSM, de dois meses antes a cada um deste (lag 2), do Atlântico e Pacífico constituídas pela soma das periodicidades de 1, 2, 6, 10, 19 anos e 2, 2.5, 4, 5 e 19 anos, respectivamente. Os modelos de regressão adotados explicam cerca de 50% da variabilidade total dos dados. Esta percentagem tende a se tornar um pouco mais alta em relação a precipitação do mês de maio em vista que a área de influência abrange somente uma pequena faixa que cobre principalmente o extremo norte do estado do Ceará e o litoral de Sergipe.

A percentagem explicada por estes modelos mostra-se similar às observadas por SANSIGOLO (1990), WARD e FOLLAND (1991) os quais utilizaram a análise em componentes principais para auxiliar no estudo da previsibilidade da precipitação sazonal em relação às anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico. Eles mostraram que cerca de 50% da variabilidade da precipitação sazonal (MAM) pode ser explicada por um modelo de regressão linear múltipla que tem como previsores as próprias componentes das anomalias de TSM para o período de dezembro-fevereiro e novembro-janeiro, respectivamente.

Os prognósticos da precipitação apresentados aqui foram baseados em periodicidades observadas nas séries de anomalias de TSM que estão próximas às verificadas na pluviometria do NEB. Um estudo mais detalhado destas periodicidades poderão vir a ser os precursores em direção à um equacionamento que explicitem de modo

mais consistente o conhecimento antecipado do fenômeno. Outro fato que deve ser lembrado é que estes prognósticos estão fundamentados em bases probabilísticas evidenciando uma tendência que poderá vir à acontecer.

O monitoramento das anomalias de TSM é de fundamental importância uma vez que parte destas está associado à efeitos aleatórios.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste trabalho foi analisada influência das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico tropical na precipitação de cada mês da estação chuvosa do NEB. Apartir dos resultados pode-se concluir:

- Dos meses da quadra chuvosa do regime norte, abril e maio foram os que mostraram-se melhores correlacionados às anomalias de TSM dos dois oceanos de até dois meses antes (lag 2), com coeficientes predominantemente negativos e significativos ao nível de 95% ou mais, segundo o teste "t-Student". O regime leste foi similar ao regime norte porém com coeficientes de correlação mais fracos, para o regime sul essa relação praticamente não existe. Isto justifica-se pelo fato que as áreas dos oceanos foram estabelecidas baseadas nas correlações com a precipitação do regime Norte do NEB;

- As análises harmônicas mostraram cinco harmônicos significativos, segundo o teste de "Fisher" com períodos aproximados de 1, 2, 6, 10 e 19 anos para o Atlântico e 2, 2.5, 4, 5 e 19 anos para o Pacífico explicando cerca de 65% e 78% da variância, respectivamente. A série temporal tem somente 19 anos e portanto oscilações com período superiores a 19 anos não são representados na análise harmônica;

- As correlações dos índices de precipitação de cada posto com a série de anomalias de TSM composta pela soma dessas periodicidades (série previsível) delimitaram áreas, que abrangem praticamente todo o norte do NEB, de possível previsibilidade;

- As análises em CPs rotacionadas, aplicadas à esta série previsível realçaram que o número de variáveis para a "previsão" pode ser reduzido para duas, sendo que CP₁ pode ser substituído pelas anomalias de TSM do Pacífico (lag 2) e CP₂ pelas do Atlântico (lag 2);

- O modelo de regressão da precipitação (nas áreas definidas de possível previsibilidade) em função das anomalias de TSM definidas nas análises em CPs, mostrou um ajuste relativamente satisfatório entre a faixa prevista e o valor observado explicando cerca de 50% da variabilidade da precipitação no Norte do NEB;

- A obtenção de uma tendência permitiu fazer um prognóstico, dentro de certas limitações, da precipitação a longo prazo apartir dos valores extrapolados das séries de anomalias de TSM com base nas periodicidades observadas. A previsão sazonal (neste caso mensal) com anos de antecedência não permite uma previsão ano a ano (muito menos mês a mês). Somente anos extremos teriam alguma previsibilidade. A parte aleatória ou residual mascara a variabilidade interanual de precipitação com baixa amplitude.

Sugere-se para trabalhos posteriores:

- Ampliar a rede de postos pluviométricos e procurar ter o conhecimento daqueles que estão sujeitos aos efeitos de altitude;

- Trabalhar com uma série de dados maior, já que neste trabalho somente 19 anos foram utilizados. Possivelmente periodicidade como as de 13 e 26 anos observadas na pluviometria do NEB, possam ser melhores evidenciadas nas séries de anomalias de TSM;

- Atribuir as análises índices referentes a outros fenômenos de periodicidades conhecidas, como por exemplo: o ciclo de manchas solares, posicionamento da ZCIT, etc. Assim como, a componente meridional do vento sobre o Atlântico, visto ser esta, de maior valor prognóstico, em relação às anomalias de TSM, da precipitação do norte do NEB.

- Monitoramento das anomalias de TSM para "cheque" ou "correção" da "previsão".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J.M.B. e REPELLI C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação sul (ENOS), Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 7 (2), 583-592, 1992.
- ARAGÃO, J.O.R., ROUCOU P. , HARZALLAH A. , FONTAINE B. , et JANICOT S. Variabilité atmosphérique sur le Nordeste Brésilien dans le modèle de circulation générale du LMD (1970-1988), Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 7, 432-438, Toulouse-France, 1994.
- ARAGÃO, J.O.R. A General Circulation Model Investigation of the Atmospheric Response to El Niño. National Center for Atmospheric Research/CT-100, 1986.
- BOUROCHE, J-M & G. SAPORTA: Análise de dados. Zahar editores, Rio de Janeiro, 115 pp. [Tradução de L' analyse des données, collection Que sais-je?, presses univs. de France, 1980]. cap. 1 e 2, 1982.
- CHU, P.S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. Mon. Wea. Rev., 111, 1655-1664, 1983.
- CHUNG, J.C. Correlation between the tropical Atlantic trade winds and rainfall in Northeastern Brazil. Journal of Climatology, vol. 2, 35-46, 1982.
- COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F. ; NOBRE A.C. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. Climanálise, 4 (11), 34-39, 1989.
- GAN, M.A. & KOUSKI V.E. . Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico sul. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 1, 19-28, 1986.

HALL, B.A. Westward- Moving disturbances in the south Atlantic conceding with heavy rainfall events at ascension island. Meteorological magazine, 118(1405), 175-181. aug. 1989.

HASTENRATH, S. Interannual Variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. Mon. Wea. Rev., 112, 1097-1107, 1984.

HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. J. Climate, 3, 893-904, 1990.

HASTENRATH, S. & GREISCHAR L. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 2, 743-758, 1993.

HASTENRATH, S. & HELLER L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 103 (435), 77-92, jan. 1977.

HAAN, CHARLES T. Statistical methods in hydrology, the Iowa state university press, Iowa, 1977.

KAYANO. M. T. Circulações tropicais e as associadas anomalias de precipitação em dois anos de contraste. In: Anais do V congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de janeiro-RJ, III.11- III.16, nov. 1988.

KOUSKY, V.E. Frontal influences Northeast Brazil. Mon. Wea. Rev., 107 (9), 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast of Brazil, Mon. Wea. Rev., 108 (4), 448-498, Apr. 1980.

KOUSKY, V.E. & CAVALCANTI I.F.A. Eventos oscilação do sul- El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. Ciência e Cultura, 36 (11): 1888-1899, nov. 1984.

- KOUSKY, V.E. & GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical south Atlantic, Tellus, 36 (6), 538-551, 1981.
- LIMA, DE M.C. Variabilidade da precipitação no litoral leste da região Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos-SP, junho 1991.
- LOUGH, J.M. Tropical Atlantic sea surface temperature and rainfall variations in sub-Sahara. Mon. Wea. Rev., 114, 561-570, 1986.
- MONTE, DE E.M. Estudo de periodicidades: séries temporais de chuvas no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFPB, Campina Grande-PB, agosto 1986.
- MOURA, A.D. & SHUKLA J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. J. Atmosf. Sci., 38, 2653-2675, 1981.
- MOURA. A.D. & KAYANO M.T. Distribuição da precipitação para os anos extremos do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 1, 1-9, 1986.
- NAMIAS, J. Influence of Northern hemispheric general circulation on drought in Northeast Brazil, Tellus, 24, 336-342, 1972.
- NOBRE, P. On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin. PhD thesis, University of Maryland, 1993.
- RAO, V.B., LIMA M.C. & FRANCHITO S.H. Seasonal and interannual variation of rainfall over eastern Northeast Brazil. Journal of Climate, vol. 6, 1754-1763, 1993.

- REYNOLDS, R.W. & GEMMIL. An objective global monthly mean sea surface temperature analysis. Trop. Ocean-Atmosf. Newsletter, 23, 4-5, 1984.
- RODRIGUES DA SILVA, V. P. Comportamento estatístico de séries temporais de pluviometria no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFPB, Campina Grande-PB, abril-1992.
- SANSIGOLO, C.A. Previsão das precipitações sazonais no Nordeste através das componentes principais das temperaturas da superfície do mar do Atlântico e Pacífico. In: Anais VI congresso Brasileiro de Meteorologia, vol. 1, 243-247, Salvador-BA, 1990.
- SERRA, A. B. The General Circulation over South America. Bulletin American Meteorological Society, vol. 22, 173-179, april, 1941.
- STRANG, D.M.G.D. Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste do Brasil. São José dos Campos, CTA, 1972. 29p. (IAE-M-02/72)
- UVO, C.R.B., REPELLI C.A. , ZEBIAK S.E. & KUSHNIR Y. The influence of tropical Pacific and Atlantic SST on Northeast Brazil monthly precipitation, Submitted to Journal of Climatology, 1994.
- UVO, C.R.B. , NOBRE C.A. & CITEAU J. Análise da posição da zona de convergência intertropical (ZCIT) no Atlântico equatorial e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil. In: Anais do V congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ, 7-11, nov. 1988.
- UVO, C.R.B. & NOBRE C.A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte II: A influência dos ventos e TSM do Atlântico tropical. Climanálise, 4 (10), 39-47, 1989.

- VIRJI, H. A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South America Estimated from Cloud Winds. Mon. Wea. Rev., vol. 109, 599-610, 1981.
- WAGNER, R.G. & da SILVA A.M. Surface conditions associated with anomalous rainfall in the Guinea Coastal Region, International Journal of Climatology, vol. 14, 179-199, 1994.
- 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, vol.11, 711-743, 1991.
- YAMAZAKI, Y. & RAO V.B. Tropical cloudiness over the south Atlantic ocean, Journal of the Meteorological Society of Japan, 55 (2), 205-207, 1977.
- YEVJEVICH, V. Stochastic Processes in hidrology. Fort collin, Colorado. 1971.