



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET-UFAL-MS/008

VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASIL
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE HARMÔNICA
E COMPONENTES PRINCIPAIS

Sergio de Oliveira Bernardo

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Meteorologia, para obtenção do título de **Mestre em Meteorologia** – Área de concentração em **Processos de Superfície Terrestre**.

Maceió
Agosto de 2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET-UFAL-MS/008

VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASIL
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE HARMÔNICA
E COMPONENTES PRINCIPAIS

Sergio de Oliveira Bernardo

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Meteorologia, para obtenção do título de **Mestre em Meteorologia** – Área de concentração em **Processos de Superfície Terrestre**.

Maceió – AL

Agosto de 2002

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

B523v

Bernardo, Sergio de Oliveira.

Varíabilidade climática do Nordeste do Brasil utilizando técnicas de análise harmônica e competentes principais / Sergio de Oliveira Bernardo. – Maceió, 2003.

xxiv, 137f. : il.

Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia, Maceió, 2003.

Bibliografia: f. 89-95.

Apêndice: f. 96-137.

1. Climatologia – Brasil, Nordeste. 2. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade. 3. Análise de componentes principais. 4. Análise harmônica. 5. El Niño. 6. La Niña. I. Título.

CDU. 551.58(812/813)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET-UFAL-MS/008

VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASIL
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE HARMÔNICA
E COMPONENTES PRINCIPAIS

Por

Sergio de Oliveira Bernardo

Luiz Carlos Baldicero Molion
(Orientador)

Maceió – AL

Agosto de 2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

TÍTULO: VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO NORDESTE DO BRASIL
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE HARMÔNICA
E COMPONENTES PRINCIPAIS

Sergio de Oliveira Bernardo

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia. N.º de Ordem: MET-UFAL-MS-008

Aprovado pela banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Orientador)

Prof. Dr. José Oribe Rocha de Aragão

Prof. Dr. José Leonaldo de Souza

Maceió – AL

Agosto de 2002

Celebrai com júbilo ao Senhor, todos os habitantes da terra.

Servi ao Senhor com alegria, e apresentai-vos a ele com cântico.

Sabei que o Senhor é Deus! Foi ele quem nos fez, e somos dele; somos o seu povo e ovelhas do seu pasto.

Entrai pelas suas portas com ação de graças, e em seus átrios com louvor; dai-lhe graças e bendizei o seu nome.

Porque o Senhor é bom; a sua benignidade dura para sempre, e a sua fidelidade de geração em geração.

Salmos 100

Não tenhas inveja dos homens malignos; nem desejes estar com eles porque o seu coração medita a violência; e os seus lábios falam maliciosamente. Com a sabedoria se edifica a casa, e com o entendimento ela se estabelece... O sábio é mais poderoso do que o forte; e o inteligente do que o que possui a força... A sabedoria é alta demais para o insensato... Se enfraqueces no dia da angústia, a tua força é pequena.

Provérbios 24: 1-10

“Um professor deve transmitir aos jovens não o saber em si e o conhecimento, mas a sede de saber e de conhecer, assim como o respeito pelos valores do espírito, quer sejam de ordem artística, científica ou moral”.

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Ao ser graciosos que através de sua presença em minha vida ensinou-me a sentir e a entender um pouco do amor e zelo de nosso Criador por nós, ao enviar Jesus Cristo para nos redimir do pecado. Cativando-me, mostrou que o amor é paciente e sabe perdoar.

João Pedro, meu filho.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, como autor e mantenedor da vida — motivo de minha existência. A Ele seja a honra, a glória e o louvor.

Aos meus pais Sebastião Bernardo e Maria José da Conceição de Oliveira Bernardo, os quais foram peças fundamentais na minha formação.

Aos meus irmãos Célio de Oliveira Bernardo e Cleonice de Oliveira Bernardo, principalmente minha irmã Maria Solange de Oliveira Passos e aos meus tios Gilson Lucas de Oliveira e Sebastião Lucas de Oliveira, os quais contribuíram para meu desenvolvimento intelectual, meu respeito e minha profunda admiração.

A Solange Tavares da Silva pelo apoio, incentivo e força a mim concedido durante este trajeto.

À Universidade Federal de Alagoas, enquanto uma universidade pública e gratuita, a qual me concedeu a oportunidade de obter o grau de Mestre em Meteorologia.

Aos Profs. do Departamento de Física Maria Cristina Hellmeister, Solange Bessa Cavalcanti e Jandir Miguel Hickmann pela paciência, incentivo e valiosas orientações, por minha iniciação à Física, pelo apoio e amizade.

Ao meu orientador Prof. Luiz Carlos Baldicero Molion, pelo acolhimento, estímulo, confiança, paciência e orientação indispensável à realização deste trabalho.

Ao Prof. José Leonaldo de Souza do Departamento de Meteorologia pela amizade e pelas informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Profs. do INPE Nelson de Jesus Ferreira e Mary Toshie Kayano pelas orientações e pela concessão de alguns programas e scripts os quais foram importantes para realização deste.

Aos membros da banca examinadora: Prof. José Leonaldo de Souza e José Oribe Rocha de Aragão.

Ana Beatriz Porto Silva e Rosilene Mendonça Nicácio pela amizade e solidariedade durante a fase de conclusão deste trabalho.

RESUMO

BERNARDO, Sergio de Oliveira. Variabilidade climática do Nordeste do Brasil utilizando técnicas de Análise Harmônica e Componentes Principais. Orientador: Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion. Maceió-AL (BRA): UFAL; 2002. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

Atualmente, dados de Reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NOAA) são amplamente empregados, sem uma análise crítica, devido à escassez de dados existentes, particularmente sobre regiões tropicais. Neste trabalho, objetivou-se estudar a climatologia e variabilidade espaço-temporal dos dados de Reanálise do NCEP, por meio de análise harmônica e análise de componentes principais para o Nordeste do Brasil (NEB). Um dos aspectos particulares foi verificar a concordância desses dados com os dados de observações de algumas estações de aeroportos do NEB, procurando estabelecer relações entre eles bem como entre eles e alguns índices globais como temperatura de superfície do mar no Pacífico (Niño 3 e Niño 3.4), índice de oscilação sul dentre outros. Os dados mensais utilizados foram os de taxa de chuva (convertida em *mm*), água precipitável e OLR no período 1980-99 na janela espacial 20°N-20°S e 80°W-20°E. Dados de precipitação observados foram de algumas estações pertencentes ao Serviço de Proteção ao Voo (SPV) no 1992-97, dispostas ao longo da Costa Leste NEB. Na análise harmônica, utilizaram-se todas as variáveis citadas e as análises de componentes principais foram realizadas utilizando-se uma matriz de correlação a partir de anomalias normalizadas das variáveis citadas, com exceção da taxa de chuva, filtrando-se o ciclo anual. O NEB apresentou um forte acoplamento com duas regiões próximas à costa africana. As perturbações, que se iniciam nessas regiões da África, parecem influenciar o regime de chuva no NEB, propagando-se através de um “duto” de águas aquecidas do Atlântico equatorial. Na região litorânea do NEB, a baixa variabilidade no campo de água precipitável, deve-se à constante convergência de brisa marinha e dos ventos Alisios de nordeste e sudeste. Portanto, entre anos atípicos, como El Niño e La Niña, essa variabilidade não foi grande, sugerindo que, no caso dos El Niños, não existe falta de umidade na baixa troposfera e sim de um mecanismo dinâmico que a converta em chuva. Já, nas regiões interiores, como sul do Piauí e noroeste da Bahia, a variabilidade foi alta. A partir das análises das componentes principais (SPV), pode-se verificar que os sistemas produtores de chuva na costa Leste do Nordeste (Salvador-Natal) foram, em sua maioria, diferentes dos sistemas que atuaram na parte sul da Bahia, mostrando contraste entre as regiões. Na maioria das estações do SPV, os dados de Reanálise subestimaram os totais mensais máximos e introduziram um deslocamento de fase do mês de precipitação máxima no ciclo anual, com este antecedendo de até três meses o máximo observado. Dados de Reanálise para precipitação tenderam a subestimar os totais mensais durante os eventos La Niña e superestimar os máximos reduzidos durante os anos de El Niño e de secas.

ABSTRACT

BERNARDO, Sergio de Oliveira. Climate Variability in Northeastern Brazil employing Harmonic Analysis and Principal Components Analysis techniques. Adviser: Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion. Maceió-AL (BRA): UFAL; 2002. (Master of Science Thesis in Meteorology).

Presently, the data of the Reanalysis Project of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NOAA) are largely used, without a critical overview, due to the scarcity of data, notably in tropical regions. In this work, a study of the climatology and the spatial and temporal variability of the NCEP Reanalysis data was performed using Harmonic Analysis and Principal Components Analysis for the Northeastern Brazil (NEB). One of the particular aspects of this study was to verify the accordance of this dataset with observed data of some climatological stations located at NEB airports, aiming at establishing a possible relationship between them as well as relating them to global atmospheric indices such as sea surface temperature (Niño 3 and Niño 3.4 regions), Southern Oscillation and Multivariate ENSO indices among others. The monthly data used were rainfall rate, precipitable water and OLR in the period 1980-1999, for the 20°N - 20°S and 20°E - 80°W window. The observed rainfall data were from the Serviço de Proteção ao Voo (SPV) network along the eastern coast of NEB. For the Harmonic Analysis, all meteorological variables above were used and the Principal Components Analysis was performed using a correlation matrix ensembled with standardized anomalies of the same variables, with exception of rainfall rate, but filtering out the annual cycle. The NEB region presented a strong coupling with two regions near the African West Coast. The disturbances that originate in these regions seem to influence the NEB rainfall regime, once they propagated over a "duct" of Equatorial Atlantic warm waters existing between the two continents. In the NEB coastal regions, the precipitable water low interannual variability might be due to the low level convergence of the sea breeze and of the Northern and Southern Trades. Therefore, between extreme years, such as El Niño and La Niña, this variability was relatively low, suggesting that, in case of El Niños, there is no lack of low tropospheric moisture but of a dynamical mechanism to convert moisture into convection and rain. In the NEB interior, however, the variability was high, such as over Southern Piauí and Northwestern Bahia. Through the Principal Components Analysis of SPV dataset, it was possible to verify that rainfall producing systems that acted over Eastern Coast of NEB, from Salvador to Natal, were basically distinct from the ones that acted over Southern Bahia, evidencing the contrast between the two regions. In general, Reanalysis data underestimated the monthly rainfall totals with respect to SPV rainfall data and introduced a phase lag up to three months between the Reanalysis and the observed month of maximum rainfall in the annual cycle. Moreover, the Reanalysis dataset tended to underestimate rainfall in wet (La Niña) years and overestimate the reduced rainfall totals in dry and El Niño years.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	VII
AGRADECIMENTOS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS	XIX
LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS	XXIII
INTRODUÇÃO	1
1. CLIMATOLOGIA DO NORDESTE BRASILEIRO	4
1.1. Mecanismos que Produzem Chuvas	5
1.1.1. Zona de Convergência Intertropical	6
1.1.2. Sistemas Frontais	7
1.1.3. Perturbações Ondulatórias nos Alísios (Linhas de Instabilidade)	8
1.1.4. Brisas (Marinha/Terrestre)	10
1.2. Variabilidade Interanual	11
1.2.1. El Niño-Oscilação Sul	12
1.2.2. Dipolo do Atlântico	14
1.2.3. Efeitos de Aerossóis Vulcânicos	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.3. Algumas Definições Estatísticas Empregadas	23
2.3.1. Média Amostral	23
2.3.2. Desvio-Padrão	24
2.3.3. Coeficiente de Correlação	24
2.3.4. Correlação Cruzada	25
2.3.5. Anomalias Normalizadas Pelo Desvio Padrão	25
2.3.6. Anomalias Normalizadas Pela Média	26
2.3.7. Matriz de Correlação	26
2.3.8. Matriz de Variância-Covariância	27
2.3.9. Análises por Componentes Principais	27
2.3.9.1. Cálculo das Componentes Principais	29
2.3.9.2. Critério de Seleção das Componentes Principais	32
2.4. Análise Harmônica	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
3.1. Análise Harmônica	37

3.1.1. Radiação de Ondas Longas	37
3.1.1.1. Período de 1980-99	38
3.1.1.2. Período de El Niño	41
3.1.1.3. Período de La Niña	44
3.1.2. Precipitação	46
3.1.2.1. Período de 1980-99	46
3.1.2.2. Período de El Niño	49
3.1.2.3. Período de La Niña	50
3.1.3. Água Precipitável	52
3.1.3.1. Período de 1980-99	52
3.1.3.2. Período de El Niño	55
3.1.3.3. Período de La Niña	57
3.2. Análises das Componentes Principais	59
3.2.1. Dados de Reanálise	59
3.2.1.1. Radiação de Ondas Longas	60
3.2.1.1.1. Período de 1980 a 1999	60
3.2.1.1.2. Período de El Niño	64
3.2.1.1.3. Período de La Niña	66
3.2.1.2. Água Precipitável	69
3.2.1.2.1. Período de 1980-99	69
3.2.1.2.2. Período de El Niño	72
3.2.1.2.3. Período de La Niña	74
3.2.2. Dados de Estação	77
3.3. Comparação entre Totais de Precipitação Observados e os Estimados Pelas Reanálises	79
4. SUMÁRIO E CONCLUSÕES	83
5. SUGESTÕES	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
7. APÊNDICE	96
A - Modificações quanto à disposição da entrada da matriz de dados	96
B - Estruturas das Tabelas	97
C - Consultas	98
D - Programas Utilizados	100
D.1 - Access & Visual Basic	100

D II - Fortran	113
D.III - Mathematica	123
D.IV - Grads	125
E - Correlações entre dados de estações e alguns parâmetros de variabilidade climática do NCEP no período 1992-1997	134
E.I - Correlação Simultânea (Lag = 0)	134
E.II - Correlação Defasada (Lag = 1, para estações)	135
E.III - Correlação Defasada (Lag = 2, para estações)	136
E.IV - Correlação Defasada (Lag = 3, para estações)	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Interpretação da orientação das setas para os gráficos das fases dos harmônicos.	34
Figura 3. 1 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR ($W.m^{-2}$) no período de 1980 a 1999.	39
Figura 3. 2 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR no período de 1980 a 1999. As direções e os sentidos das setas indicam os meses de maior amplitude de variação.	40
Figura 3. 3 – Explicação da variância da amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR (%) no período de 1980 a 1999.	41
Figura 3. 4 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR ($W.m^{-2}$), nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	42
Figura 3. 5 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR, para os anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	43
Figura 3. 6 – Explicação da variância total do primeiro harmônico para o campo OLR, nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	43
Figura 3. 7 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de OLR ($W.m^{-2}$), para os anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	45
Figura 3. 8 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de OLR, nos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	45
Figura 3. 9 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo OLR, nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	46
Figura 3. 10 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação (mm), no período de 1980 a 1999.	47
Figura 3. 11 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação, para o período de 1980 a 1999.	47

Figura 3. 12 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo de precipitação, no período de 1980 a 1999.....	48
Figura 3. 13 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação (<i>mm</i>), nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	49
Figura 3. 14 – Fase do primeiro harmônico para o campo precipitação dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	50
Figura 3. 15 – Explicação da variância primeiro harmônico para o campo precipitação dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	50
Figura 3. 16 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação (<i>mm</i>) nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	51
Figura 3. 17 – Fase do primeiro harmônico para o campo precipitação nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	52
Figura 3. 18 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo de precipitação nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	52
Figura 3. 19 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de água precipitável (<i>mm</i>), nos período de 1980 a 1999.....	53
Figura 3. 20 – Fase do primeiro harmônico para os campos mensais de água precipitável, no período de 1980 a 1999.	54
Figura 3. 21 – Explicação do primeiro harmônico para o campo água precipitável no período de janeiro/1980 a dezembro/1999.....	55
Figura 3. 22 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos água precipitável (<i>mm</i>) nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.....	56
Figura 3. 23 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de água precipitável nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	56
Figura 3. 24 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo de água precipitável nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	57

Figura 3. 25 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de água precipitável (<i>mm</i>) nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	58
Figura 3. 26 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de água precipitável nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	59
Figura 3. 27 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo de água precipitável nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	59
Figura 3. 28 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR no período de 1980 a 1999.....	61
Figura 3. 29 – A primeira componente principal para os campos mensais de OLR, no período de 1980 a 1999.....	62
Figura 3. 30 – Loadings percentuais da segunda componente para os campos mensais de OLR no período de 1980 a 1999.	63
Figura 3. 31 – Segunda Componente Principal para o campo de OLR para o período de 1980 a 1999.	64
Figura 3. 32 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	64
Figura 3. 33 – Primeira Componente Principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	65
Figura 3. 34 – Loadings percentuais da segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	65
Figura 3. 35 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	66
Figura 3. 36 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	67
Figura 3. 37 – Primeira componente principal para o campo de OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	68

Figura 3. 38 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	68
Figura 3. 39 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.	69
Figura 3. 40 – Loadings percentuais da primeira componente para os campos mensais de água precipitável, no período de 1980 a 1999.	70
Figura 3. 41 – Primeira componente principal para o campo da água precipitável, no período de 1980 a 1999.....	70
Figura 3. 42 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo da água precipitável para o período de janeiro/1980 a dezembro/1999.....	71
Figura 3. 43 – Segunda Componente Principal para o campo da água precipitável no período de 1980 a 1999.....	71
Figura 3. 44 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo da água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	72
Figura 3. 45 – Primeira Componente Principal para o campo da água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	73
Figura 3. 46 – Loadings da percentuais segunda componente principal para o campo de água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.	73
Figura 3. 47 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño. 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.....	74
Figura 3. 48 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	75
Figura 3. 49 – Primeira componente principal para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	75
Figura 3. 50 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	76

Figura 3. 51 – Segunda componente principal para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.....	76
Figura 3. 52 – Primeira componente das anomalias mensais de precipitação das sete estações de aeroportos no período de 1992 a 1997.....	77
Figura 3. 53 – Segunda componente das anomalias de precipitação das sete estações de aeroportos no período de 1992 a 1997.....	78
Figura 3. 54 – Precipitação (<i>mm/mes</i>) das sete estações pluviométricas de superfície (linhas pretas) comparados com os dados de reanálise (linhas vermelhas) interpolados para a posição geográfica do pluviômetro.	81
Figura 3. 55 – Correlações dos dados de superfície com dados de reanálise em função do deslocamento norte-sul. O valor de deslocamento positivo (negativo) significa que a estação de observação está ao norte (sul) do ponto de grade considerado. . .	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Identificação e localização das sete estações do SPV, distribuídas sobre a Costa Leste do Nordeste.	18
Tabela 2. 2 – Parâmetros de variabilidade climática.	19
Tabela 2. 3 - Identificação e localização das sete estações do SPV, distribuídas sobre a Costa Leste do Nordeste.	22
Tabela 3. 1 – Correlações entre as duas primeiras componentes principais e alguns índices meteorológicos.	60
Tabela 3. 2 – Interpretação de anomalia tendo como base o coeficiente de correlação (loading) e a amplitude da componente principal.	62
Tabela 3. 3 – Loadings da primeira e segunda componentes para a precipitação para os dados de estação.	79
Tabela 3. 4 - Correlações entre os dados mensais de precipitação de estações e os dados obtidos de reanálises.	80

LISTA DE SÍMBOLOS

$\vec{\Lambda}_n$	Vetor de fase do <i>n-ésimo</i> harmônico
Λ	Matriz diagonal de Autovalores
$\Delta\lambda$	Afastamento meridional
$\Delta\varphi$	Afastamento zonal
λ_e	Latitude da estação de superfície
φ_e	Longitude da estação de superfície
ϕ_n	Ângulo de fase do <i>n-ésimo</i> harmônico
Λ_n	Amplitude do <i>n-ésimo</i> harmônico
φ_p	Longitude do ponto de grade da reanálise mais próximo da estação
λ_p	Latitude do ponto de grade da reanálise mais próximo da estação
Δs	Afastamento resultante
σ_x	Desvio padrão da série <i>x</i>
A	Matriz de autovetores
A'_n	Amplitude dos cosenos dos <i>n-ésimo</i> harmônico
A_i	Autovetor associado ao autovalor λ_i
A^T	Matriz transposta da matriz dos autovetores
B'_n	Amplitude dos senos dos <i>n-ésimo</i> harmônico
$C(\lambda)$	Matriz característica
D	Matriz de Anomalias

d_{ij}	Elemento da matriz de anomalias
$F(t)$	Série temporal em estudo no tempo (t)
I	Matriz identidade ou unitária
L	Matriz dos “loadings”
l_{ij}	Elemento matriz dos “loadings”, o qual da representa a correlação entre a i -ésima CP e j -ésima estação
r	Coefficiente de correlação linear ou coeficiente Pearson
R	Matriz de correlação
$r_{xy}(k)$	Coefficiente de correlação cruzada com “lag” k
S	Matriz de Variância-Covariância
$s_{xx}(k)$	Variância cruzada com “lag” k da série x
s_{xx} e $s_{xx}(0)$	Variância simultânea da série x
s_{xy}	Covariância simultânea entre as séries x e y
$s_{xy}(k)$	Covariância cruzada com “lag” k entre as séries x e y
T_n	Período do n -ésimo harmônico
$Var_{AC}(Y_q)$	Variância acumulada das q CPs mais significativas
$Var(Y_i)$	Variância da i -ésima CP
Var_n	Variância explicada para o n -ésimo harmônico
$Var_T(R)$	Variância total da matriz de correlação
x_i	i -ésimo elemento da série temporal x
X	Matriz de dados
X_{ij}	Anomalias normalizadas pelo desvio padrão

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AH	Análise Harmônica
AP	Água Precipitável
CDC	Climate Diagnostic Center
CP	Componentes Principais
DA	Dipolo do Atlântico
ENE	Leste do Nordeste
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EPO	Oscilação do Pacífico Leste
FF	Frentes Frias
FOE	Funções Ortogonais Empíricas
GrADS	Grid Analysis And Display System
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
LI	Linhas de Instabilidade
MEI	Índice Multivariado de ENOS
NAO	Oscilação do Atlântico Norte
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NEB	Nordeste do Brasil
Niño 1+2	TSM do Extremo Leste do Pacífico
Niño 3	TSM do Leste do Pacífico
Niño 3.4	TSM do Centro Leste do Pacífico Leste
Niño 4	TSM do Pacífico Tropical Central
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLR	Radiação de Ondas Longas
OS	Oscilação Sul

$\bar{x}$	Média aritmética (amostral) da série temporal x
Y	Matriz das componentes principais

PDO	Oscilação Decadal do Pacífico
PNA	Pacific North American Index
POA	Perturbações Ondulatórias nos Alísios
QBO	Oscilação Quasi-Bienal
SF	Sistemas Frontais
SGBD	Gerenciamento de Banco de Dados
SOI	Índice de Oscilação Sul
SPV	Serviço de Proteção ao Voo
SQL	Strutured Query Language
TC	Taxa de Chuva
TDI	Índice do Dipolo do Atlântico
TNI	Índice Trans El Nino
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
WP	Índice do Pacífico Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

INTRODUÇÃO

Nessas últimas décadas, o interesse da meteorologia acerca do comportamento atmosférico vem aumentando devido à necessidade de prever, com antecedência, os impactos climáticos sobre as atividades humanas. Sabe-se que o clima interfere nas atividades do homem e no meio ambiente em todas as escalas local, regional e mundial. As variações e mudanças climáticas, e seus impactos, surgem, portanto, como assunto de alta relevância, estimulando o desenvolvimento de métodos que possam identificá-las e avaliá-las, tão rápido quanto possível, com intuito de se prevenir seus indesejáveis efeitos sobre as atividades humanas e problemas ambientais decorrentes. Assim, a variabilidade climática, em suas várias escalas, é um fator crucial que afeta o desenvolvimento da humanidade, e se reflete na produção agrícola, pois esta é sensível as variações do clima, mostrando uma dependência explícita direta com a variabilidade anual, principalmente no que se refere a variabilidade pluviométrica.

O Nordeste Brasileiro (NEB) localiza-se na Zona Intertropical e é, basicamente, caracterizado por um clima semi-árido, onde existe uma grande variação na distribuição da precipitação tanto em escala espacial quanto temporal. Para o NEB, os períodos longos de secas como também os prolongados de chuvas intensas trazem sérios problemas para a região, principalmente para a situada na Costa Leste. A climatologia do NEB é bastante complexa, sofrendo influência de alguns sistemas meteorológicos, tais como Zona de Convergência intertropical (ZCIT), Ondas de Leste (OL) ou Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA), Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), Linhas de Instabilidade (LI), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Frentes Frias (FF) ou Sistemas Frontais (SF).

A Costa Leste do Nordeste (ENE), que abrange os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, é caracterizada por um clima tropical quente úmido, que se estende aproximadamente 200 Km adentro da Costa, com médias anuais de temperatura em torno de 27°C e precipitação média de 1290 mm. Possui um grande potencial agrícola, porém não muito explorado. Nessa região, os índices pluviométricos anuais são elevados, algumas vezes superiores a 2000 mm, porém sofre grande variação na sua distribuição espacial e temporal. Nela, uma faixa de terra que se estende até 300 km para o interior do continente em alguns casos, abriga cerca de 70% da população dos estados que a compõem e é responsável por praticamente toda a economia desses estados. As variações em seu regime pluviométrico se devem à fase negativa do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que favorece reduções drásticas na precipitação por longos períodos. Com a redução dos recursos hídricos disponíveis numa região, surgem as deficiências no abastecimento d'água, sendo necessário tomar medidas de racionamento dos recursos d'água disponíveis.

Essa região sofre influência tanto dos sistemas meteorológicos de escala global, citados anteriormente, que afetam o Nordeste como um todo, como de micro escalas, que é o caso do efeito de brisas marinha e terrestre, característico de regiões litorâneas. O regime pluviométrico sofre grande variação interanual em anos atípicos de El Niño (seco) e de La Niña (chuvoso).

O objetivo desse trabalho é estudar a climatologia e variabilidade espaço-temporal do conjunto de dados do Nacional Centers for Environmental Prediction (NCEP), por meio de análise harmônica e análise de componentes principais (ACP), considerando-se as seguintes metas:

- Verificar a concordância dos dados de reanálise com os dados de observações de sete estações de aeroportos;
- Estabelecer relações entre:
 - ✓ Os campos das variáveis: radiação de ondas longas emitidas para o espaço (OLR), precipitação e água precipitável com os dados das sete estações,

- ✓ As temperaturas da superfície do mar (TSM) do Pacífico (Niño 3 e Niño 3.4) com as chuvas no Nordeste do Brasil,
- ✓ Estabelecer relações entre o Índice do Dipolo do Atlântico (TDI) e as chuvas no NEB;
- ✓ Índice de Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e as chuvas do NEB.

1. CLIMATOLOGIA DO NORDESTE BRASILEIRO

O Nordeste possui um clima tropical quente-úmido. À medida que se adentra no continente, observa-se uma sensível variação no clima, que vai do quente-úmido ao quente-seco. Verifica-se, também, uma grande variação espacial na distribuição de precipitação, que é um dos elementos climáticos mais importantes a serem analisados, uma vez que, nos Trópicos, caracteriza e influencia o comportamento dos outros elementos, tais como temperatura, umidade relativa, ventos e a partição da energia disponível. Apesar da simplicidade de sua medida, é uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de serem observadas, uma vez que apresenta erros inerentes ao sistema de medição, que podem ser devido à exposição e mesmo a localização dos instrumentos (MOLION & DALLAROSA, 1990).

A precipitação pluvial relaciona-se com a convecção local. Esta, por sua vez, é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultante da ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície da Terra, seja em consequência do aquecimento do ar em contato com essa superfície, seja pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como os sistemas frontais ou frentes frias, e perturbações ondulatórias no campo dos ventos. A convecção é essencialmente controlada, ou seja, intensificada ou inibida, pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global resultante da interação complexa com a superfície do planeta, particularmente relacionada à distribuição de continentes e oceanos, topografia e cobertura vegetal, e o fornecimento desigual de energia solar (MOLION & BERNARDO, 2000).

Sobre a região Nordeste do Brasil, consegue-se distinguir, de acordo com STRANG (1972), três regimes pluviométricos distintos, a saber: *do norte*, com picos dos índices de pluviosidade entre os meses de fevereiro a abril; *do sul*, com máximos entre novembro e janeiro e o da *Costa Leste do Nordeste*, com precipitação mais intensa entre os meses de maio a julho.

O setor Leste do Nordeste, que envolve a parte leste dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia e o centro-leste de Sergipe e Alagoas, é uma região atípica quando tem seus índices pluviométricos comparados aos que são observados nas áreas mais interiores do NEB. O quadrimestre que compreende os meses de abril a julho explica cerca de 60% da precipitação anual nessa região. Contudo, durante esses meses, a faixa litorânea apresenta os maiores índices pluviométricos, com valores excedendo 700 mm no setor centro-norte e 900 a 1000 mm no setor centro-sul. Conforme RAO et al. (1993) os totais pluviométricos aumentam do interior para a costa litorânea do leste do NEB.

A variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o Nordeste Brasileiro, tanto em escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações das circulações atmosférica e oceânica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico. O impacto causado pelo fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo, de forma expressiva, nas atividades humanas da região.

1.1. Mecanismos que Produzem Chuvas

A precipitação é produzida devido à presença de vapor d'água na atmosfera. O vapor d'água é transportado para troposfera mais elevada por meio de movimentos convectivos (ascendentes – convergência em baixos níveis), produzido por uma baixa pressão em superfície, devido a um gradiente de temperatura, ou por forças mecânicas, tais como a orografia (montanhas e planaltos) local e sistemas frontais. Tanto a orografia quanto os sistemas frontais funcionam como uma alavanca ou cunha, os quais forçam a subida da massa ou parcela de ar. Ao se elevar, essa parcela encontra

menores pressões fazendo com que ela se expanda rapidamente (adiabaticamente), ao se expandir ocorre uma redução em sua temperatura. Se esse resfriamento continuar, até que a parcela atinja a temperatura de ponto de orvalho, ocorre a condensação. Devido a esses processos naturais, o vapor contido em uma massa de ar pode se condensar formando gotículas d'água e, conseqüentemente, nuvens. Na presença de partículas higroscópicas, as gotículas unem-se a essas aumentando seu volume. Ao atingir um determinado volume, no qual a fluabilidade das gotas resultantes é reduzida, essas gotas se desprendem da nuvem originária devido à atração gravitacional, dando origem à precipitação pluvial.

Os mecanismos dinâmicos que produzam chuvas no Nordeste do Brasil podem ser classificados em grande, meso e micro escalas. Dentre os mecanismos de grande escala destacam-se os sistemas frontais, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), fenômeno La Niña e El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Padrão do Dipolo do Atlântico (DA). As perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios, complexos convectivos e brisas marinhas e terrestres definem mecanismos de meso escalas, enquanto as circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem fenômenos de micro escalas.

1.1.1. Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é originada pela confluência dos ventos alísios de Nordeste, oriundos do sistema de alta pressão ou anticiclone subtropical do Hemisfério Norte, e dos ventos alísios de Sudeste oriundos da alta subtropical do Hemisfério Sul, que geram movimentos ascendentes de massas de ar quentes e úmidas provenientes dos oceanos tropicais Norte e Sul, resultando em uma região caracterizada por uma banda de nebulosidade de origem convectiva e chuvas no sentido leste-oeste aproximadamente. Sobre o Atlântico, a ZCIT migra de sua posição mais ao norte, cerca de $14^{\circ}N$ em agosto-setembro, para sua posição mais ao sul, aproximadamente $4^{\circ}S$, durante os meses de março-abril que está incluso dentro do período mais chuvoso para o norte do Nordeste, compreendido entre os meses de fevereiro a maio (HASTENRATH, 1985).

A ZCIT também propicia um maior fornecimento de umidade para toda Costa Leste do Nordeste, transportada pelos ventos alísios de nordeste que atingem basicamente os estados entre o Rio Grande de Norte e o litoral de Alagoas e Sergipe. Ao chegar à Costa, essa convergência de umidade produz precipitações. Quando a ZCIT se encontra mais ao norte de sua posição média, o que ocorre durante os meses de agosto a setembro, a região norte do Nordeste atinge seu período mais seco (agosto-novembro).

A posição e a intensidade da ZCIT no Atlântico Sul estão intimamente ligadas à estação chuvosa da região semi-árida do Nordeste. UVO et al. (1988), ao avaliarem as correlações entre a posição da ZCIT e a precipitação para o Nordeste, verificaram que a posição da ZCIT não é por si só um bom previsor das anomalias de precipitação para o Nordeste. Segundo MOLION & BERNARDO (2000), o posicionamento mais ao sul da ZCIT é muito importante para o período chuvoso do setor norte do Nordeste, onde o posicionamento médio define o equador meteorológico 5° N, durante o inverno do Hemisfério Sul.

A ZCIT pode ser monitorada através de satélites, tanto no canal visível como no infravermelho, e, durante o ciclo sazonal, pode ser caracterizada pela radiação de ondas longas emitida para o espaço, o que sugere que a OLR seja uma forte candidata para o estudo do posicionamento da ZCIT.

1.1.2. Sistemas Frontais

Um mecanismo importante na produção de chuvas para o Nordeste do Brasil, em especial os setores sul e leste, é a penetração de sistemas frontais ou seus restos, entre as latitudes 5° S e 18° S. A penetração até latitudes equatoriais ocorre mais frequentemente no inverno do Hemisfério Sul, pois o posicionamento médio da ZCIT, o equador meteorológico, é em torno de 10° N nessa época (HASTENRATH, 1985).

Na chegada de uma frente fria, geralmente pode-se verificar uma redução na pressão local e, conseqüentemente, rajadas de ventos fortes, que se devem a essa redução na pressão e ao contraste térmico entre a massa local quente e úmida e a massa fria e seca. Ao se deslocar, a massa fria e pesada, mantém-se próxima ao solo,

elevando a massa tropical quente e seca, promovendo movimentos ascendentes e, conseqüentemente, instabilidade, ocasionando, em muitos casos, grandes tempestades.

Na Costa Leste do Nordeste, as frentes frias e seus restos são responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos anuais. KOUSKY (1979), ao estudar a influência de sistemas frontais sobre o NEB, verificou que a variabilidade de precipitação anual nas regiões junto à Costa é pequena e muito grande para as regiões semi-áridas. SOUSA & COSTA (1994) analisaram a atuação de um sistema frontal que provocou precipitações acima da normal climatológica em outubro de 1993 no estado de Sergipe, setor leste do NEB. Eles verificaram que, no período de permanência do sistema frontal, os ventos predominantes estiveram de leste/sudeste, favorecendo o transporte de umidade para o continente. A temperatura máxima oscilou entre 24-26°C, enquanto a mínima variou entre de 19-21°C, que são valores abaixo da média para essa região. Verificou-se, também, a atuação de aglomerados convectivos nos setores sudeste e noroeste do Estado. Por meio do traçado de isolinhas, foi possível observar precipitações mais intensas ao longo da faixa litorânea. A umidade relativa, nesse período, foi da ordem de 100%, demonstrando uma atmosfera bastante instável.

OLIVEIRA (1986), através de uma climatologia feita utilizando imagens de satélites geoestacionários no período de 1979 a 1984, verificou que os sistemas frontais freqüentemente se associam e interagem com a convecção tropical. Para haver uma forte interação entre os sistemas frontais e a convecção tropical, parece ser necessário que os sistemas frontais apresentem ampla penetração continental, sendo a região entre 15°S e 25°S uma das regiões preferências para a ocorrência. No período de primavera-verão do Hemisfério Sul os sistemas frontais se posicionaram preferencialmente sobre a parte central do continente sul americano com seu eixo no sentido noroeste-sudeste, de inclinação variável, criando uma zona de convergência de umidade que, posteriormente, foi denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

1.1.3. Perturbações Ondulatórias nos Alísios (Linhas de Instabilidade)

Um fenômeno caracterizado por distúrbios nos ventos de leste tem sido observado em muitas regiões dos Trópicos. Esses distúrbios foram chamados de ondas

de leste e manifestam-se no Pacífico leste e oeste, no Atlântico Norte e nas proximidades da faixa tropical africana (SPINOZA, 1996). Muitos trabalhos têm sido feitos com a finalidade de se analisar a dinâmica e estrutura desses distúrbios, sendo a pesquisa desenvolvida por RIEHL (1945) um dos precursores, onde ele procurou avaliar as características das ondas de leste e as condições climáticas associadas a elas.

Utilizando imagens de satélite, pode-se observar para o ENE a formação de linhas de instabilidades, quando restos de frentes frias atingem os campos dos alísios (durante o outono), que se propagam para o continente, com padrões ondulatórios bem definidos. Ao atingir à costa, a convergência do trem de ondas pode produzir grandes totais pluviométricos, mas se no momento da convergência a brisa estiver em fase com os alísios, o que ocorre durante o dia quando a brisa marítima e os ventos alísios se somam produzindo um aumento no vento resultante, pode-se verificar totais pluviométricos superiores a 50 mm.dia^{-1} .

YAMAZAKI & RAO (1977) estudou a dinâmica destas perturbações na região tropical do Atlântico Sul e na costa brasileira, observando, na faixa compreendida entre 5°S e 10°S , linhas de nuvens bem definidas propagando-se de leste para oeste desde os 10°E até aproximadamente 40°W , cujos distúrbios associados apresentaram períodos de 4 dias, velocidade média de propagação de 10 m.s^{-1} e comprimento de onda de aproximadamente 4000 km . Com os resultados obtidos, eles concluíram que a elevada pluviosidade nos meses de inverno ao longo da costa brasileira estaria associada aos distúrbios de leste.

FERREIRA et al. (1990) estudaram no período de um ano (dez de 1978 a nov de 1979) na região compreendida entre $22,5^{\circ}\text{N}$ a $22,5^{\circ}\text{S}$ e 0° a 85°W os distúrbios ondulatórios de leste e verificaram a presença das ondas de leste em praticamente todo período estudado, sendo que a maior frequência desses distúrbios, sobre o Atlântico Equatorial, foi observada no trimestre compreendido entre os meses de março a maio (MAM) com 17 eventos, enquanto a menor foi verificada entre dezembro a fevereiro (DJF) que totalizou 14 eventos. Nos trimestres MAM e JJA (junho/agosto), as ondas apresentaram maiores amplitudes. Entretanto, nos meses JJA, as ondas manifestaram-se mais longas e rápidas, enquanto em MAM foram mais curtas e lentas. O período de onda estimado por eles foi de aproximadamente 5 a 6 dias, com velocidade de fase das ondas variando entre $10\text{--}13 \text{ m.s}^{-1}$.

Ao avaliar os distúrbios no Oceano Atlântico que atingem o NEB, GANDÚ (1996) verificou que as ondas de leste, provavelmente originadas das flutuações no escoamento zonal de leste, estão relacionadas às elevadas taxas de precipitação numa estreita região definida pela faixa litorânea leste e norte do Nordeste brasileiro, uma vez que esses distúrbios favorecem o surgimento de uma intensa nebulosidade. SILVESTRE (1996), apud SPINOZA (1996), verificou a existência desses distúrbios ondulatórios durante todo o ano, mas diferindo em seus comprimentos de onda. Observou, também, que nas estações de verão (DJF), outono (MAM) e inverno (JJA) eles se deslocam atingindo a costa norte do Nordeste do Brasil. No verão o comprimento de onda variou entre 6000 *km* a 7000 *km* e a velocidade de fase foi de 10 *m.s⁻¹* a 14 *m.s⁻¹*. No outono e inverno, a velocidade de fase oscilou entre 10–13 *m.s⁻¹* e o comprimento de onda foi de 5000 *km* a 6000 *km* e de 3500 *km* a 4000 *km*, respectivamente. Dessa forma, esse autor relaciona aos períodos de máximas precipitações com a ocorrência distúrbios que se deslocam de leste para oeste.

1.1.4. Brisas (Marinha/Terrestre)

O vento, que é resultante de variações de gradientes horizontais de pressão (temperatura) atmosférica produzidos em várias escalas espaciais, é uma das variáveis meteorológicas mais relevantes, pois é responsável pelo transporte horizontal (advecção) de calor latente e sensível. Além disso, sua convergência em baixos níveis, produz movimentos ascendentes e chuva sobre uma região. A Costa Leste do Nordeste está imersa no campo dos ventos Alísios, os quais são produzidos por configurações da circulação geral da atmosfera (ramo superficial da célula Hadley-Walker) e são intensificados ou enfraquecidos por circulações locais de mesoescala, como brisas do mar e da terra (MOLION & BERNARDO, 2002)

Durante as primeiras horas da manhã, o continente se aquece mais rapidamente que o oceano adjacente. Um gradiente térmico é estabelecido, com temperaturas mais elevadas sobre o continente. Esse gradiente gera uma circulação rasa, com o ar subindo sobre o continente, criando uma região de pressão mais baixa e forçando a entrada do ar marinho, com temperaturas menores. O movimento de ar ascendente sobre o continente provoca a formação de nuvens que podem precipitar se seus topos atingirem uma altura adequada, usualmente 3 a 4 *km* de altitude. Já durante o entardecer, o

continente se resfria mais rapidamente que o oceano devido à perda radiativa de ondas longas, e o gradiente térmico reverte-se, com temperaturas mais elevadas sobre o oceano. Dessa forma, origina-se uma circulação da terra para o mar, com movimentos ascendentes, formação de nuvens e chuva sobre o oceano, próximo da orla marítima. As brisas, por si só, são mecanismos que produzem chuvas leves e de curta duração. Elas estão sempre presentes em todo litoral nordestino, as quais influenciam na distribuição da precipitação, contribuindo para um acréscimo no total anual de precipitação em toda Costa Leste do Nordeste.

ALVES (1988) observou que, em anos com redução de chuvas no setor norte da Região Nordeste, normalmente observa-se, para o mês de abril, um aumento dos ventos Alísios de Nordeste com relação a sua média, comparado com os Alísios de Nordeste, para o campo de 850 *mb*. LIMA (1991) verificou que as características da circulação atmosférica no Atlântico Sul no período de inverno (junho-agosto), são tais que o Anticiclone Subtropical e os Alísios de sudeste são mais intensos e sopram perpendicular à costa Leste do Nordeste (CLNE), favorecendo um maior transporte de umidade para o continente. Verificou, também, que a circulação sobre o Atlântico Sul é dominada, durante todo o ano, pelo Anticlone da América do Sul, e que os ventos, associados a esse sistema, são de natureza divergente tendo direções de sudeste e nordeste na CLNE. Ao analisar a variação sazonal de precipitação nessa região, observou que o vento de sudeste, mais intenso, soprando perpendicularmente à costa favorece a precipitação da estação chuvosa, enquanto o aumento da intensidade do vento de sul reduz a precipitação nessa região.

1.2. Variabilidade Interanual

Alguns fenômenos de acoplamento oceano e atmosfera, tais como El Niño e La Niña, os quais são caracterizados por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical, bem como o Dipolo do Atlântico, temperaturas anômalas no Oceano Atlântico Tropical, influenciam o regime pluviométrico de diversas regiões do globo. A variabilidade pluviométrica no Nordeste do Brasil está associada às configurações da circulação atmosférica e oceânica, de características anômalas, externas à região. Alguns pesquisadores chegaram à conclusão de que a TSM do Atlântico e Pacífico influenciam nos totais pluviométricos

anuais da região Norte e Nordeste do Brasil (LIMA, 1991; XAVIER & XAVIER, 1998; MOURA et al., 1999a e 1999b)

SANSIGOLO (1990), utilizando análises das Componentes Principais obtidas pelo método das funções ortogonais empíricas, mostrou que boas estimativas de precipitação sazonal na região Norte-Nordeste podem ser feitas em março, a partir das anomalias de grande escala nas temperaturas da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico. Afirma ainda, que as anomalias das TSM refletem os estados atmosféricos prévios e simultâneos e possuem algumas vantagens sobre os agentes preditores atmosféricos, pois elas são menos sujeitas a ruídos.

Para ARAGÃO (1998), os dois oceanos, Atlântico e Pacífico, influenciam na variabilidade da precipitação do Nordeste, com a manifestação dos fenômenos Padrão do Dipolo e o El Niño Oscilação Sul (ENOS), que ocorrem no primeiro e segundo oceano, respectivamente. XAVIER et al. (1998), ao estudar a climatologia da precipitação no Nordeste semi-árido e no Ceará, concluíram que a maior influência sobre as chuvas no NEB, e em particular no Ceará, deve-se à influência do Oceano Atlântico e não a do Pacífico. El Niño fortes podem assumir um papel modulador importante sobre o Atlântico, mediante o mecanismo de teleconexão, o qual envolve a interação oceano-atmosfera.

1.2.1. El Niño-Oscilação Sul

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de escala global, caracterizado pelo acoplamento oceano-atmosfera, que se manifesta no Oceano Pacífico Tropical. É formado por duas componentes: oceânica e atmosférica. A componente oceânica, definida como El Niño (La Niña), consiste no aquecimento (resfriamento) anômalo das águas do Pacífico. Enquanto a componente atmosférica, que é a Oscilação Sul (OS), corresponde a flutuações de pressões invertidas entre o Pacífico Leste e Oeste.

A OS funciona como um balanço de massa atmosférica de grande escala, envolvendo trocas de ar entre os hemisférios leste e oeste, entre as latitudes equatoriais e subtropicais. Esses fenômenos afetam a circulação geral da atmosfera, provocam variações na temperatura do ar e, principalmente, na precipitação pluviométrica em

diversas regiões do globo. Muitos pesquisadores têm estudado as influências das flutuações anômalas nos campos de pressão e de temperatura do Pacífico no clima de diversas localidades. BJERKNES (1966) foi um dos precursores nesses estudos. Ao analisar a relação entre as anomalias das temperaturas das águas do Pacífico com a circulação atmosférica, relacionou a ocorrência das secas no Nordeste com o fenômeno ENOS. Esse mesmo aspecto também foi verificado por NOBRE & MOLION (1987). Eles sugeriram que, na fase negativa da Oscilação Sul (El Niño), o ramo ascendente da circulação de Hadley-Walker, usualmente sobre a Amazônia, seria deslocado para as águas anormalmente quentes do Pacífico Leste e Central, produzindo centros ciclônicos nos altos níveis sobre o Norte e Nordeste da América do Sul e uma forte subsidência sobre essas regiões e sobre o Atlântico Tropical, que manteria a ZCIT mais ao norte de sua posição normal e enfraqueceria a convecção sobre o Nordeste do Brasil, resultando na redução das chuvas o NEB. Esse movimento descendente anômalo da circulação de Walker, relacionado ao evento El Niño, foi ratificado por ARAGÃO (1998) e KOUSKY & ROPELEWSKI (1989).

Os fortes El Niños intensificam as secas nordestinas, com maior influência entre os meses de fevereiro a maio, estação chuvosa do setor Norte do NEB, mas não há uma nítida correlação entre o ENOS e o regime de chuvas no litoral Leste do Nordeste do Brasil, durante sua estação chuvosa – abril a julho (LIMA, 1991; KANE, 1993). UVO et al. (1994) verificaram que anos muitos secos ocorreram em associação com valores anormalmente altos da TSM no Pacífico Equatorial e no Atlântico Norte e com valores baixos de temperatura da superfície do mar no Atlântico Sul, seguindo um padrão inverso para anos muito chuvosos.

ALVES et al. (1997a) procuraram investigar a variabilidade interanual da precipitação durante o período chuvoso da região leste do NEB em anos de El Niño, utilizando-se totais mensais de precipitação em 39 postos pluviométricos distribuídos espacialmente ao longo dessa região. Eles verificaram que, em anos com ocorrência de El Niño, em sua fase madura, a área mais afetada com diminuição de precipitação situa-se no litoral de Pernambuco, enquanto áreas com desvios positivos foram observadas entre o litoral noroeste de Sergipe e o litoral de Alagoas. Já, em anos com a presença do evento El Niño, em sua fase de dissipação, houve uma predominância de desvios negativos em toda região de estudo. Esses autores sugeriram que essa variabilidade espacial intra-regional observada em anos de El Niño, tanto em sua fase

de maturação como na fase de dissipação, está relacionada à atuação de sistemas atmosféricos de escala local (efeito de brisas), que se intensificam devido a um aumento na convergência de umidade do Oceano Atlântico sobre o continente, o qual é uma consequência da intensificação dos Alísios de sudeste. Associado a esses fatores, ainda existe a formação de complexos convectivos de mesoescala próximo a costa que se propagam para o interior do continente.

O fenômeno La Niña foi analisado por ALVES et al. (1997b) na região norte do Nordeste no período de 1950 a 1989. Encontraram uma periodicidade desse evento de 3 a 4 anos. Também foi possível identificar a presença de um dipolo de Temperatura da superfície do mar (TSM) com anomalias positivas (negativas) no setor sul (norte) da Bacia do Atlântico Tropical. Em anos de La Niñas fortes e moderados, esse dipolo é bem mais intenso, o que não se observa em anos de La Niña fraco. Em três condições de La Niña, houve a predominância de anomalias positivas de pressão ao nível médio do mar na bacia do Atlântico Tropical Norte, que favoreceu a intensificação dos Alísios de nordeste, os quais, por sua vez, impulsionaram a ZCIT para posições latitudinais junto à costa norte do NEB, favorecendo a intensificação das chuvas nessa região. Dessa forma, pode-se concluir que, em anos de La Niña, no período chuvoso (fevereiro a maio) do setor norte do Nordeste, as chuvas apresentaram-se em torno ou acima da média climatológica.

Para COELHO & AMBRIZZI (2000), uma grande parte do NEB é sensível às anomalias positivas (El Niño) da TSM do Pacífico Equatorial, durante o período de dezembro a maio, apresentando anomalias negativas de precipitação. Em período de La Niña, durante os meses de dezembro a maio, algumas regiões da faixa litorânea do Nordeste do Brasil, tais como o sul da Bahia, extremo oeste do Ceará, Piauí e todo Maranhão, são marcadas por anomalias positivas de precipitação enquanto o semi-árido nordestino e litoral de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, apresentaram anomalias negativas de precipitação.

1.2.2. Dipolo do Atlântico

Um outro fenômeno de interação oceano-atmosfera de grande escala, dominante sobre a bacia do Atlântico Tropical, que causa variabilidade na precipitação

do NEB, é o dipolo do Atlântico (DA). É caracterizado pela manifestação de um padrão de anomalias de TSM, configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre a bacia Norte e Sul do Atlântico. Na fase positiva do Dipolo, observam-se anomalias positivas (negativas) de TSM nas bacias Norte (Sul), ocorrendo o inverso na fase negativa. Esse padrão inverso de anomalias de TSM gera um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico nos baixos níveis da troposfera sobre o Atlântico Equatorial (WAGNER, 1996) que, por sua vez, influencia o deslocamento da ZCIT (NOBRE, 1993; ALVES & REPELLI, 1994; NOBRE & SHUKLA, 1996), o principal fator produtor de chuvas no norte do NEB (HASTENRATH, 1990).

A variabilidade no regime de precipitação do Nordeste do Brasil é influenciada pelos movimentos ascendentes do ar, devido às variações das temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sul, que induzem a convergência nos baixos níveis, produzindo um enfraquecimento na Alta Subtropical do Atlântico Sul e resultando em um deslocamento da Zona de Convergência Intertropical para o sul, o que favorece um aumento na precipitação na Amazônia e na Região Nordeste (KAYANO, 1988). Os movimentos subsidentes, produzidos pela célula de Hadler-Walker, inibem a formação de nuvens sobre as regiões próximas do Oceano Atlântico já que esses movimentos recaem sobre uma área compreendida desde o leste da Amazônia até à Costa da África (KOUSKY & MOLION, 1985).

LIMA (1991), ao estudar as anomalias de TSM no Atlântico Tropical e Pacífico, observou que as variações da precipitação na Costa Leste do Nordeste, presumivelmente, estão conectadas com as variações interanuais na posição e intensidade dos sistemas de grande escala que atuam no Atlântico Sul (ZCIT, Alta Subtropical e ventos Alisios). E as variações interanuais desses sistemas de grande escala estão associadas às variações interanuais do campo de TSM. Ao realizar as análises das correlações defasadas entre as anomalias de TSM e precipitação, para períodos sazonais de dois, três e quatro meses, mostrou que o padrão é do tipo dipolo e se estabelece antes da estação chuvosa, com magnitudes maiores durante a estação chuvosa dessa região.

SOUZA et al. (1998) observaram que a ocorrência da fase positiva do DA está associada à precipitação abaixo do normal sobre os estados que compõem os setores Norte e Leste do NEB, com exceção da Zona da Mata de Sergipe, Alagoas e Bahia, enquanto que a fase negativa do DA associa-se a chuvas acima do normal em todos os

setores Norte e Leste do NEB. Calculando os desvios percentuais da precipitação, eles observaram, durante a estação chuvosa dos anos posteriores a formação dos episódios de El Niño, desvios negativos de precipitação de até 25% e, nos anos de La Niña, associaram-se desvios positivos de até 15% no semiárido nordestino. Com relação ao dipolo do Atlântico, eles observaram que a predominância da fase positiva se associa a desvios negativos de precipitação, entre 10 e 40%, enquanto anos de Dipolo negativo relacionam-se com desvios positivos entre 10 e 50%. Considerando-se a magnitude dos percentuais encontrados, pareceu que a influência do Atlântico (fases do Dipolo) na estação chuvosa do semiárido nordestino é relativamente maior quando comparada com a atuação do Pacífico (El Niño e La Niña).

1.2.3. Efeitos de Aerossóis Vulcânicos

Os gases sulfurosos que emanam dos vulcões em atividade podem se converter em ácido sulfúrico na estratosfera. Devido à presença de vapor d'água nessa região, a produção de pequenas gotículas de H_2SO_4 (aerossóis) é aumentada que, por sua vez, elevam a refletividade (albedo planetário) dos raios solares de volta para o espaço exterior e, conseqüentemente, reduzem a entrada de energia solar no sistema Terra-atmosfera, causando uma redução da radiação solar que chega até a superfície terrestre. Com menos energia disponível, toda a troposfera tropical e a superfície terrestre ficam mais frias e a evaporação das águas dos oceanos, a formação de nuvens e chuva é sensivelmente reduzida.

Além dos gases sulfurosos, presentes nos aerossóis vulcânicos, pode-se encontrar altas taxa de concentrações de cloro, flúor e silício que podem ser nocivos às vidas animal e vegetal nas áreas afetadas por esses. A vulnerabilidade das regiões afetadas por esse tipo de fenômeno natural é grande, pois ele causa danos à saúde das pessoas, animais e vegetais e patrimônios (monumentos e edificações – chuva ácida), que chegam a ser incalculáveis. Estima-se que o vulcão Monte Pinatubo, durante sua erupção em 15 de junho de 1991, a maior erupção registrada desde o advento dos satélites, tenha lançado cerca de 30.106 toneladas de gases de dióxido de enxofre na atmosfera.

A presença de aerossóis vulcânicos em baixas latitudes coincide com secas na Amazônia e no Nordeste e excesso de chuvas nas regiões sul e sudeste do território brasileiro. MOLION (1994) argumentou que os aerossóis vulcânicos são a causa dessas anomalias climáticas, pois provocam uma elevação da pressão sobre a Amazônia e Nordeste, devido ao resfriamento do ar próximo à superfície e de toda a baixa troposfera, particularmente na região do Altiplano Boliviano. A ZCAS fica bloqueada ao sul dessa anomalia de pressão e se torna mais intensa, por ser alimentada continuamente pela convergência de umidade proveniente do Atlântico Sul. As regiões sob a ZCAS (centro e sudeste) apresentam excesso de precipitação enquanto o movimento subsidente é intensificado sobre a Amazônia e Nordeste e sobre o sul do País e norte da Argentina. Esse mesmo autor sugeriu que a grande erupção do Monte Pinatubo, nas Filipinas em junho de 1991, fez com que o ano de 1993 se tornasse um exemplo dessas anomalias climáticas

Existe, também, uma estranha coincidência entre o surgimento do fenômeno El Niño e as erupções vulcânicas, notadas por vários pesquisadores. Por exemplo, MOLION (1994) sugere que os aerossóis vulcânicos presentes nas baixas latitudes sejam uma das causas da gênese do fenômeno El Niño. Ele argumenta que as pressões atmosféricas ficam mais altas sobre os continentes tropicais, diminuindo o gradiente de pressão no sentido leste-oeste, reduzindo a intensidade da Circulação de Walker e enfraquecendo o campo dos ventos Alísios sobre o Pacífico. Com ventos mais fracos, a ressurgência na Costa Oeste da América do Sul diminui e as águas do Pacífico equatorial se aquecem bruscamente, dando origem ao El Niño.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dados

Os dados mensais de taxa de chuva, OLR e água precipitável, utilizados na elaboração deste trabalho, foram obtidos do NCEP para a janela espacial de 20°N a 20°S e de 80°W a 20°E, no período de 1980 a 1999. Além desses, foram utilizados dados horários de precipitação de aeroportos, obtidos do Serviço de Proteção ao Voo (SPV) no período de 1992 a 1997. As localizações dos aeroportos estão listadas na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1 - Identificação e localização das sete estações do SPV, distribuídas sobre a Costa Leste do Nordeste.

N.º Sinótico	Cidade	UF	Lat.(S)	Lon.(W)
82599	Natal	RN	05°54'30"	35°14'57"
82899	Recife	PB	08°07'35"	34°55'22"
82993	Maceió	AL	09°31'02"	35°47'01"
83095	Aracaju	SE	10°59'00"	37°04'00"
83248	Salvador	BA	12°54'31"	38°19'21"
83349	Ilhéus	BA	14°48'54"	39°02'00"
83497	Caravelas	BA	17°39'00"	39°15'00"

Também foram utilizados alguns parâmetros de variabilidade climática obtidos do site do CDC - Climate Diagnostics Center, listados na Tabela 2.2.

Tabela 2. 2 – Parâmetros de variabilidade climática.

Parâmetros	Sigla
Índice de Oscilação Pacífico-América do Norte	PNA
Índice de Oscilação Sul	SOI
Índice do Pacífico Oeste	WP
Índice Multivariado de ENOS	MEI
Índice Trans El Niño	TNI
Oscilação Decadal do Pacífico	PDO
Oscilação do Atlântico Norte	NAO
Oscilação do Pacífico Leste	EPO
Oscilação Quasi-Bienal	QBO
TSM do Centro Leste do Pacífico Leste	Niño 3.4
TSM do Extremo Leste do Pacífico	Niño 1+2
TSM do Leste do Pacífico	Niño 3
TSM do Pacífico Tropical Central	Niño 4

2.2. Metodologia

2.2.1. Controle de Qualidade

Com a finalidade de armazenar as informações obtidas através do SPV e da Infraero, de forma consistente e unívoca, das sete estações espalhadas na Costa Leste do Nordeste Brasileiro, foi necessário criar um sistema de armazenamento eletrônico (banco de dados), centralizando todo o volume de dados meteorológicos.

O modelo de banco de dados adotado no presente trabalho é o modelo relacional. Como se sabe, um banco de dados é um conjunto de informações relacionadas a um propósito, mas um banco de dados relacional é uma coleção ordenada de informações, capaz de interligar (relacionar) tabelas através de seus campos-chaves. Utilizando-o, pode-se gerenciar todas suas informações a partir de um único arquivo de banco de dados. Para se armazenar os dados desejados, foram criadas tabelas para cada tipo de informação que se desejasse registrar. Nele, várias tabelas podem ser relacionadas ou inter-relacionadas por meio de um item comum a duas ou

mais tabelas. Com ele, surgiu uma poderosa linguagem de consulta padronizada chamada de Structured Query Language (SQL)

O Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), utilizado neste trabalho, foi o Microsoft Access, desenvolvido para o sistema operacional Microsoft Windows. Com esse SGBD foi possível armazenar e recuperar informações de forma mais eficiente, tornando-as mais organizadas e integrada. No Access, existe uma linguagem de Programação embutida que é o Visual Basic for Applications (VBA), que foi projetado para controlar e estender o Access.

Durante esse trabalho, elaboraram-se algumas consultas SQL, scripts e programas, bem como algumas estruturas de arquivos (tabelas) utilizados, que se encontram nos apêndices de B a D que, por sua vez estão devidamente documentados. Para a elaboração desses, utilizou-se softwares Microsoft® Access e Excel 97, Microsoft® Visual Basic 6.0, Fortran GNU (G77 v.2), Mathematica 3.0, GraDS 1.7.

Quando se pretende criar uma base de dados climatológicos, um dos maiores problemas encontrado é o controle da homogeneidade das séries armazenadas. Quando se estuda as variações climáticas, a confiabilidade dos dados se faz necessária, e necessita-se de um controle de qualidade dos dados envolvidos para não incorrerem conclusões errôneas. A confiabilidade e a segurança na homogeneidade das séries estudadas conduz a um estudo mais seguro e menos propenso a erros.

Um fator a ser analisado, ao descrever a climatologia de uma região, é a história de suas estações meteorológicas, pois, em muitos casos, as mudanças ou erros observados nas séries são devidos à mudança na localização de algumas estações e/ou às mudanças no processo de medidas (instrumentos) ou metodologia utilizada na aquisição dos dados. Em outros casos, os erros ocorrem durante o registro da informação na leitura ou transcrição, seja na forma mecânica ou digital de armazenamento de dados.

2.2.2. Tratamento dos dados do SPV

A partir dessa base de dados, de onde se retiraram médias e alguns padrões de variações de precipitação para a Costa Leste do NEB, foi possível correlacionar os dados mensais dessa variável das sete estações de aeroportos com os parâmetros ou

índices meteorológicos globais, tais como EPO, SOI, NAO e outros citados anteriormente (Tabela 2.2). Os resultados das correlações simultâneas e atrasadas (estações à frente) podem ser visualizadas no Apêndice E (I-IV). Realizou-se, também, a análise de componentes principais para os dados de precipitação mensais, correlacionando-os, posteriormente, com índices meteorológicos

2.2.3. Tratamento dos dados do NCEP

Com os dados de água precipitável (AP), perda de radiação de ondas longas para o espaço (OLR) e taxa de chuva (TC), obtidos do NCEP, foi realizada uma caracterização da climatologia dessas variáveis para região situada entre $20^{\circ}S$ - $20^{\circ}N$ e $80^{\circ}W$ - $20^{\circ}E$, utilizando o método da análise harmônica (AH) e análise das componentes principais (ACP), para o período de 1980 a 1999 (todo período de estudo), anos de El Niño (1982, 1983, 1986, 1987, 1997, 1998) e anos de La Niña (1984, 1985, 1988, 1989, 1999). Procurou-se obter padrões de variabilidade temporal plotando-se os campos das médias das amplitudes de variação e fase dos primeiros harmônicos, correlações das análises espaciais, aqui referidos como “loadings” e suas respectivas componentes principais (CP). Utilizando-se os parâmetros meteorológicos citados na Tabela 2.2, estabeleceram-se as possíveis relações existentes entre esses parâmetros e as componentes principais da água precipitável, OLR e precipitação, nas três diferentes classes definidas

Desenvolveu-se um script no Grid Analysis and Display System (GrADS) (DOTY, 1992) para ler e converter os dados de taxa de chuva ($Kg.m^{-2}.s^{-1}$) em totais pluviométricos ($mm/mês$). Para a obtenção desses valores em $mm/mês$, forneceram-se as latitudes e longitudes, listadas na coluna GrADS da Tabela 2.3, e multiplicou-se o total de chuva de um dado mês por 86.400 segundos por dia e pelo número de dias do mês.

Tabela 2. 3 - Identificação e localização das sete estações do SPV, distribuídas sobre a Costa Leste do Nordeste.

GrADS			
Cidade	UF	Lat.	Lon.
Natal	RN	-05,908°	-35,249°
Recife	PB	-08,126°	-34,923°
Maceió	AL	-09,517°	-35,784°
Aracaju	SE	-10,983°	-37,067°
Salvador	BA	-12,909°	-38,323°
Ilhéus	BA	-14,815°	-39,033°
Caravelas	BA	-17,650°	-39,250°

Calcularam-se os coeficientes de correlação entre as séries de precipitações mensais das estações de superfície e suas correspondentes, constituídas pelos dados de totais de chuva do conjunto de reanálise, já convertidos em $mm.mês^{-1}$. Ao se normalizarem, tanto os dados de superfície quanto os dados de reanálise, procurou-se verificar se as correlações teriam ganhos. A normalização de cada série foi feita de forma tradicional, subtraindo-se a média mensal de um mês em particular dos totais correspondentes ao *i-ésimo* mês, dividindo-se a diferença pelo desvio-padrão correspondente (Equação 2.9).

Calcularam-se, também, os deslocamentos (afastamento) da localização geográfica de cada estação, tanto zonal quanto meridional, em relação ao ponto de grade dos dados de reanálise mais próximo de cada posto de observação. O objetivo foi de identificar possíveis disparidades entre dados observados e os de reanálise e avaliar se o afastamento entre a estação e o ponto de grade estaria influenciando nos coeficientes de correlação encontrados. Usaram-se as seguintes equações:

$$\Delta\lambda = \lambda_e - \lambda_p \quad (2.1)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_p \quad (2.2)$$

$$\Delta s = \sqrt{(\Delta\lambda)^2 + (\Delta\varphi)^2} \quad (2.3)$$

onde,

λ_e - latitude da estação de superfície;

λ_p - latitude do ponto de grade da reanálise mais próximo da estação;

φ_e - longitude da estação de superfície;

φ_p - longitude do ponto de grade da reanálise mais próximo da estação;

$\Delta\lambda$ - afastamento meridional;

$\Delta\varphi$ - afastamento zonal;

Δs - afastamento resultante.

Um $\Delta\lambda$ positivo significa que o ponto da estação está a leste do ponto de grade mais próximo e negativo quando está a oeste. Já um $\Delta\varphi$ positivo significa que a localização da estação está ao norte do ponto de grade mais próximo e negativo quando está ao sul do mesmo.

2.3. Algumas Definições Estatísticas Empregadas

Neste tópico, utilizaram-se algumas ferramentas matemáticas e estatísticas que são detalhadas a seguir

2.3.1. Média Amostral

Quando se procura estudar um conjunto de dados de forma descritiva, um fator importante é a determinação da sua variabilidade, em relação ao ponto de referência, o qual é denominado de média amostral, média aritmética ou simplesmente média. Ela representa primeira medida de variação, o ponto central da amostra e, fisicamente, o centro de gravidade. A partir dessa medida, definem-se as demais medidas de dispersão tais como desvio padrão, variância, covariância, correlação linear. Ela é obtida partir da seguinte expressão:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.4)$$

onde n representa o número de elementos do conjunto ou amostra e x_i é o i -ésimo elemento da amostra.

2.3.2. Desvio-Padrão

É a medida do grau de dispersão de um conjunto de dados de n elementos ou de uma amostra em torno de seu valor médio.

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad \therefore \quad \sigma = \sqrt{s_{xx}} \quad (2.5)$$

onde s_{xy} e s_{xx} são a covariância e variância das séries x e y , respectivamente; x_i e y_i representam os i -ésimos elementos das séries x e y ; $\bar{x}$ e $\bar{y}$, as médias aritméticas de todos os valores pertencentes as séries x e y , respectivamente.

2.3.3. Coefficiente de Correlação

Como medida de relação entre duas variáveis ordinárias ou contínuas, geralmente é usado o coeficiente de correlação linear. Para pares de quantidades (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$, o coeficiente de correlação linear r (também conhecido como coeficiente Pearson r) é determinado pela fórmula:

$$r = \frac{s_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (2.6)$$

onde σ_x e σ_y são os desvios padrões das séries x e y , respectivamente e s_{xy} representa a covariância.

O valor de r está compreendido no intervalo entre -1 e 1. Assume o valor de 1, chamado “correlação positiva completa”, quando todos os pontos de dados se encontrarem dispostos sobre uma linha reta perfeita com inclinação positiva, com x e y crescendo juntamente. Se estiverem dispostos sobre uma linha reta com inclinação negativa, ou seja, y decresce com o aumento de x , então r possui o valor -1; isto é

chamado “correlação negativa completa”. Um valor de r próximo a zero indica que as variáveis x e y não estão correlacionadas (PRESS et al., 1992).

2.3.4. Correlação Cruzada

Tem por objetivo estabelecer a relação de uma dada série temporal y que pode ser utilizada na previsão de uma série x . Varia de -1 a 1 e tem interpretação semelhante ao coeficiente de Pearson, servindo como medida de associação entre duas séries temporais. Nessa análise, procura-se realizar algumas inferências a cerca do relacionamento dessas séries e descobrir, por meio de algumas defasagens (“lags”), o “lag” que maximiza o coeficiente entre as séries temporais. O coeficiente de correlação cruzada é dado por:

$$r_{xy}(k) = \frac{s_{xy}(k)}{\sqrt{s_{xx}(0)s_{yy}(0)}} \quad (2.7)$$

$$s_{xy}(k) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}); k = 0, 1, \dots, (N-1) \\ \frac{1}{N} \sum_{t=1-k}^N (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}); k = -1, -2, \dots, -(N-1) \end{cases} \quad (2.8)$$

onde: $s_{xy}(k)$ e $s_{xx}(k)$ são, respectivamente, a covariância cruzada entre x_t e y_t , a variância da amostra das observações em x_t e a variância da amostra das observações em y_t (CHATFIELD, 1984).

2.3.5. Anomalias Normalizadas Pelo Desvio Padrão

É a diferença entre um dado elemento de uma amostra e o valor médio dessa amostra dividido pelo seu desvio padrão. Por exemplo, pretende-se calcular as anomalias normalizadas pelo desvio padrão de uma variável r , de uma estação meteorológica i no ano j e mês k , então se tem a seguinte expressão:

$$X_{ijk} = (r_{ijk} - \bar{r}_{ik}) / \sigma_{ik} \quad (2.9)$$

onde:

i - estação meteorológica,

j - ano;

k - mês,

r_{ijk} - variável r da estação i no ano j e mês k ;

r_{ik} - média da variável r , em todo período, para estação i no mês k ,

X_{ijk} - anomalia normalizada pelo desvio padrão da variável r para estação i no ano j e mês k .

σ_{ik} - Desvio padrão da variável r para estação i do mês k .

2.3.6. Anomalias Normalizadas Pela Média

É a diferença entre um dado elemento de uma amostra e o valor médio dessa amostra, dividido pelo próprio valor médio. Quando multiplicado por cem, informa quanto por cento essa diferença é superior ou inferior à média aritmética (r_{ik}) do mês k .

Um exemplo, para anomalia normalizada pela média pode ser realizado de forma análoga ao item anterior, substituindo o desvio padrão pela média aritmética.

2.3.7. Matriz de Correlação

É uma matriz quadrada, de ordem n , formada pelos coeficientes de correlação entre as séries temporais envolvidas, para seus conjuntos de valores observados. Essa oferece uma visão preliminar das relações entre as variáveis selecionadas, auxiliando na análise dos dados. Cada elemento dessa matriz r_{ij} corresponde ao coeficiente de correlação entre as i -ésima e j -ésima séries temporais, sendo idêntico ao elemento r_{ji} , mostrando ser uma matriz simétrica. Nessa matriz, os elementos da diagonal principal são todos iguais a 1 ($r_{ii} = 1$).

Sabe-se que o coeficiente de correlação, quando positivo sugere que duas variáveis variam na mesma direção, enquanto uma correlação negativa sugere que duas

variáveis variam em direções opostas. Estatisticamente, as variáveis independentes têm um coeficiente de correlação zero e, quando altamente dependentes ou correlacionados, apresentam valores entre ± 1 .

Ela pode ser obtida a partir da matriz de dados X de dimensão $m \times n$, onde as séries temporais estão dispostas em colunas e as linhas representam a ordem cronológica, que deve ser a mesma para todas as séries envolvidas. Para se calcular a matriz de correlação (R), primeiramente, deve-se calcular uma matriz D , de tal forma que o elemento d_{ij} seja calculado pela Equação 2.10, onde $\bar{x}_j$ e σ_j representam a média e o desvio padrão da j -ésima coluna ou série envolvida no cálculo. Depois aplicada a Equação 2.11, obtém-se a matriz de correlação

$$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_j \quad (2.10)$$

$$R = \frac{1}{m} D^T D \quad (2.11)$$

2.3.8. Matriz de Variância-Covariância

Também é uma matriz quadrada S , de ordem n , formada pelos coeficientes de variância de cada série e covariância entre as séries envolvida, onde o elemento da diagonal s_{ii} é a variância da i -ésima série (estação ou variável) e s_{ij} a covariância entre a i -ésima série com a j -ésima série. O cálculo da matriz de variância-covariância é bastante análogo ao cálculo da matriz de correlação, exceto que d_{ij} é obtido de maneira distinta, dado pela Equação 2.12.

$$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) \quad (2.12)$$

2.3.9. Análises por Componentes Principais

As Análises de Componentes Principais (ACP) ou Funções Ortogonais Empíricas (FOE), desenvolvidas por PEARSON (1901), é uma técnica estatística de análise multivariada que busca, através de transformações lineares, descrever a interrelação das variáveis em estudo, explicando estrutura de interdependência dessas e criando, assim, um novo conjunto com o número de variáveis inferior ao conjunto

original. Ela é utilizada no reconhecimento de padrões, onde se utiliza uma matriz de dados e obtém-se um espaço vetorial, definido por vetores ortogonais, cuja dimensão pode ser inferior ao espaço original de variáveis, os quais possuem as tendências das séries espaço-temporais envolvidas. Ao se determinar essa transformação, com relação ao conjunto original de variáveis, pode-se obter um novo espaço *significativamente* menor de variáveis não correlacionadas, o qual reproduz a maior parte das propriedades ou padrão dominante da variância do espaço original, ao longo dos seus eixos de coordenadas (FUNG & LeDREW, 1997; MARULLO et al., 1999). A análise, em termos das Componentes Principais, pode mostrar a dependência das variáveis, ou seja, a linearidade entre essas, no conjunto original. Ao se estabelecerem as relações de linearidade do espaço original, não serão necessárias todas as variáveis para explicar sua variância total, mas um conjunto substancialmente menor de variáveis que *auxilia na identificação das novas variáveis bases* (WILKS, 1962; SOUZA et al., 1992; MEGLIN, 1992; CEBALLOS & BOTTINO 1997).

ARNDT et al. (1997) utilizaram a ACP na quantificação na escala espaço-temporal de transientes, resultantes de simulações de catálises heterogêneas em regime complexo, e concluíram que a ACP mostrou-se bastante eficiente na determinação desses transientes em seus conjuntos de dados simulados. Já YU & CHANG (2000), realizando seleções de cenários de poluição do ozônio no sudeste de Taiwan com ACP, puderam concluir que essa mostrou ser uma ferramenta estatística eficiente para determinar os cenários dominantes sobre a região. Para GRUNSKY (2001), as ACP demonstraram ser uma ferramenta bastante eficaz, principalmente quando se necessita obter algumas relações lineares em um conjunto de dados, que podem ser trabalhosas ou consumir muito tempo na avaliação individual das variáveis ou dos pares convenientes.

A denominação de FOE, muito utilizada pelos meteorologistas, advém do fato de não assumir nenhuma forma pré-definida para as funções a serem ajustadas aos dados. Isto ocorre porque esse método utiliza a matriz de covariância ou correlação entre os dados e não dos dados em si, sendo sua forma dependente dessa relação entre os dados (DOMINGUES, 1993).

2.3.9.1. Cálculo das Componentes Principais

Para se calcular as CPs de um conjunto de dados, inicialmente deve-se obter os autovalores e os autovetores a partir da matriz de correlação ou da matriz de variância-covariância entre as variáveis desse conjunto. Os autovetores dessa matriz indicam as direções das maiores variações e suas projeções representam as Componentes Principais. Seus correspondentes autovalores representam as amplitudes dessas variações em relação às suas respectivas CPs. Deve-se notar que uma dada CP representa um modo principal de variação temporal, que pode ser associado a um dado evento para todo o conjunto de dados analisado, mostrando o padrão dominante de variação durante esse evento.

Os autovetores são ordenados por ordem decrescente de seus autovalores. Assim, os últimos autovalores são muito pequenos e podem ser desprezados, pois esses podem ser considerados como “ruído”. Então, se existe um valor q , a partir do qual todos os autovalores podem ser praticamente desprezados, então, todos os autovetores associados aos pequenos autovalores podem ser também desprezados, reduzindo-se, consideravelmente a dimensão do espaço em estudo com relação à dimensão q . Então, as primeiras CPs são aquelas cujos seus autovalores associados são os maiores, em ordem decrescente de autovalores. Sendo assim, as primeiras componentes explicam a maior parte das informações desse conjunto. O primeiro autovetor possui a mesma direção da primeira Componente Principal, o qual indica a direção de maior variação. O segundo autovetor determina a direção da segunda Componente Principal, onde esse indica a direção da segunda maior variação e assim sucessivamente.

Seja X uma matriz de dados de dimensão $m \times n$, onde m representa a disposição temporal e n a disposição espacial (estações ou variáveis) envolvidas. Para se calcular as Componentes Principais de X , primeiro deve-se calcular sua matriz de correlação (R) ou a matriz de variância-covariância (S), vista nos itens 2.3.7 e 2.3.8, a partir da matriz de anomalias (D), a qual pode ser obtida da Equação 2.10 ou 2.12. Aqui se optou em utilizar variáveis padronizadas (Equação 2.10), pois as que possuem maior variabilidade podem influenciar diretamente no cálculo das Componentes Principais, fazendo com que variáveis que possuem menor variabilidade sejam relevantes. A variância total, $Var_T(R)$, pode ser expressa pelo traço da matriz de correlação (R), sendo a soma da variância de cada variável expressa por:

$$\boxed{Var_T(R) = Traço(R) = \sum_{i=1}^n r_{ii}} \quad (2.13)$$

Sabendo que R é a matriz de correlação e que é uma matriz quadrada de ordem n e simétrica, ou seja, $R = R^T$. Deseja-se encontrar uma transformação linear (A) tal que (λ) maximize a variância de R . O método utilizado para maximizar uma função de muitas variáveis é o método dos Multiplicadores de Lagrange, o qual admite que essa função é independente do tempo (estacionária). O processo para se obter os multiplicadores de Lagrange, representados λ , satisfaz a equação de autovetores e autovalores dados pela equação 2.14, onde a matriz de correlação R satisfaz essa equação

$$RA = \lambda A \Rightarrow (R - \lambda I)A = [0], \text{ onde } \Rightarrow C(\lambda) = R - \lambda I \text{ e } C(\lambda) = \begin{bmatrix} r_{11} - \lambda & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} - \lambda & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} - \lambda \end{bmatrix}$$

$$C(\lambda)A = [0] \quad (2.14)$$

onde $C(\lambda)$ é chamada de matriz característica, I a matriz identidade de ordem n e $[0]$ uma matriz nula de dimensão $n \times n$. Para que se possa ter soluções não triviais, A não deve ser singular, ou seja, nula. Portanto, o determinante da matriz característica deve ser nulo, ou seja:

$$\text{Det} \begin{bmatrix} r_{11} - \lambda & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} - \lambda & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} - \lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (2.15)$$

Devido a sua aplicação na Astronomia, a equação 2.15 é conhecida como equação secular (ARFKEN, 1985).

A partir da equação 2.15, obtém-se o polinômio característico em λ , de grau n , cujas raízes são $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$, os quais estão dispostos em ordem decrescente de seus valores e geram a matriz diagonal (A), onde, os autovalores estão dispostos nessa mesma ordem na diagonal principal dessa matriz. Cada autovalor λ_i explica uma fração da variância total e a soma dos autovalores define a variância total da matriz de correlação.

Cada autovetor (A_i) e seu autovalor (λ_i) associado da matriz de correlação (R) devem também satisfazer a equação 2.14, isto é:

$$[C(\lambda_i)A_i = \vec{0}] \quad (2.16)$$

para os valores de $i = 1, \dots, n$, onde A_i representa i -ésima coluna da matriz A de dimensão $n \times 1$. Após a obtenção das matrizes de autovalor (λ) e autovetor (A), pode-se calcular a matriz das componentes principais (Y), dada pela equação:

$$Y \equiv D.A \quad (2.17)$$

A equação 2.17 pode ser decomposta da seguinte forma:

$$Y \equiv \begin{bmatrix} d_{11}.a_{11} + d_{12}.a_{21} + \dots + d_{1n}.a_{n1} & d_{11}.a_{12} + d_{12}.a_{22} + \dots + d_{1n}.a_{n2} & \dots & d_{11}.a_{1n} + d_{12}.a_{2n} + \dots + d_{1n}.a_{nn} \\ d_{21}.a_{11} + d_{22}.a_{21} + \dots + d_{2n}.a_{n1} & d_{21}.a_{12} + d_{22}.a_{22} + \dots + d_{2n}.a_{n2} & \dots & d_{21}.a_{1n} + d_{22}.a_{2n} + \dots + d_{2n}.a_{nn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1}.a_{11} + d_{m2}.a_{21} + \dots + d_{mn}.a_{n1} & d_{m1}.a_{12} + d_{m2}.a_{22} + \dots + d_{mn}.a_{n2} & \dots & d_{m1}.a_{1n} + d_{m2}.a_{2n} + \dots + d_{mn}.a_{nn} \end{bmatrix}$$

Definindo-se D_i e A_i como matrizes colunas, as quais representam a n -ésima coluna das matrizes D e A , respectivamente, tem-se que:

$$D_i \equiv \begin{bmatrix} d_{1i} \\ d_{2i} \\ \vdots \\ d_{mi} \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad A_i \equiv \begin{bmatrix} a_{1i} \\ a_{2i} \\ \vdots \\ a_{ni} \end{bmatrix}, \text{ então}$$

$$Y \equiv [a_{11}D_1 + a_{21}D_2 + \dots + a_{n1}D_n \quad a_{12}D_1 + a_{22}D_2 + \dots + a_{n2}D_n \quad \dots \quad a_{1n}D_1 + a_{2n}D_2 + \dots + a_{nn}D_n] \quad (2.18)$$

deve-se observar que se $D.A_i \equiv [a_{1i}D_1 + a_{2i}D_2 + \dots + a_{ni}D_n] \Rightarrow Y \equiv [D.A_1 \quad D.A_2 \quad \dots \quad D.A_n]$, mas fazendo $Y_i \equiv D.A_i$ tem-se:

$$Y \equiv [Y_1 \quad Y_2 \quad \dots \quad Y_n] \quad (2.19)$$

Deve-se observar que Y_n é uma matriz coluna de dimensão $n \times 1$, a qual representa n -ésima coluna da matrizes Y , onde aqui será designada como a n -ésima componente principal. Desta forma, a primeira componente principal representa a primeira coluna da matriz Y , a segunda componente principal a segunda coluna e assim por diante.

2.3.9.2 Critério de Seleção das Componentes Principais

Para seleção das primeiras Componentes Principais mais significativas, a princípio, utilizou-se o critério de *Kaiser*. Ele afirma que a contribuição qualquer variável relevante para explicar a variância total deve ser igual ou maior que as variáveis originais, ou seja, sem nenhuma transformação sobre elas. Desde que cada variável seja padronizada, isto é, obtidas a partir da matriz de correlação, faz com que cada variável tenha o mesmo peso para contribuição na explicação da variância total. Assim, para uma *i*-ésima componente principal $\lambda_i \geq 1$ (CEBALLOS & BOTTINO, 1997).

A partir da matriz das componentes principais, pode-se calcular a matriz dos “loadings” (L) — matriz de correlação entre as Componentes Principais e cada série original de anomalias normalizada de dados, representados pelas colunas da matriz D . Através dos “loadings”, pode-se determinar quais são as principais componentes que podem explicar a variância de determinada variável em uma dada estação. Uma alta correlação entre uma componente principal e uma dada estação (variável), representa uma boa concordância entre essa componente e a estação, indicando que esta componente pode explicar parte da variância desta estação. A matriz L pode ser obtida tomando-se a matriz de autovetores e multiplicando-se cada autovetor pela raiz quadrada de seu respectivo autovalor, ou seja:

$$L \equiv A \cdot \Lambda^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

$$L = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sqrt{\lambda_2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sqrt{\lambda_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} a_{11} & \sqrt{\lambda_2} a_{12} & \cdots & \sqrt{\lambda_n} a_{1n} \\ \sqrt{\lambda_1} a_{21} & \sqrt{\lambda_2} a_{22} & \cdots & \sqrt{\lambda_n} a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sqrt{\lambda_1} a_{n1} & \sqrt{\lambda_2} a_{n2} & \cdots & \sqrt{\lambda_n} a_{nn} \end{bmatrix}$$

$L \equiv [\sqrt{\lambda_1} A_1 \quad \sqrt{\lambda_2} A_2 \quad \cdots \quad \sqrt{\lambda_n} A_n]$, fazendo $L_i = \sqrt{\lambda_i} A_i$, obtém-se:

$$L \equiv [L_1 \quad L_2 \quad \cdots \quad L_n] \quad (2.21)$$

Assim, *i*-ésima coluna (L_i) dessa matriz representa as correlações entre a *i*-ésima CP e as *n* estações, variáveis ou pontos de grade em ordem crescente das colunas. Dessa forma, l_{ij} representa a correlação entre a *i*-ésima CP e *j*-ésima estação.

A i -ésima componente principal (Y_i) representa uma fração da explicação da variância total de todo o conjunto de dados, e a amplitude de variação (variância) dessa componente é representada pelo seu autovalor associado (λ_i). A variância dessa, $Var_T(Y_i)$, é representada por:

$$Var(Y_i) = \frac{\lambda_i}{Var_T(\mathbf{R})} \quad (2.22)$$

A variância $Var(Y_q)$ acumulada representa a soma das q mais significativas CPs que obedecem ao critério de Kaiser e pode ser representada por:

$$Var_{AC}(Y_q) = \frac{\sum_{i=1}^q \lambda_i}{Var_T(\mathbf{R})} = \sum_{i=1}^q \frac{\lambda_i}{Var_T(\mathbf{R})} = \sum_{i=1}^q Var(Y_i) \quad (2.23)$$

Como o objetivo da análise das componentes principais é encontrar q CPs que expliquem a maior parte da $Var_T(R)$ com $q \leq n$, sem grandes perdas de informações do sistema, assim encontrado q , encerra-se a ACP

No apêndice D-III, encontra-se um script do software Mathematica, o qual, de maneira simplificada, pode introduzir o entendimento do cálculo das Componentes Principais aos interessados, dando-lhes uma visão geral de todo o procedimento necessário. Nesse script, utilizou-se uma matriz de dimensão 3×12 . Ao término da execução do script obtêm-se as matrizes de correlação, das CPs e dos loadings e as explicações da variância total para cada componente principal.

2.4. Análise Harmônica

Utilizou-se um script para converter do software Grid Analysis and Display System (GrADS) para análise harmônica, cedido pelo Dr. Nelson Jesus Ferreira professor do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e posteriormente modificado pelo autor para satisfazer as necessidades dessa análise. O script calcula basicamente a amplitude e a fase dos possíveis harmônicos. A fase indica o mês que ocorre a maior amplitude da variável em estudo, para um harmônico específico, representado por um vetor, cuja direção e sentido podem ser interpretado pela Figura 2.1. A direção fornece os meses extremos (máximo e mínimo) de variação e o sentido da seta indica o mês de

máxima variação, e o seu recíproco o mês de mínima variação. Calcula, também, o desvio padrão, a variância explicada de cada harmônico e a amplitude e fase sintetizada utilizando todos os harmônicos – onde se procura qual o número mínimo de harmônicos que explique o máximo da variância. Segundo CHAVES & CAVALCANTI (2000) a amplitude e a fase dos primeiros harmônicos explicam a maior parte da variância de todo conjunto de dados do ciclo anual, utilizando-se dados mensais.

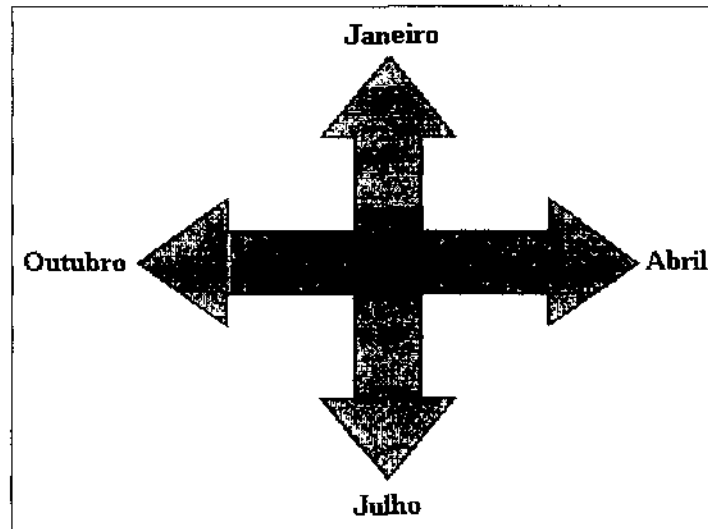


Figura 2. 1 – Interpretação da orientação das setas para os gráficos das fases dos harmônicos.

A Análise Harmônica, ou Análise de Fourier de uma série temporal de dados finita de comprimento N , é definida como uma decomposição dessa série em somas de senos e cosenos.

CHATFIELD (1984) e ASSIS et al.(1996), definem que a amplitude para o n -ésimo harmônico (Λ_n) é obtida pela seguinte expressão:

$$\Lambda_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (2.24)$$

onde A'_n e B'_n são dados, respectivamente, por:

$$A'_n = \frac{2}{T} \cdot \sum_{t=1}^N F(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi(t-1)}{T_n}\right) \quad (2.25)$$

$$B'_n = \frac{2}{T} \cdot \sum_{t=1}^N F(t) \cdot \text{Sen}\left(\frac{2\pi(t-1)}{T_n}\right) \quad (2.26)$$

onde:

$F(t)$: série em estudo no tempo (t);

N : tamanho da série, $N = 12$ para dados mensais;

n : harmônico a ser analisado, com $n = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}$ se N par e $\frac{N-1}{2}$ se ímpar;

T_n : período do n -ésimo harmônico em análise, com $T_n = \frac{N}{n}$.

Assim, o primeiro harmônico ou harmônico fundamental possui um período $T_1 = N$, o segundo harmônico, um período $T_2 = \frac{N}{2}$, o terceiro, um período $T_3 = \frac{N}{3}$ e assim sucessivamente. Nem sempre todos os harmônicos são necessários, pois, na maioria dos casos, os primeiros explicam a variância da série original.

Obtém-se a fase do harmônico plotando-se simplesmente o vetor $\lambda_n = (A'_n, B'_n)$, em coordenada meteorológica, onde o ângulo pode ser extraído pelo algoritmo sugerido por TEIXEIRA (1978):

se $\Lambda_n \neq 0$, então:

$$\left. \begin{aligned} \phi_n &= \text{ArCos}\left(\frac{B'_n}{\Lambda_n}\right); \text{ se } A'_n < 0 \\ \phi_n &= 360^\circ - \text{ArCos}\left(\frac{B'_n}{\Lambda_n}\right); \text{ se } A'_n \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

onde sua interpretação pode ser obtida através do diagrama na Figura 2.1.

A variância explicada para o n -ésimo harmônico, obtida de ASSIS et al. (1996), é dada por:

$$\boxed{Var_n = \frac{\Lambda_n^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (2.28)$$

onde σ é o desvio padrão da série temporal a ser analisada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. *Análise Harmônica*

Os dados utilizados no cálculo dos primeiros harmônicos para os campos meteorológicos de OLR, água precipitável e taxa de chuva, foram obtidos diretamente do NCEP, sem nenhum tratamento prévio, a não ser para o caso da taxa de chuva que foi convertida em *mm/mês*. Para esta etapa, não foram utilizadas anomalias, pois os campos resultantes foram de difícil interpretação, caracterizando-se mais como ruídos.

3.1.1. Radiação de Ondas Longas

Utilizando a lei de *Wien*, pode-se verificar que a radiação solar é concentrada nas faixas visível e infravermelho próximo, enquanto a Terra e sua atmosfera, com temperatura próxima a 288 K, emitem a radiação infravermelha térmica ou radiações de ondas longas. Pode-se dizer que a maior parte da radiação solar, que chega no topo da atmosfera, passa diretamente por essa e aquece a superfície terrestre que, por sua vez, emite a energia absorvida para atmosfera e para o espaço, na forma de radiação de ondas longas.

A emissão de ondas longas para o espaço pode sofrer alterações devido à influência de sistemas meteorológicos. A permanência de sistemas de altas pressões sobre uma região, por exemplo, favorece a perda de radiação de ondas longas para o espaço devido à redução da nebulosidade e do vapor d'água na atmosfera, resultante da subsidência associada a esses sistemas. Já sistemas que propiciam baixas pressões sobre a superfície, favorecem a absorção e remissão de radiação de longas, reduzindo a

perda para o espaço, pois esses sistemas aumentam a nebulosidade e o vapor d'água na atmosfera. HOREL et al. (1989) mostraram que o total de radiação que chega à superfície na Amazônia Central é controlado pela nebulosidade advinda da migração SE/NW da convecção amazônica, com os máximos durante os meses de setembro a outubro e os mínimos nos meses de dezembro a fevereiro. CARVALHO (1989) concluiu em seu estudo sobre as conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul, que as observações de OLR são bons estimadores da precipitação tropical.

Diferentemente de alguns campos meteorológicos, o campo de OLR deve ser analisado com mais cautela, pois, a partir desse, pode-se identificar as regiões onde a permanência de sistemas de altas ou baixas pressões ocorre com maior frequência. É importante salientar que, ao se realizar uma análise harmônica para esse campo, a *máxima amplitude*, em uma dada região, representa uma *maior perda de radiação de ondas longas para o espaço pelo sistema terra-atmosfera e no mês indicado pela seta* no campo de fase desse harmônico, o que indica *pouca nebulosidade* e uma menor concentração de vapor d'água presente na atmosfera.

Quando se procura correlacionar o campo de OLR e o de precipitação, deve-se selecionar regiões nas quais a OLR possui baixa variabilidade. Como para a análise harmônica utilizaram-se os campos médios mensais de OLR, e não suas anomalias, têm-se que associar as regiões com maiores ocorrências de precipitações àquelas que possuem as menores amplitudes de variação. Deve-se, ainda, observar que, *no campo das fases, os sentidos das setas indicam os meses onde ocorre o máximo de emissão de radiação para o espaço*, mostrando que esses meses são os mais secos. Caso queira-se saber quando ocorre a *mínima emissão*, basta dar um giro de 180° nas setas e os novos meses lidos no campo de fase, estarão associados aos meses de maior nebulosidade e precipitação.

3.1.1.1. Período de 1980-99

A amplitude média dos primeiros harmônicos dos campos mensais de OLR, para o período de janeiro de 1980 a dezembro de 1999 (Figura 3.1), mostra que as regiões sobre o Oceano Atlântico, em torno das posições extremas médias da ZCIT ($15^\circ N$ e $3^\circ S$) e no continente Africano, possuem baixa variabilidade de OLR,

indicando alto grau de nebulosidade durante todo o ano e caracterizando-se em regiões de constantes movimentos convectivos durante ciclo anual, com pequenas variações sazonais.

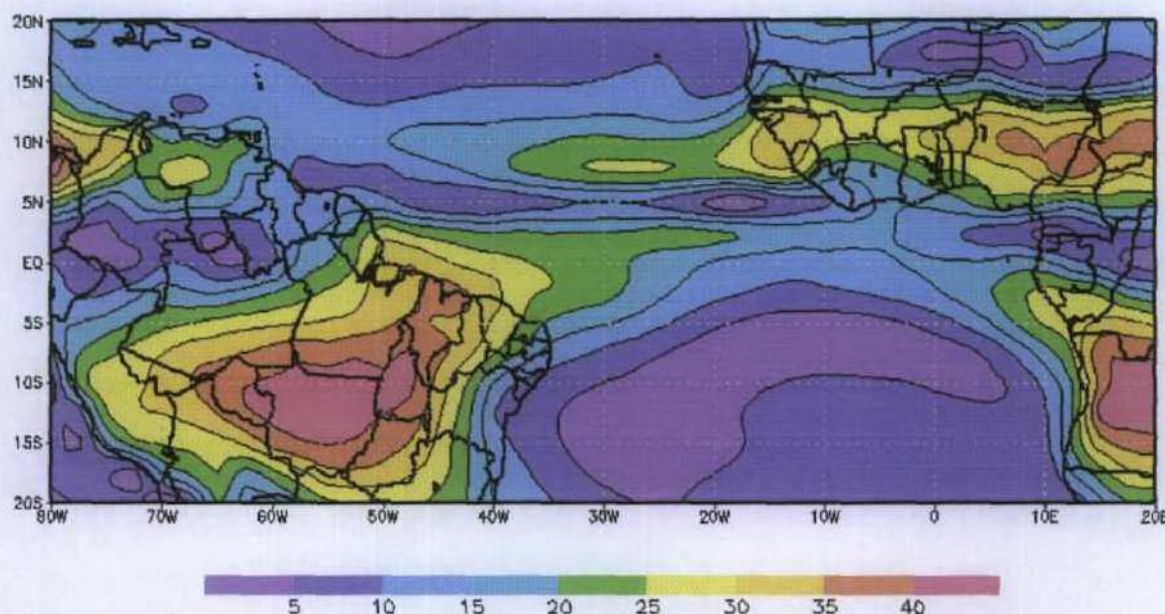


Figura 3. 1 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR ($W.m^{-2}$) no período de 1980 a 1999.

No extremo norte, os mínimos de OLR ocorrem entre os meses de abril-maio (Figura 3.2), período esse que coincide com o posicionamento mais ao sul da ZCIT e no extremo sul ocorrem entre os meses de agosto-setembro. Outra região que apresenta baixa variabilidade situa-se na América do Sul entre os limites $5^{\circ}N$ - $5^{\circ}S$ e 50 - $80^{\circ}W$, que abrange toda parte norte da Amazônia, noroeste do Pará e todo o estado de Roraima e alguns países da América do Sul, como a Colômbia (desde o extremo sul até sua parte central ($\approx 5^{\circ}N$), o sul da Venezuela, e todas Guianas e Suriname. Nessa região, pode-se verificar baixa variabilidade durante o ciclo anual no campo de OLR, com máximos junto à costa Leste da América do Sul observados entre os meses de setembro-outubro, que são os meses mais secos para esta região. Já os mínimos ocorreram entre março-abril, que coincidem com os meses de maior precipitação. As fases dessas regiões (Figura 3.2) parecem apresentar alguma interrelação com as regiões de mesmas latitudes sobre o continente Africano, exceto sobre a linha do Equador na América do Sul, que apresenta algumas variabilidades. Pode-se observar

que existem algumas similaridades entre a Costa Oeste da África e a parte Central da América do Sul entre 10-15°S, que apresentaram as maiores amplitudes de variabilidade para o primeiro harmônico em torno de 40-45 $W.m^{-2}$, onde o máximo ocorreu entre junho-julho e os mínimos entre dezembro-janeiro, na parte sul dos dois continentes.

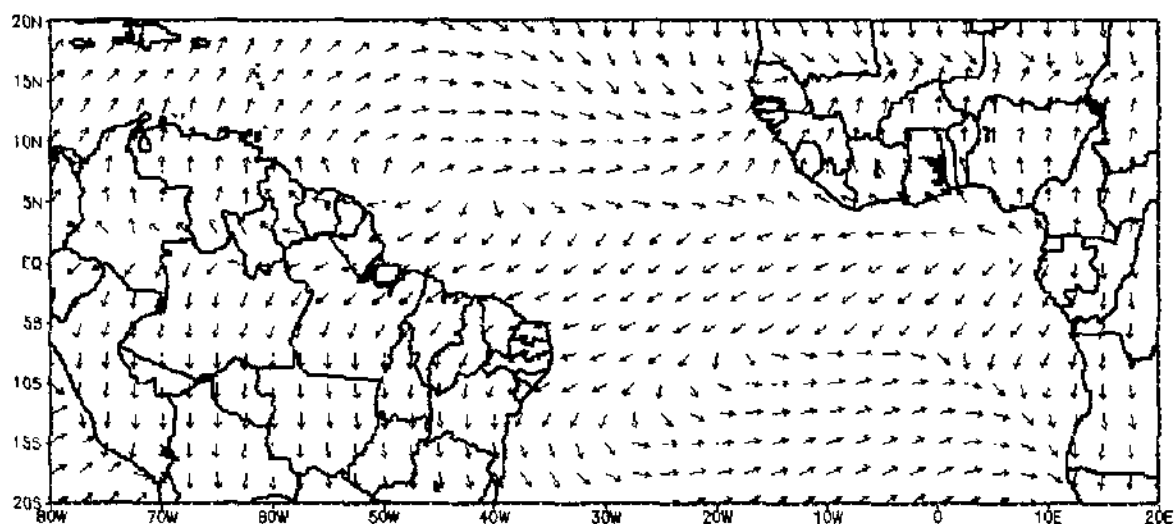


Figura 3. 2 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR no período de 1980 a 1999. As direções e os sentidos das setas indicam os meses de maior amplitude de variação.

A Figura 3.3, mostra a explicação da variância da amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR no período de 1980 a 1990, onde se verifica uma maior representatividade desses campos na região oeste da América do Sul passando para a Costa Norte do Nordeste do Brasil e estendendo-se sobre a região oceânica, na qual as perturbações ondulatórias nos Alísios são frequentemente visualizadas através das imagens de satélites. Para essa região, a amplitude média dos primeiros harmônicos explica cerca de 70-100% da variação total do ciclo anual para a região. A porção norte do Nordeste do Brasil parece se conectar com o sul do continente africano através da região de perturbações nos Alísios, mostrando que essas perturbações ondulatórias nos alísios estão também relacionadas às frequentes perturbações ocorridas na costa oeste do continente africano, as quais podem, possivelmente, ter origem no Oceano Índico. Essas perturbações, produzidas no oeste do sul africano, parecem se deslocar através da região de ventos mais intensos ou águas mais aquecidas até a Costa Norte e Leste do Nordeste do Brasil, o que

favorece a produção de grandes totais pluviométricos. Pode-se observar na Figura 3.3, que essa região estende-se da África até o Brasil, com um coeficiente de explicação entre 50-90%. Pode-se concluir que o primeiro harmônico representa muito bem essas regiões.

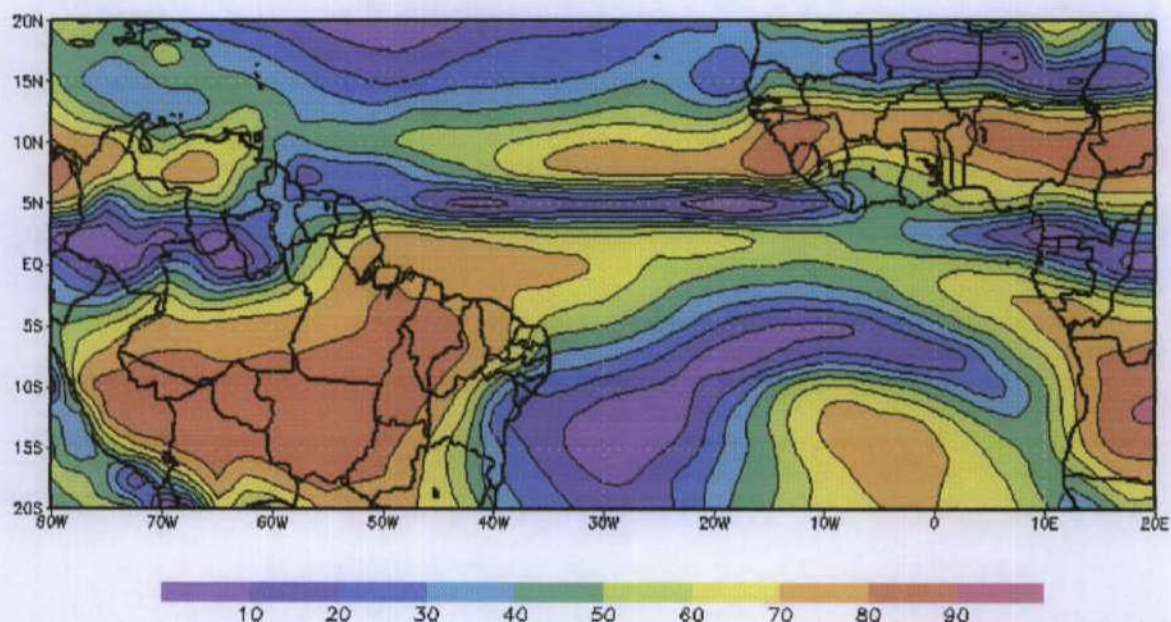


Figura 3. 3 – Explicação da variância da amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR (%) no período de 1980 a 1999

3.1.1.2. Período de El Niño

Na Figura 3.4, que mostra a amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR nos anos de El Niño, sendo eles 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998. Nota-se que esses campos, com relação a Figura 3.1, apresentaram menor variabilidade desde a região litorânea até a parte central do Maranhão. As regiões centro-oeste do Brasil e parte do Sul do Pará parecem não sofrer nenhum acréscimo em sua variabilidade. Já a região com amplitudes entre $35\text{-}40 \text{ W.m}^{-2}$ sobre o Sul da Amazônia, mostrou uma tendência em se expandir em direção ao Norte. A parte sul a central da Amazônia sofreu um aumento na variabilidade espacial no campo de OLR, provocando uma sensível redução nos totais de precipitação dessa região. A Costa Leste do NEB não apresentou diferenças significativas com relação a Figura 3.1.

Na parte sul da Costa Oeste da África, o centro da região com amplitude de 50 W.m^{-2} (Figura 3.1) sofreu uma intensificação de 5 W.m^{-2} (Figura 3.4), mostrando

que durante anos de El Niño, a variabilidade do campo de OLR é crescente nessa região devido à redução de movimentos ascendentes. Já na parte norte do continente africano, a região contínua de $\approx 45 \text{ W.m}^{-2}$ (Figura 3.1) apresentou um decréscimo em sua área de abrangência durante os anos El Niño. Ainda na Figura 3.4, nota-se uma expansão nas regiões com amplitudes entre 5-15 W.m^{-2} sobre o Atlântico Sul e uma redução na variabilidade de OLR mostrando que durante os eventos de El Niño ocorre um aumento na nebulosidade sobre o oceano, favorecendo uma maior ocorrência de precipitações nessa região.

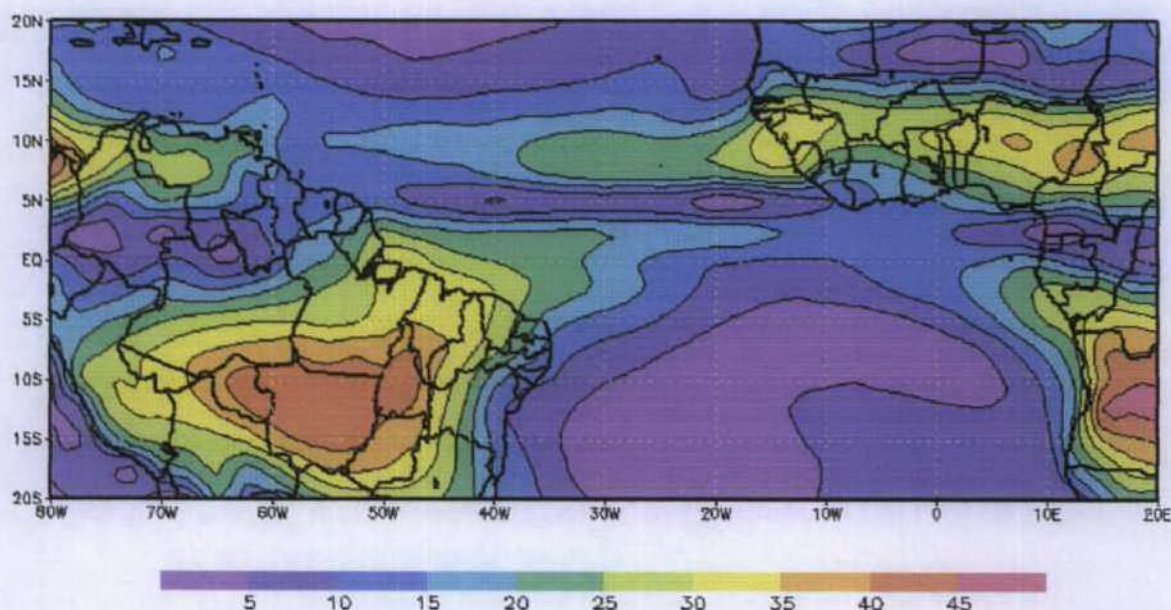


Figura 3. 4 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR (W.m^{-2}), nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

A fase média do primeiro harmônico para o campo de OLR, apresentado na Figura 3.5, observa-se que o ciclo sazonal dessa variável não apresentou sensíveis modificações com relação a Figura 3.2, indicando que os anos de El Niño mostraram modificações no campo das amplitudes, porém mantiveram-se aproximadamente constante com relação a sua fase.

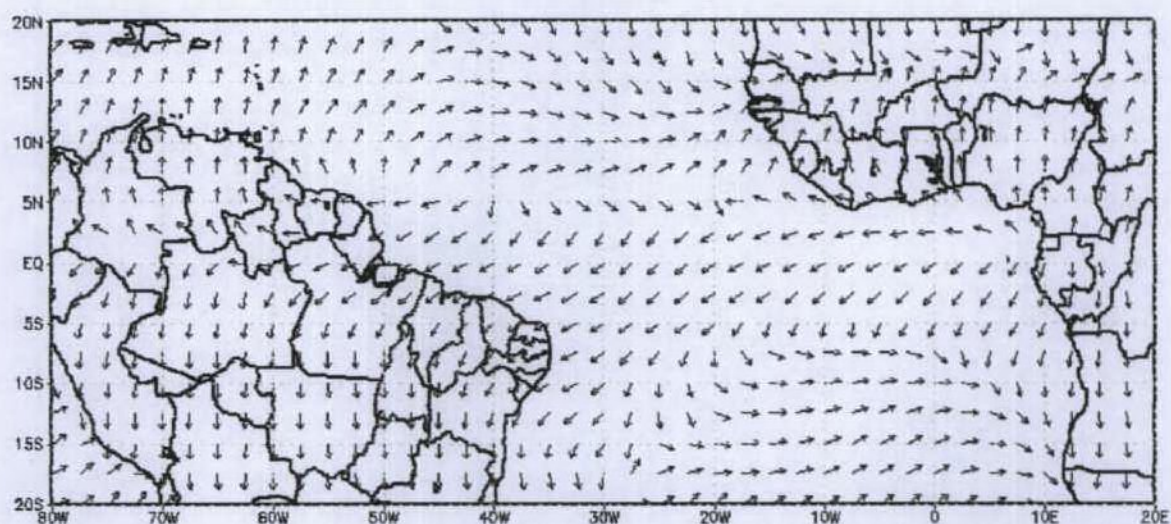


Figura 3. 5 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de OLR, para os anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

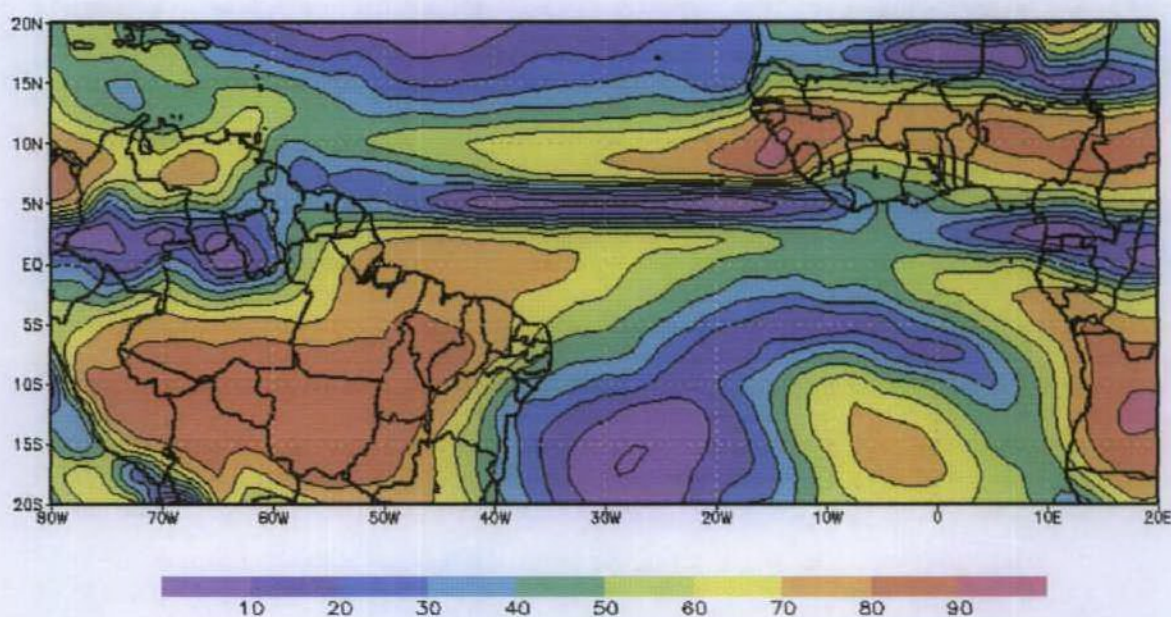


Figura 3. 6 – Explicação da variância total do primeiro harmônico para o campo OLR, nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

Observa-se, na Figura 3.6, que o primeiro harmônico dos anos de El Niño, sofreu uma perda de 10% na explicação da variância total próximo a costa Norte e norte do Nordeste do Brasil e sobre os estados de Maranhão e nordeste do Pará. Por outro lado, observa-se um aumento de 10% na parte leste do Piauí, sul da Amazônia, porção litorânea da Bahia, todo estado de Sergipe e parte sul e leste de Alagoas. Já, sobre o continente africano, nota-se nitidamente uma expansão no núcleo de

explicação da variância total de aproximadamente 100%, observada na parte sul desse continente e o surgimento de um outro núcleo de cerca de 100% na porção noroeste desse continente, mostrando que essas regiões se comportam de maneira semelhante em anos de El Niño.

3.1.1.3. Período de La Niña

A Figura 3.7 mostra a amplitude média dos primeiros harmônicos dos campos mensais de OLR para anos de La Niña (1984, 1985, 1988, 1989 e 1999). Nota-se, nitidamente, que as regiões de baixa variabilidade aumentaram principalmente em torno da linha do equador sobre as porções oceânicas e continentais, e que as regiões de menores amplitudes, cerca de $5-10 \text{ W.m}^{-2}$, com relação a Figura 3.1, expandiram-se tanto para o norte, atingindo as Guianas e o Suriname até o Oceano Tropical Atlântico Norte, quanto para o sul estendendo-se sobre o norte da Amazônia e noroeste do Pará. Isso sugere que, durante esses anos, a nebulosidade é mais intensa. Observou-se, também, que a região com amplitudes de aproximadamente 35 W.m^{-2} (Figura 3.1) sofreu um aumento de $\approx 5 \text{ W.m}^{-2}$ (Figura 3.7), podendo-se ainda notar o surgimento de um núcleo de amplitude média do primeiro harmônico para os campos de OLR, com valor em torno de 45 W.m^{-2} sobre a costa de Maranhão e Piauí.

No campo de fase da Figura 3.8, para os anos de La Niña, não se observam sensíveis variações em relação à Figura 3.2. Somente na parte norte da América do Sul e sobre o Oceano Atlântico, a fase de máxima variabilidade ocorreu no período de fevereiro a maio ($6,5-20^\circ\text{N}$), enquanto, nas regiões costeiras do Norte e Nordeste do Brasil ($0-10^\circ\text{S}$) bem como sobre o oceano ($20-25^\circ\text{S}$), a fase de variabilidade máxima ocorreu entre os meses de julho a outubro. Já a costa Leste do Nordeste ($5-10^\circ\text{S}$) apresentou mudanças para os anos de La Niña, com máximo de OLR observado no mês de outubro, e mínimo ocorrido em abril, caracterizando, esse último como o período

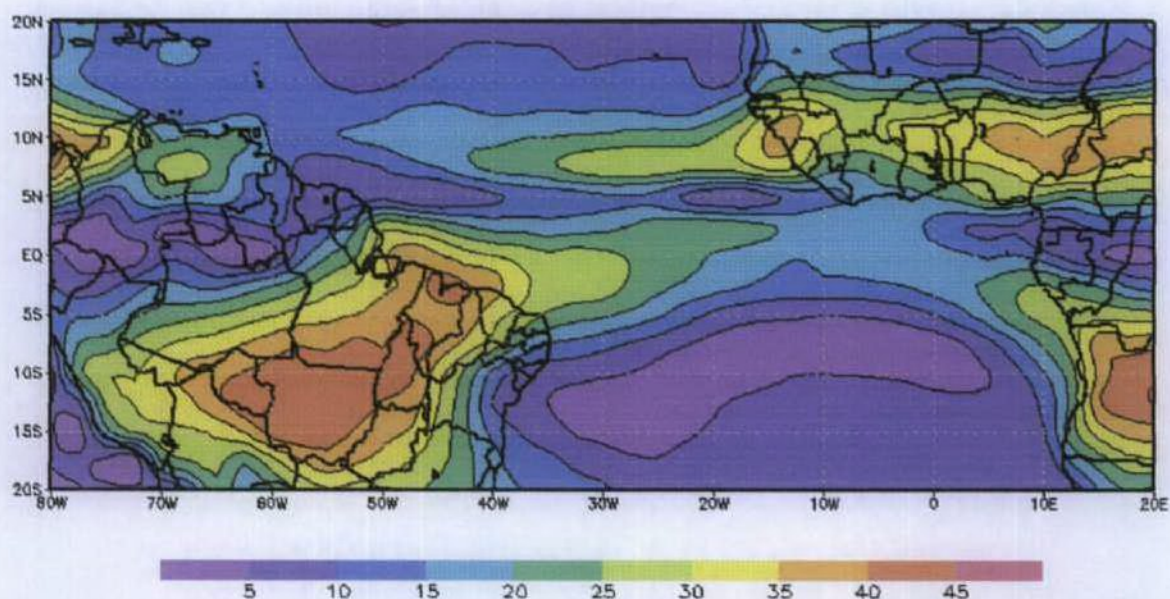


Figura 3. 7 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de OLR ($W.m^{-2}$), para os anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

mais chuvoso da região. No setor sul da Bahia e nordeste de Minas Gerais observaram-se máximos de OLR nos meses de maio-junho e mínimo em novembro-dezembro, que correspondem ao período mais chuvoso da região quando ocorre o evento La Niña.

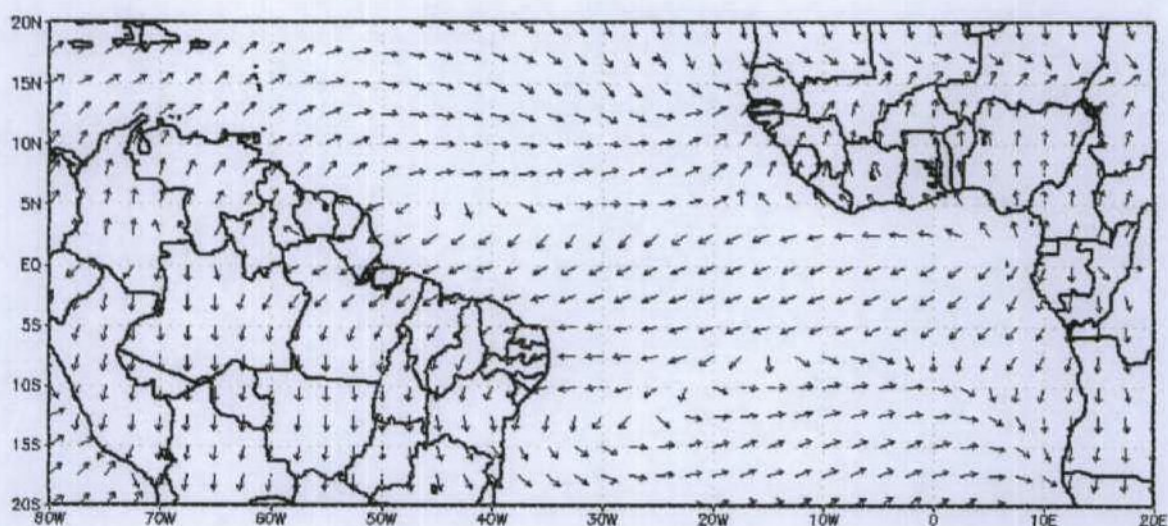


Figura 3. 8 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de OLR, nos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

Na Figura 3.9, observa-se que a região de aproximadamente 90% de explicação da variância total, localizada sobre a América do Sul (Figura 3.3), sofreu

uma extensão para o nordeste atingindo o Atlântico Tropical Norte e Sul, onde se pode verificar uma imensa região de 80% de explicação sobre o oceano. Nota-se, também, núcleos de aproximadamente 90% de explicação sobre a costa do Pará, Maranhão, oeste do Mato Grosso, sul de Rondônia e sobre parte do Peru, sugerindo que essas regiões se comportam de maneira semelhante em anos de La Niña. Pode-se dizer que as regiões que sofreram um aumento substancial na explicação da variância total sobre a América do Sul foram os estados do Pará, Maranhão, Piauí e Ceará, bem como a região oceânica na costa norte do Nordeste, sugerindo sensibilidade aos eventos La Ninas.

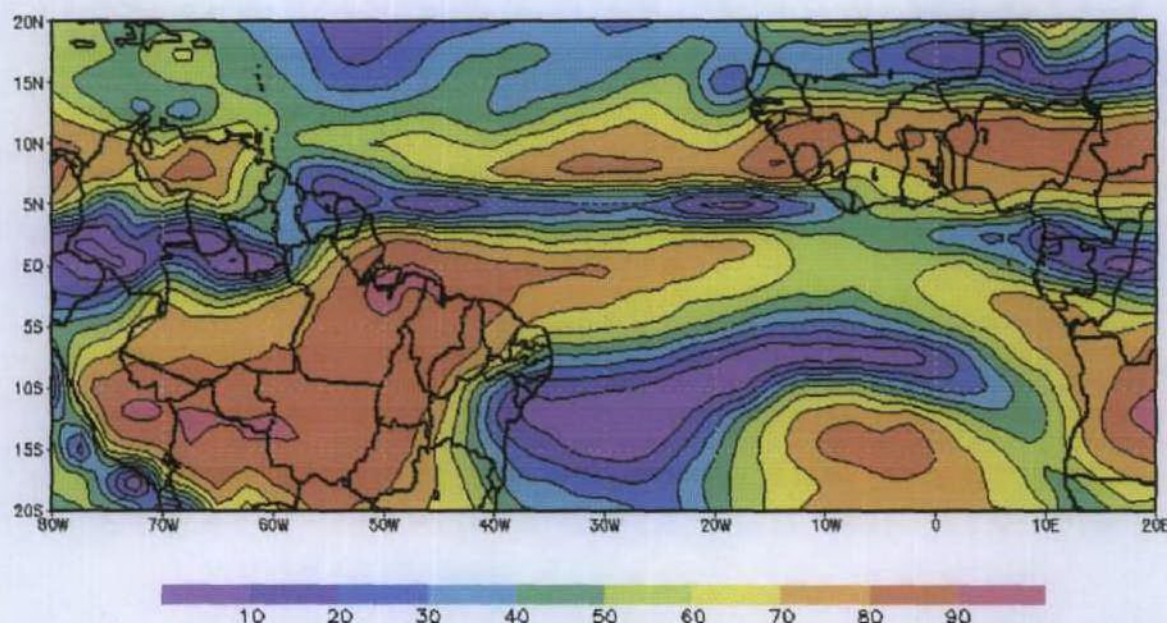


Figura 3. 9 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo OLR, nos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

3.1.2. Precipitação

3.1.2.1. *Período de 1980-99*

A Figura 3.10 mostra a amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de precipitação no período de 1980-1999. Notam-se dois grandes centros de variabilidade, um sobre o Centro-Oeste do Nordeste do Brasil estendendo-se sobre o Piauí e Ceará, com amplitudes de variabilidade entre 200-240 mm. O outro se encontra sobre a costa oeste da África.

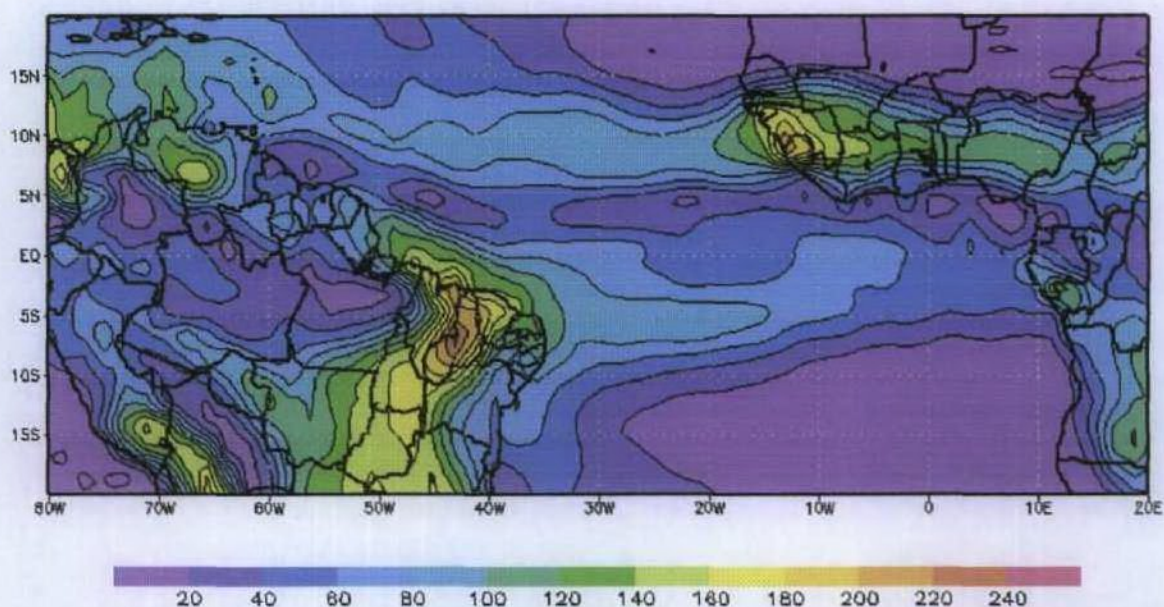


Figura 3. 10 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação (mm), no período de 1980 a 1999.

Na Figura 3.11, mostra a fase média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação, pode-se observar que as regiões de máxima amplitude das médias dos primeiros harmônicos são: parte central da América do Sul (novembro a fevereiro), Costa Norte (dezembro a abril) e Leste do Nordeste do Brasil (abril a maio). No Hemisfério Norte, esses centros de máximos estão relacionados com os posicionamentos extremos da ZCIT, mais ao norte ($5-15^{\circ}\text{N}$) nos meses de agosto a setembro e ($0-5^{\circ}\text{S}$) entre os meses de março a abril ($3^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{S}$).

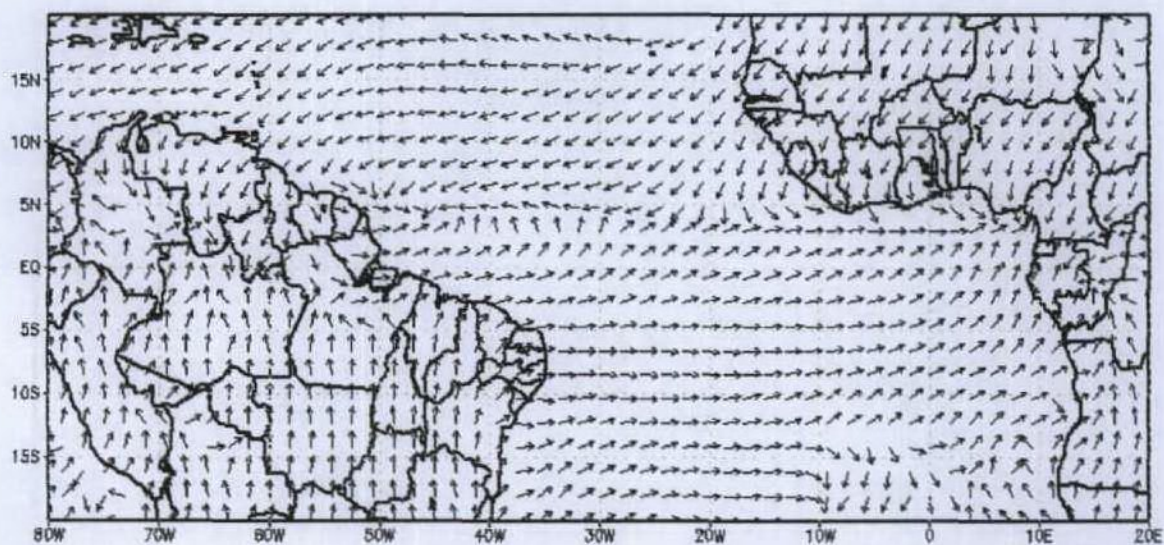


Figura 3. 11 – Fase média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação, para o período de 1980 a 1999.

Sabe-se que o máximo de precipitação para a Costa Leste do Nordeste ocorre entre os meses de abril a maio, o que não foi possível observar na análise do campo de fase. Já para a Costa Norte do Nordeste, esse campo pareceu reproduzir melhor a climatologia, indicando um máximo ocorrido entre os meses de março a abril. O período de dezembro a janeiro apresenta-se bem mais pronunciado para grande parte da América do Sul, mostrando uma concordância com a climatologia, principalmente no sudoeste da Bahia, nordeste de Minas Gerais estendendo-se até o Leste do Brasil.

Sobre os continentes africano e americano, a variância explicada, através da amplitude média dos primeiros harmônicos nessas regiões, é relativamente alta, com valores entre 70–90%, mesmo sobre o Oceano (Figura 3.12). Pode-se observar uma faixa de 70-90% no sentido sudoeste-nordeste, com um centro sobre o Mato Grosso do Sul até a Costa Norte do Nordeste do Brasil. Mostrando que essa faixa é bem caracterizada pelo primeiro harmônico e que suas fases devem se aproximar da climatologia local. Esse fato também é observado em torno dos 10°N, sobre o continente africano e sobre o Oceano Atlântico, que são regiões favorecidas pela migração sazonal da ZCIT durante o ciclo anual.

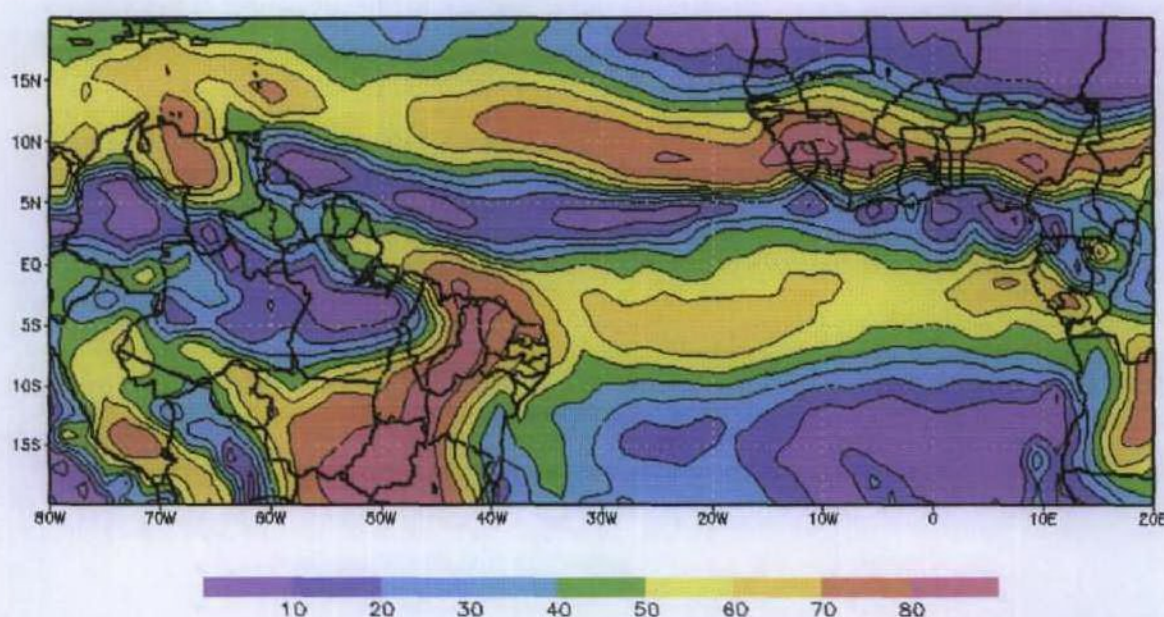


Figura 3. 12 – Explicação da variância do primeiro harmônico para o campo de precipitação, no período de 1980 a 1999.

3.1.2.2. Período de El Niño

A Figura 3.13 mostra a amplitude média dos primeiros harmônicos para os anos de 1982-1983, 1986-1987, 1997, 1998. Pode-se observar que o campo das amplitudes da Figura 3.13 assemelha-se ao campo mostrado na Figura 3.10, com uma variação de 20 a 240 mm, sugerindo que baixos totais pluviométricos (semi-aridez) são mais comuns para a região. De maneira similar, observa-se, na Figura 3.14, que o campo de fase do primeiro harmônico também apresentou grandes variações. Nota-se, com relação a Figura 3.12, uma redução na variância explicada em aproximadamente 10% na Costa Norte do Nordeste sobre as regiões do Piauí e parte Oeste do Ceará, enquanto um aumento é observado na parte oceânica junto a Costa Sul da Bahia ($\approx 10\%$), mostrando que essas regiões são diretamente influenciada durante anos de El Niño. Nesses anos, as frentes frias tendem a permanecer sobre o sul da Bahia, impedindo que sistemas frontais atinjam as regiões mais ao norte, e propiciando uma redução nos totais anuais de precipitação. Como a amplitude média do campo de precipitação em anos de El Niño se assemelha a amplitude média de todo período estudado, então os erros observados na fase podem ser devido à ocorrência do evento El Niño, sendo que os dados de reanálises sofrem sensíveis alterações, o que indica que, de alguma forma, esses dados não reproduzem muito bem os anos de El Niño. Já nos anos de La Niña este erro é pouco significativo, como será mostrado mais adiante.

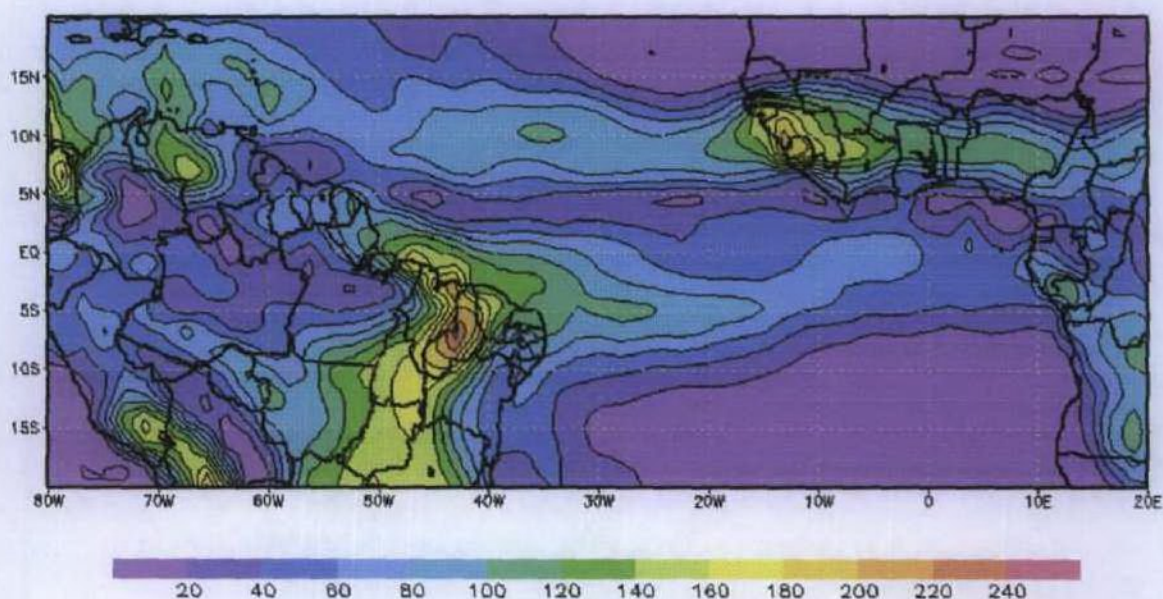


Figura 3. 13 – Amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos de precipitação (mm), nos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

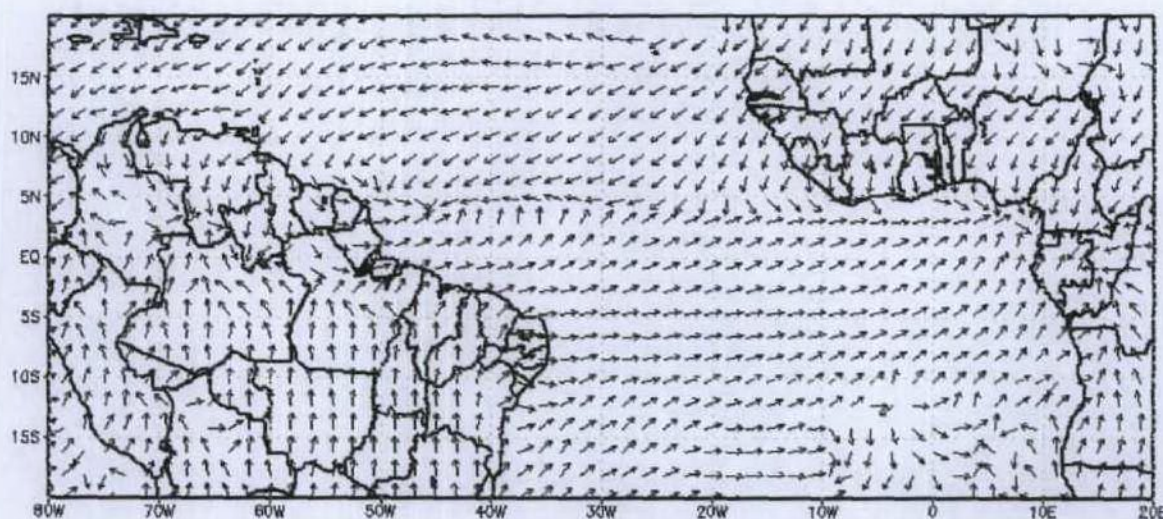


Figura 3. 14 – Fase do primeiro harmônico para o campo precipitação dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

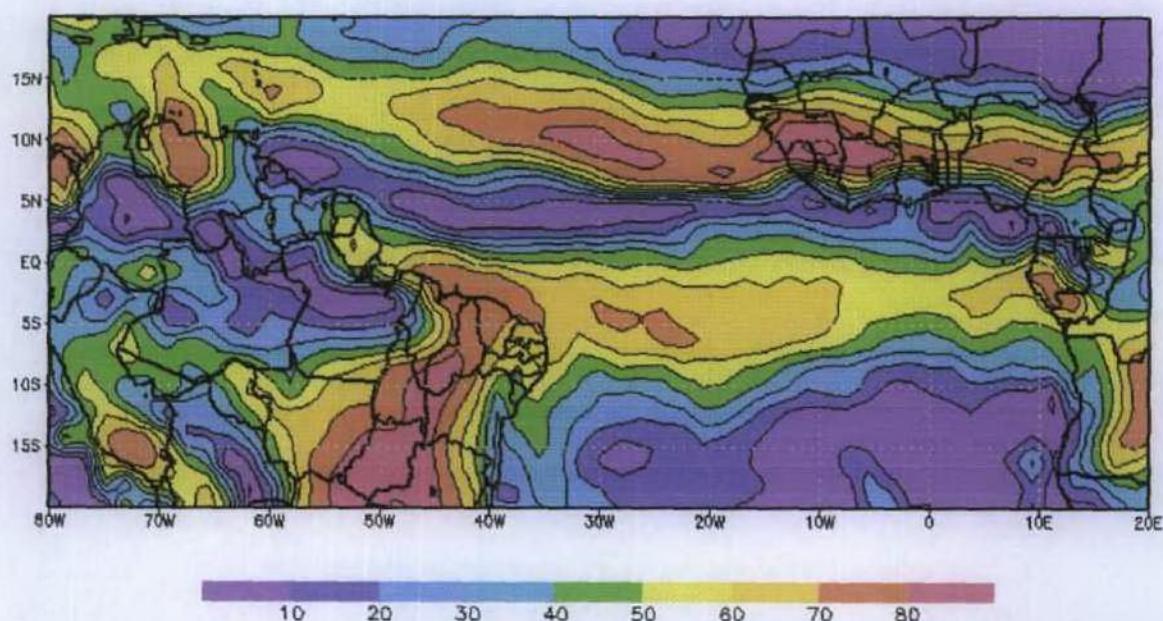


Figura 3. 15 – Explicação da variância primeiro harmônico para o campo precipitação dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

3.1.2.3. Período de La Niña

Na Figura 3.16, que mostra as amplitudes médias dos primeiros harmônicos para os anos de 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999, observa-se que as amplitudes máximas foram reduzidas, mas se pode notar que alguns centros de máxima se expandiram mesmo com amplitudes inferiores a 240 mm (máxima com em relação à Figura 3.10). Verifica-se, em algumas regiões tais como a Costa Norte, Leste e Centro-Oeste do

Atlântico Tropical Norte. Na Figura 3.29, observa-se que a amplitude positiva da primeira componente principal e áreas com valores positivos de correlação estão associadas às amplitudes positivas de anomalias (período seco). Já, as áreas com menores valores negativos de correlação, variando entre -80 a -50%, foram encontradas em praticamente todo Nordeste e Centro-Oeste, leste do Pará, Mato Grosso, Tocantins e sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul entre 0° e 10°S. Essas áreas de correlações negativas, associadas às amplitudes positivas da primeira componente principal, estão relacionadas aos períodos de anomalias negativas de OLR, caracterizando-se por uma menor perda de radiação de ondas longas e, dessa forma, indicando períodos chuvosos, enquanto a associação de correlações negativas com amplitudes negativas se relacionam com anomalias positivas de OLR, caracterizando períodos secos.

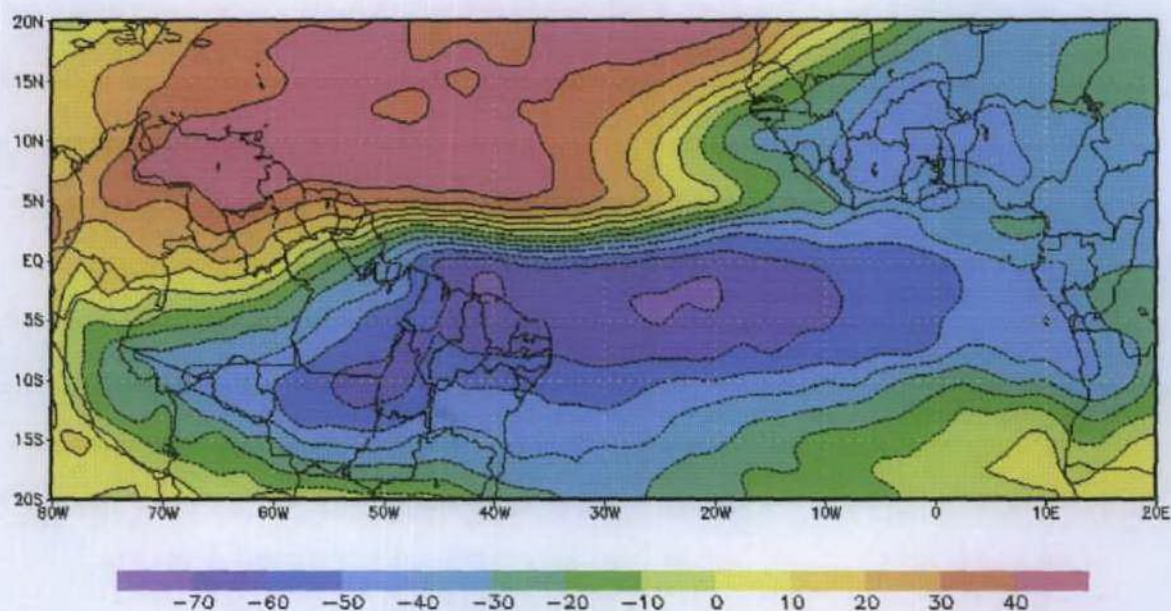


Figura 3. 28 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR no período de 1980 a 1999.

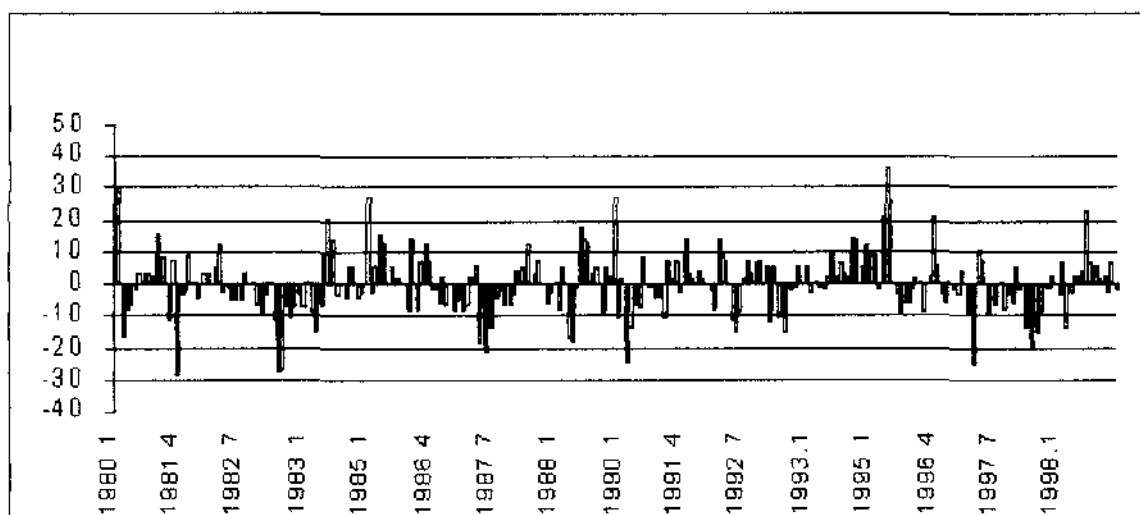


Figura 3. 29 – A primeira componente principal para os campos mensais de OLR, no período de 1980 a 1999.

Em resumo, pode-se dizer que correlações e amplitudes de mesmo sinal definem anomalias positivas, enquanto sinais opostos de correlações e amplitudes estão relacionados às anomalias negativas, isso é mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3. 2 – Interpretação de anomalia tendo como base o coeficiente de correlação (loading) e a amplitude da componente principal.

Correlação	Amplitude	Anomalia
+	+	Positiva
-	-	
+	-	Negativa
-	+	

A primeira componente não mostrou sensibilidade aos índices relacionados na Tabela 3.1. A primeira componente pareceu representar muito bem o ciclo anual. Pode-se, ainda, observar, na Figura 3.28, a existência de um dipolo no campo dos loadings no sentido norte-sul, que deve ser caracterizado pelo movimento aparente do sol, durante o ciclo anual.

A segunda componente principal do campo de OLR, apresentada na Figura 3.31, apresentou melhores valores com o índice MEI, com um coeficiente de correlação de 0,5 (Tabela 3.1), indicando que essa componente é influenciada pela

pressão ao nível médio do mar, componentes meridional e zonal do vento à superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar, total de nebulosidade por fração de céu, que são os elementos utilizados no cálculo do MEI. Os loadings na Figura 3.30 mostraram que essa componente respondeu melhor aos anos de El Niño, atuando fortemente sobre o norte da América do Sul. As regiões mais afetadas são o norte e noroeste da Amazônia e do Pará e Noroeste do Maranhão e Amapá, sul das Guianas, Suriname e Venezuela e todo estado de Roraima, que apresentaram coeficiente de correlação com a segunda componente variando entre 50-70%. Já sobre o Oceano Atlântico Tropical, acima da linha do Equador, esse coeficiente oscilou em torno de 50 a 60%. Nessas regiões, o El Niño considerado mais forte foi o de 1982-83, seguido pelos ocorridos em 1992-93, 1997-98 e 1986-87, nos quais as anomalias no campo de OLR foram positivas, configurando, dessa forma, anos mais secos.

Outra região que merece atenção é o Oceano Atlântico Tropical Sul, nordeste de Minas Gerais, sul da Bahia e norte do Espírito Santo, onde, durante os eventos de El Niño supracitados, as anomalias foram negativas, indicando uma maior nebulosidade, sendo mais pronunciadas sobre o oceano. Essas áreas apresentaram grandes totais pluviométricos durante período de El Niño.

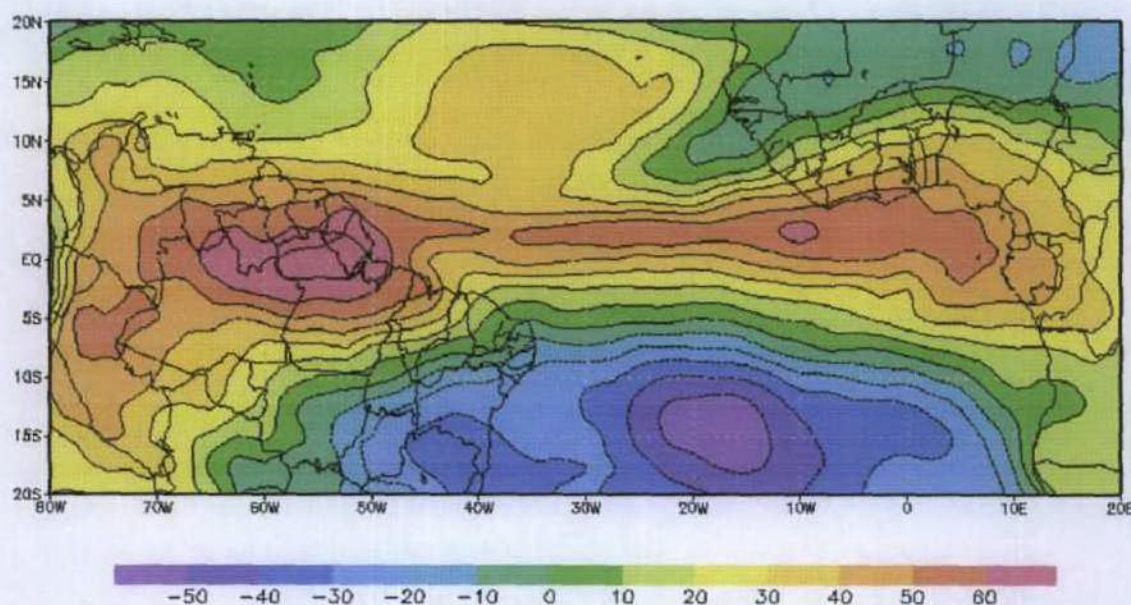


Figura 3. 30 – Loadings percentuais da segunda componente para os campos mensais de OLR no período de 1980 a 1999.

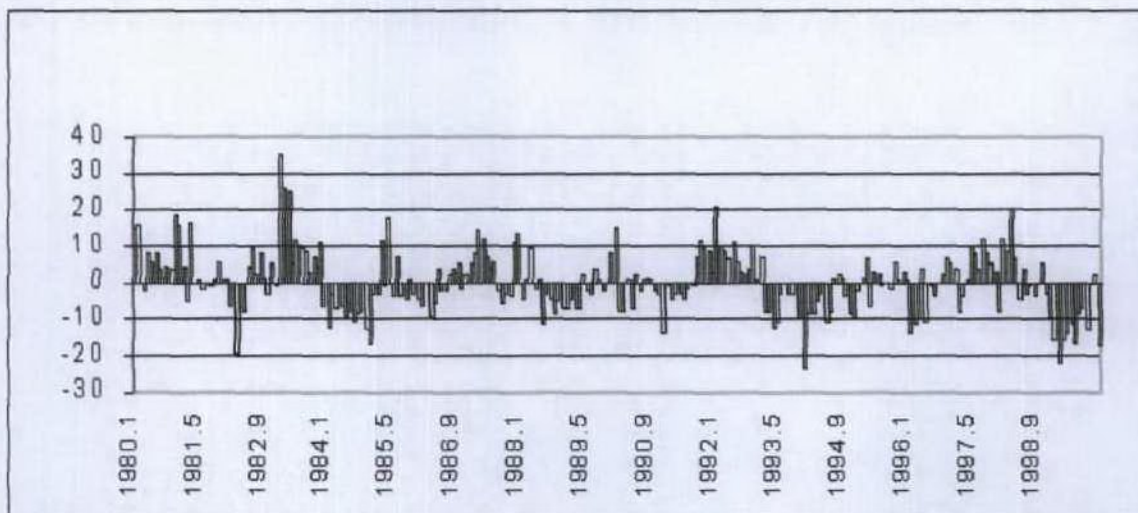


Figura 3. 31 – Segunda Componente Principal para o campo de OLR para o período de 1980 a 1999.

3.2.1.1.2. Período de El Niño

O campo do loadings da primeira componente principal, apresentado na Figura 3.32, para os anos de El Niño pré-selecionados, mostrou-se bem representativo para o Norte e Nordeste do Brasil, Oceano Atlântico Tropical em torno da Linha do Equador e o oeste do continente africano em torno dessa mesma linha, com coeficiente de correlação entre -50 a -90%.

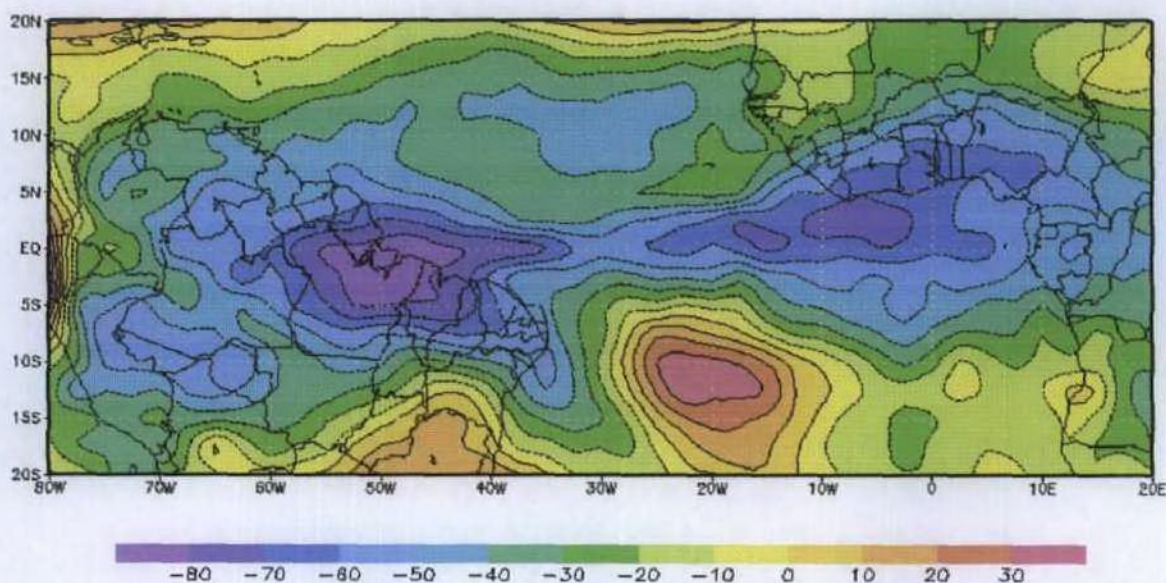


Figura 3. 32 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

Para os anos de 1982 e 1986, visto na Figura 3.33, na maioria dos meses, as amplitudes da primeira componente principal apresentaram valores positivos, caracterizando-se como anos mais chuvosos quando comparados aos demais anos de El Niño, enquanto os anos de 1983, 1997 e 1998 apresentaram-se mais secos.

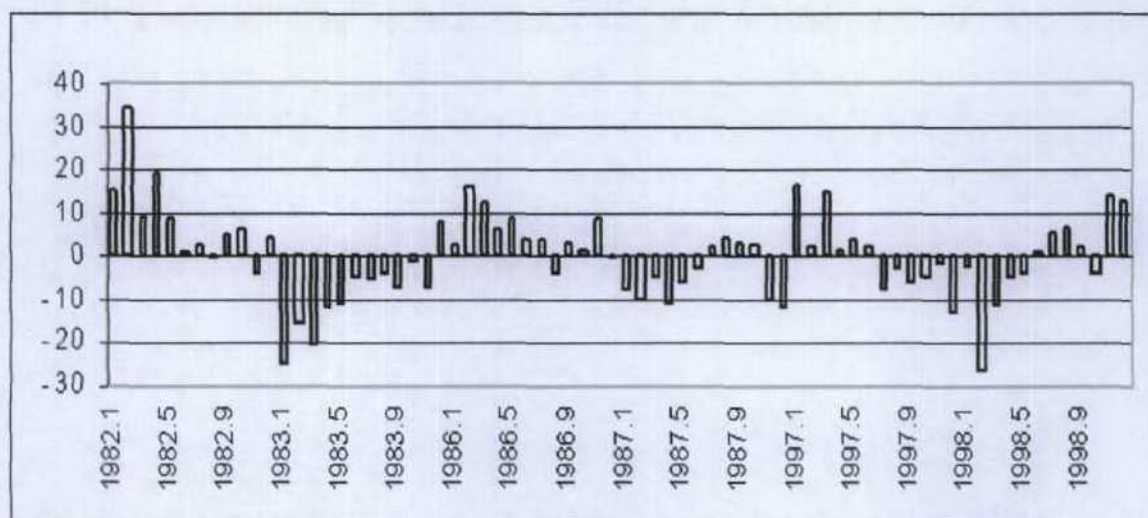


Figura 3. 33 – Primeira Componente Principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

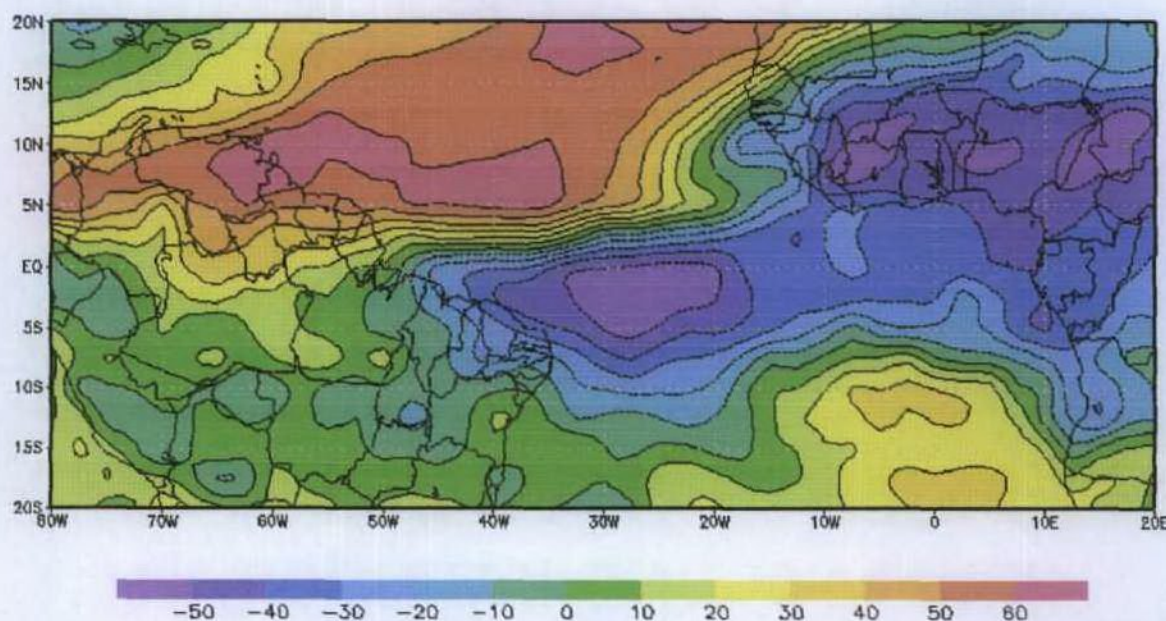


Figura 3. 34 – Loadings percentuais da segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

A Figura 3.34 mostra os loadings da segunda componente principal para os anos de El Niño. Pode-se verificar na Figura 3.34 uma forte influência desse evento no

norte da América do Sul ($2,5^{\circ}\text{N}$ a 10°N) e sobre o Oceano Tropical Norte, próximo a $2,5^{\circ}\text{N}$ e 20°N , com coeficiente percentual de correlação entre 50 a 70%. Em anos de El Niño, os sistemas que favorecem os movimentos convectivos na região norte da América do Sul, deslocam-se para o norte, ocasionando redução na precipitação para as regiões mais ao sul.

Nota-se, na Figura 3.35, que as anomalias de OLR nos anos de 1986, 1997 e 1998, para essa região de forte influência do El Niño, estiveram acima da média dos seis anos de El Niño selecionados, o que os caracterizaram como anos secos. Já, na porção ocidental do continente africano e estendendo-se através do Oceano Atlântico Tropical até a Costa Norte do Nordeste Brasileiro, percebeu-se uma área com loadings entre -30 a -60%, onde a segunda componente está mais fortemente relacionada às áreas oceânicas e continentais próximo ao norte do Nordeste do Brasil e sobre o continente africano, indicando que nos anos de 1986, 1997 e 1998 as anomalias de OLR foram negativas

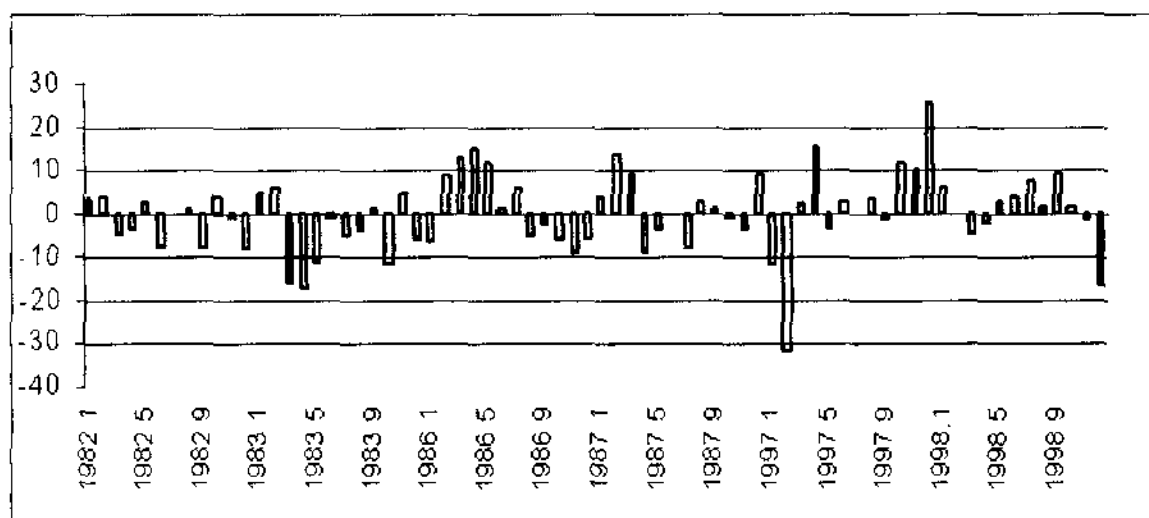


Figura 3. 35 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

3.2.1.1.3. Período de La Niña

Os loadings da primeira componente principal das anomalias de OLR apresentados na Figura 3.36, para os anos de 1984, 1985, 1988 e 1999, os quais foram anos de La Niña, mostraram uma região fortemente influenciada em praticamente todo o Nordeste, sendo mais pronunciada para os estados de Aracaju, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e uma pequena porção do nordeste da Bahia estendendo-

se para o oceano, com coeficiente de correlação percentual oscilando entre 60 a 80%. Outra área, que abrange o restante do Nordeste e porções do Atlântico Tropical sul, sofreu forte influência do evento La Niña, em especial nos anos de 1985 e 1989, que foram os mais intensos (Figura 3.37), apresentando anomalias de OLR negativas em relação à média dos cinco anos de La Niña. Os anos de La Niña menos intensos ou próximos aos normais foram 1984 e 1988.

Outra banda de grande influência é a região, orientada de Sudoeste–Nordeste que cruza a América do Sul e vai até o oceano Tropical norte que apresentou um coeficiente de correlação entre -40 a -60%, indicando que para essa região, os anos de 1985 e 1989 estiveram com anomalias positivas e 1984, 1988 e 1999 com anomalias negativas em relação a média dos La Niñas para o período de cinco anos. Essa componente apresentou coeficiente de correlação com TNI de 50%, sugerindo que a primeira componente das anomalias mensais do campo de OLR esteja relacionada com a temperatura da superfície do mar dos Niño 1+2 e Niño 4, já que esse índice é dado pela diferença de anomalias normalizadas de TSM nessas regiões.

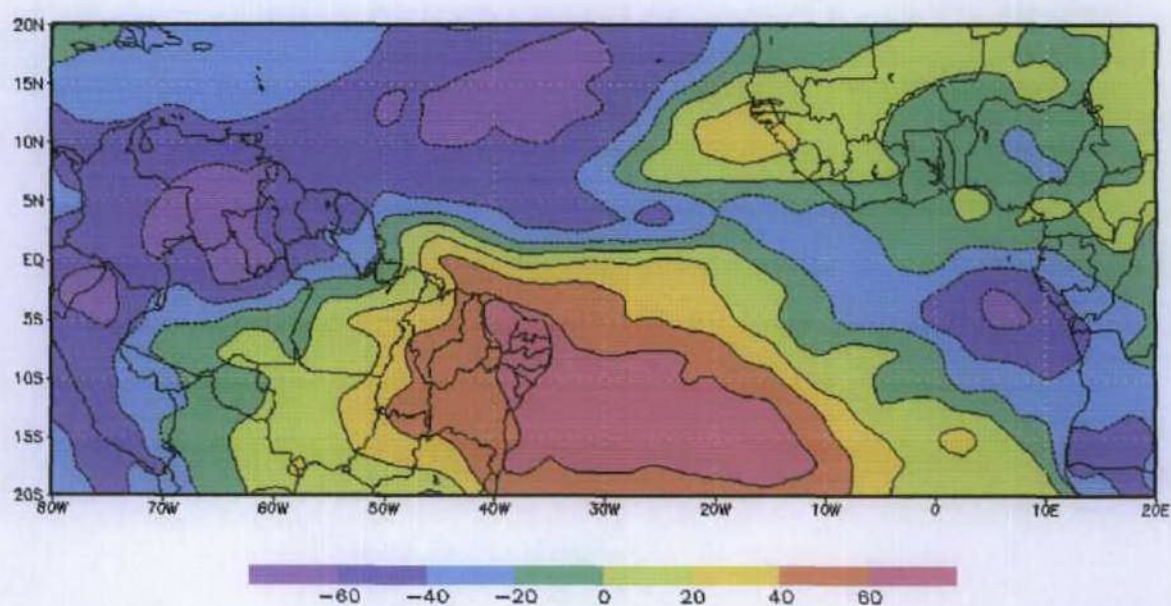


Figura 3. 36 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

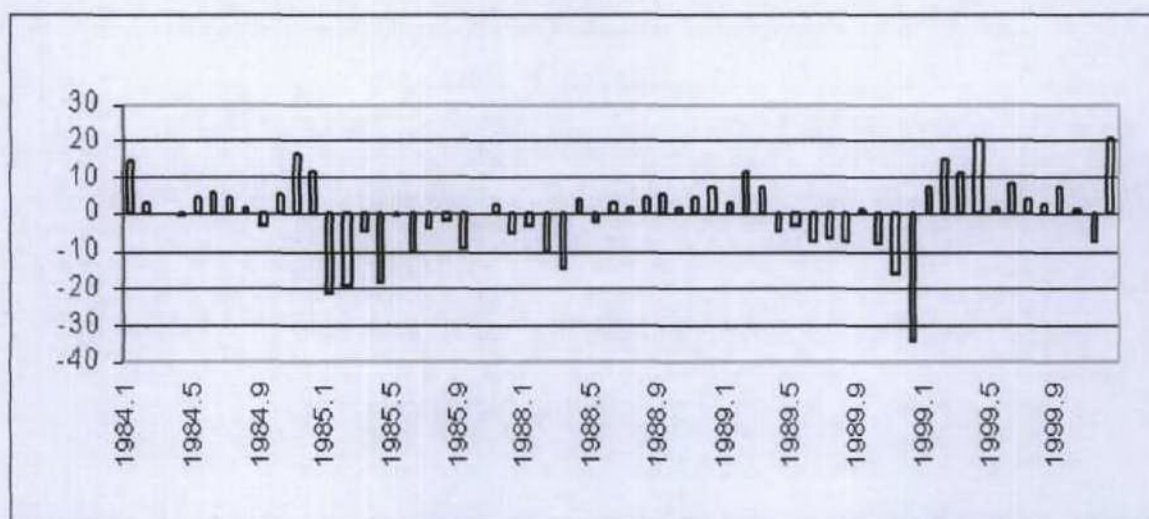


Figura 3. 37 – Primeira componente principal para o campo de OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

Os loadings da segunda componente principal para o campo de anomalias de OLR podem ser vistos na Figura 3.38, onde mostraram que, durante os anos de La Niña, as perturbações que ocorreram sobre o continente africano ($10^{\circ}N - 5^{\circ}S$) propiciaram alta nebulosidade, favorecendo as regiões Norte e o norte do Nordeste do Brasil, devido ao transporte e convergência de umidade que gerou grandes totais pluviométricos, como ocorrido em 1984 e 1999 (Figura 3.39).

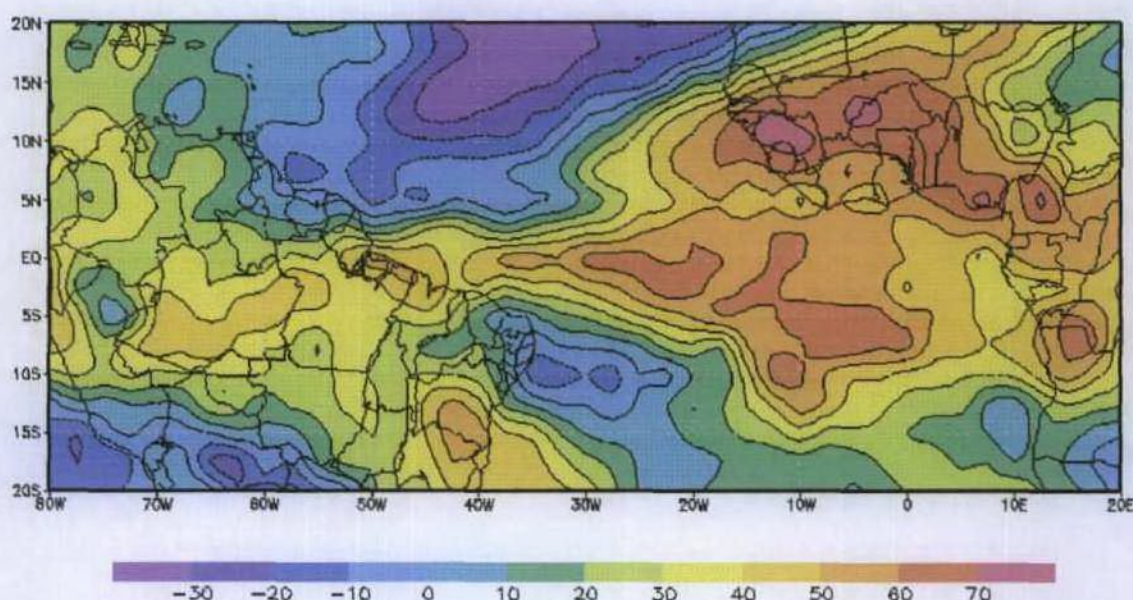


Figura 3. 38 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

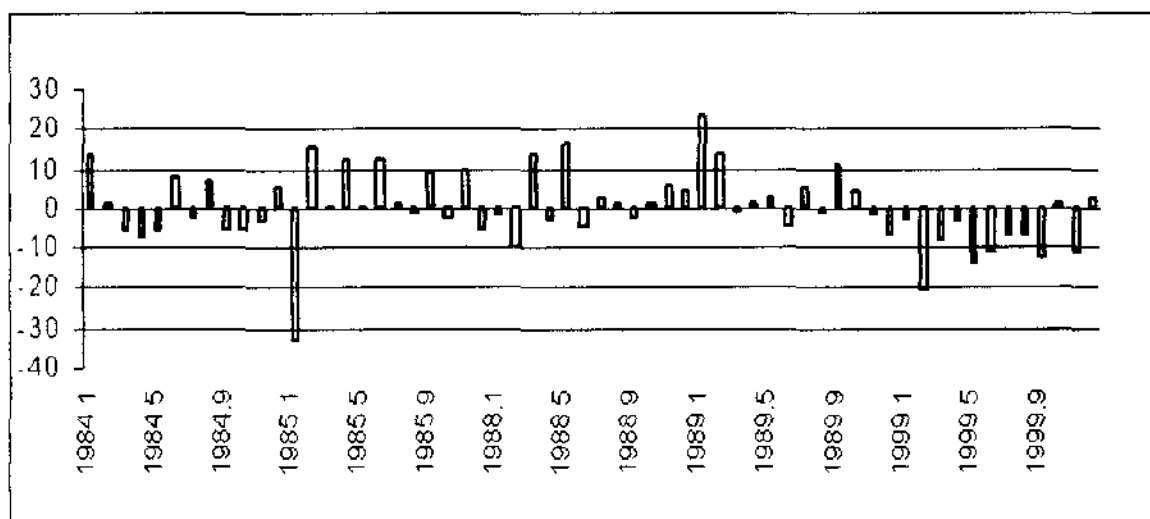


Figura 3. 39 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

3.2.1.2. Água Precipitável

3.2.1.2.1. Período de 1980-99

O campo dos loadings da primeira componente principal das anomalias mensais de água precipitável para o período de 1980-1999, mostrado na Figura 3.40, apresentou forte correlação na área média da ZCIT, com coeficientes de correlação percentual variando entre 50 a 80%, abrangendo desde a parte norte da América do Sul até o oeste do continente africano. A primeira componente para essa área apresentou anomalias positivas durante os anos de 1980, 1981, 1987, 1990, 1991, 1995, 1997 e 1998, como pode ser visto na Figura 3.41. Essa componente parece se identificar com os anos de El Niño, onde durante anos de ocorrência desse fenômeno para a América do Sul, a presença de maior concentração de vapor d'água na atmosfera e maior nebulosidade aparece nas proximidades da linha do Equador indo para o hemisfério Norte. Já, nas regiões mais ao sul da linha do Equador (Norte e Nordeste do Brasil), a concentração é baixa, o que resulta em períodos secos para essas regiões. Contudo, essa componente não apresentou forte correlação com nenhum dos índices aqui adotados.

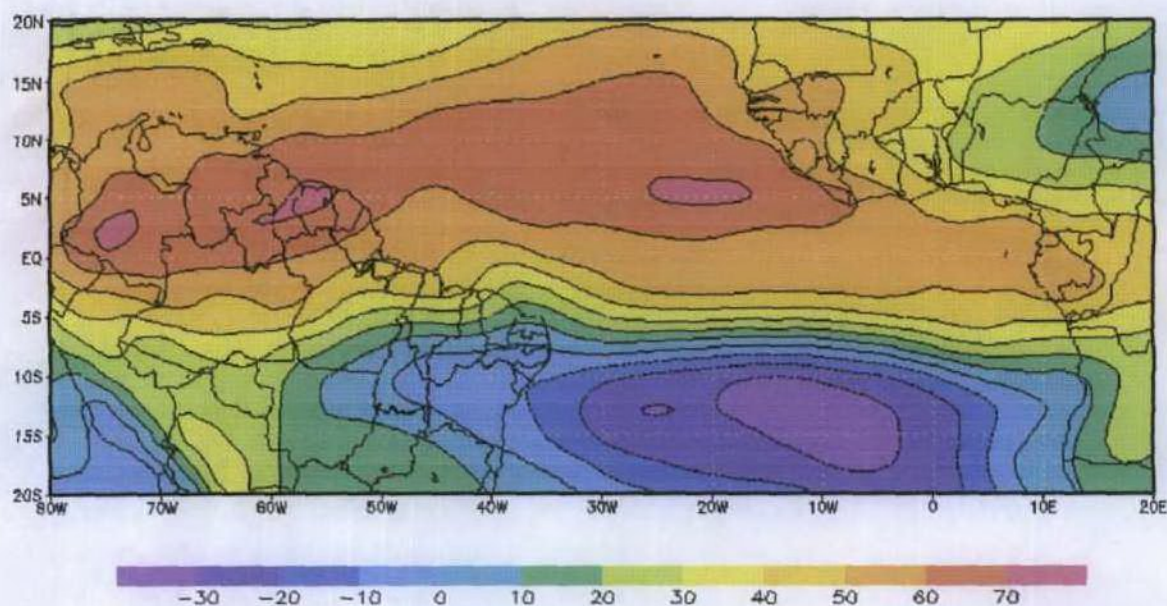


Figura 3. 40 – Loadings percentuais da primeira componente para os campos mensais de água precipitável, no período de 1980 a 1999.

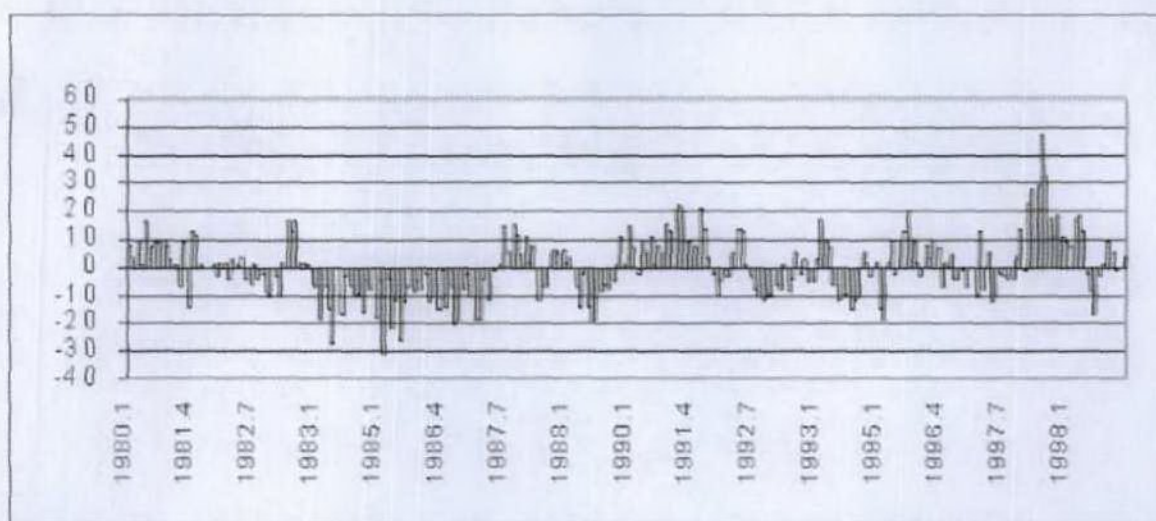


Figura 3. 41 – Primeira componente principal para o campo da água precipitável, no período de 1980 a 1999.

Observa-se, na Figura 3.42, que o campo dos loadings da segunda componente das anomalias mensais de água precipitável, para o período de 1980 a 1999, apresentou uma forte influência, cerca de -50 a -80% de correlação, sobre o centro leste do Pará, norte de Tocantins, todo Nordeste exceto a região sul da Bahia, sendo o coeficiente de correlação mais pronunciado observado sobre a Costa do NEB desde o sul de Alagoas até o Maranhão e estendendo-se zonalmente sobre o Atlântico Tropical Sul, sugerindo uma possível influência dessa componente com os anos de El Niño. A segunda

componente (Figura 3.43) associada ao referido campo dos loadings, explicou cerca de 13% da variância total do campo de água precipitável. Pode-se observar que os anos de 1981, 1982, 1983, 1992, 1993, 1997 e 1998 foram mais críticos para os estados de Maranhão, Piauí, Ceará e Natal, com anomalias negativas de água precipitável, onde esses estados sofreram reduções dos totais anuais de precipitação durante esses anos, principalmente para os estados situados na Costa Norte do Nordeste. Já, durante os anos de 1984 a 1991; 1994 a 1995, as anomalias de água precipitável foram positivas, com totais anuais de precipitação acima ou próximos da normal climatológica.

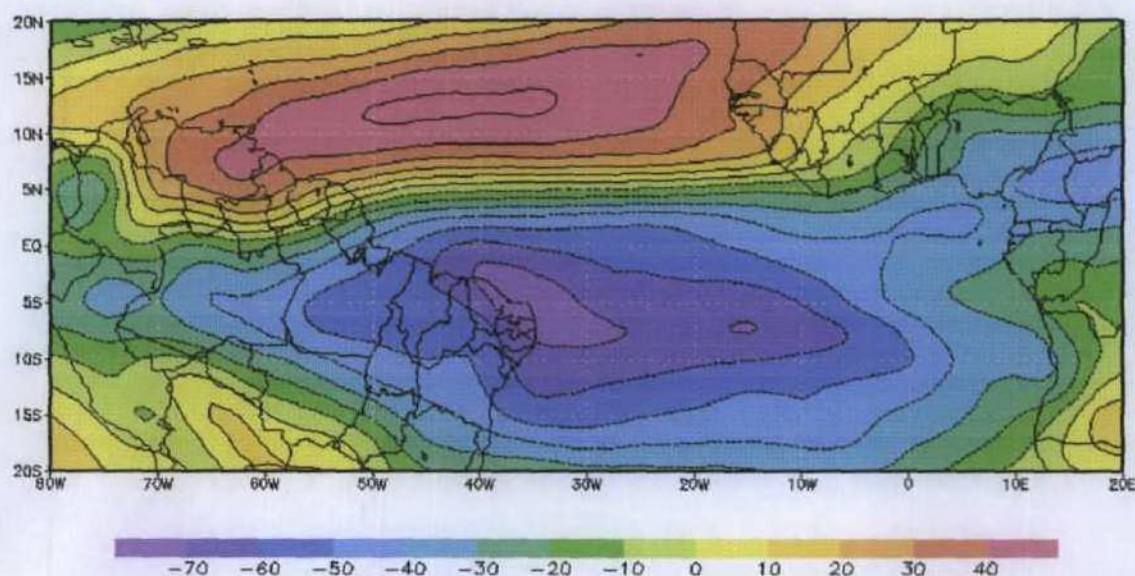


Figura 3. 42 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo da água precipitável para o período de janeiro/1980 a dezembro/1999.

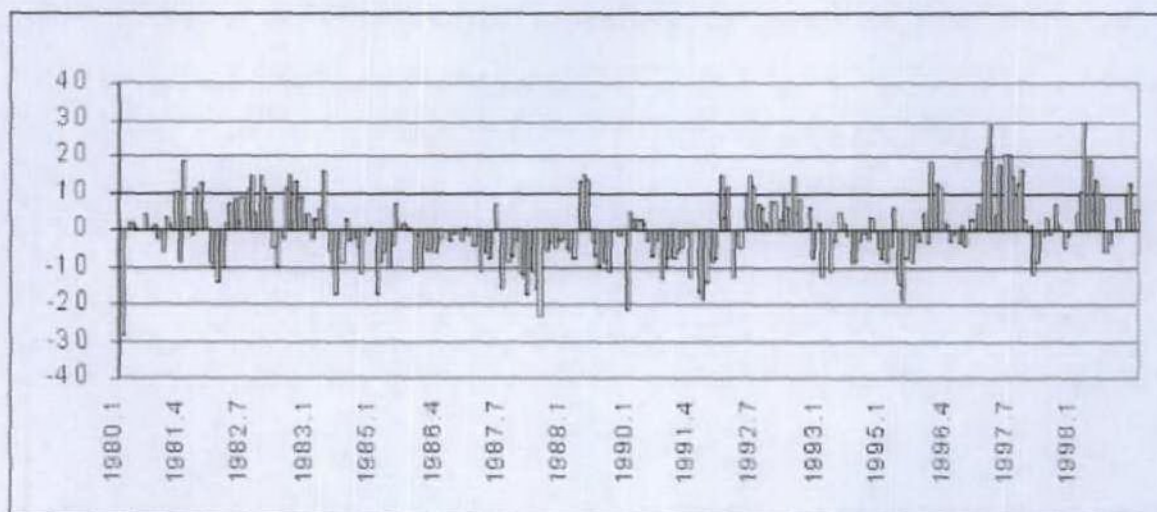


Figura 3. 43 – Segunda Componente Principal para o campo da água precipitável no período de 1980 a 1999.

3.2.1.2.2. Período de El Niño

Nos anos de 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998 que são anos de El Niño, a primeira componente principal para as anomalias de água precipitável apresentou um coeficiente de correlação de -50% com o índice TNI, mostrando que essa componente responde a temperatura da superfície do mar. Na Figura 3.44, os loadings da primeira componente nos anos de El Niño apresentaram valores entre -50 a -90%, sobre o norte da América do Sul, indicando forte influência desse fenômeno. No Brasil, isso atinge quase toda Amazônia e norte do Pará, Roraima, norte do Maranhão, Piauí e o noroeste do Ceará.

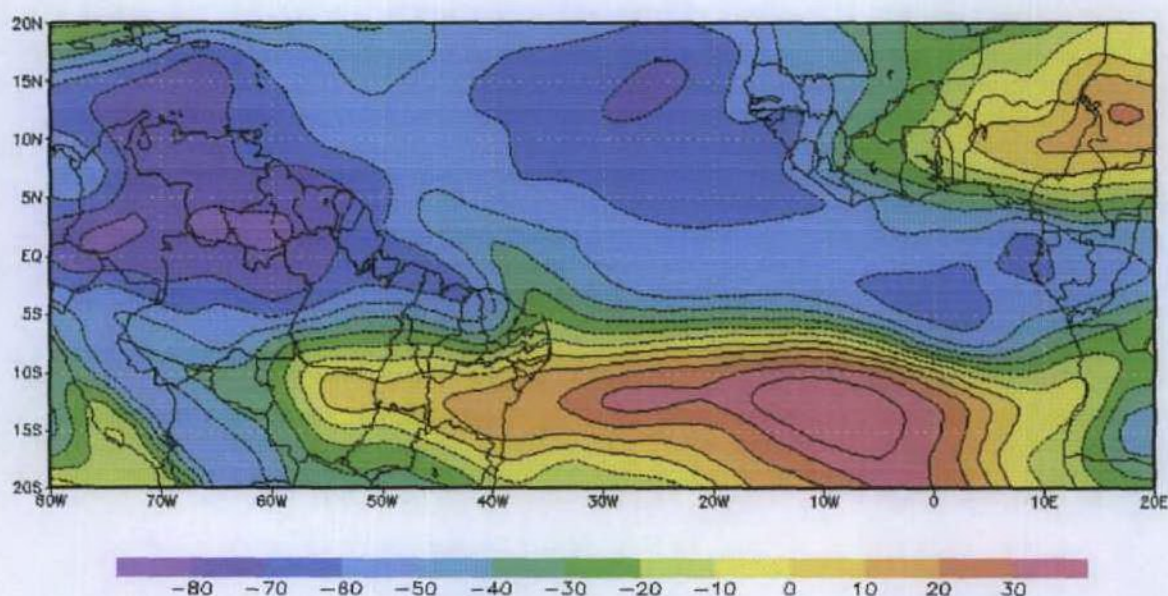


Figura 3. 44 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo da água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

Nessa área, no período de janeiro de 1986 a maio de 1987, as anomalias de água precipitável estiveram muito abaixo da média dos seis anos de El Niño pré-selecionados, conforme mostrado na Figura 3.45, com anomalias positivas nos anos de 1987 e 1998. Existe outra região, compreendida entre o Atlântico Tropical Sul e sul da Bahia, que possivelmente, está relacionada à presença de maior nebulosidade em anos de El Niño e conseqüentes precipitações sobre a região, principalmente sobre a porção oceânica, onde durante os eventos de El Niño a maior concentração de vapor d'água encontra-se sobre o Oceano.

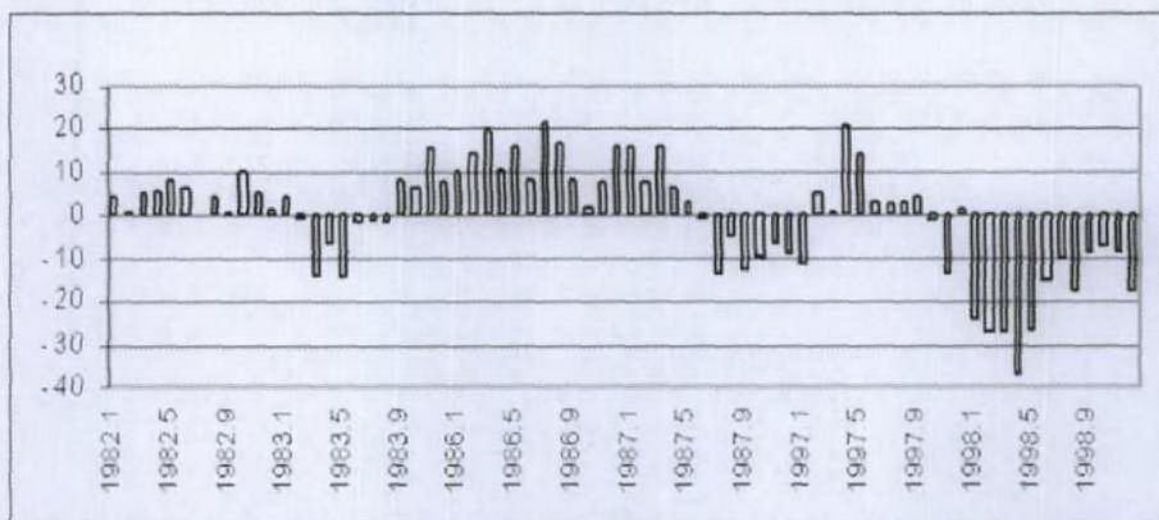


Figura 3. 45 – Primeira Componente Principal para o campo da água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

O campo dos loadings da segunda componente principal de anomalias de água precipitável, mostrado na Figura 3.46, apresentou uma região com valores entre 50 a 70% que atingiu toda Costa Norte e Leste do Nordeste do Brasil. Para essa região, a Figura 3.47 indica que o El Niño de 1986–87 apresentou anomalias positivas de água precipitável, ou seja, o campo de água precipitável esteve acima da média dos seis anos de El Niño selecionados.

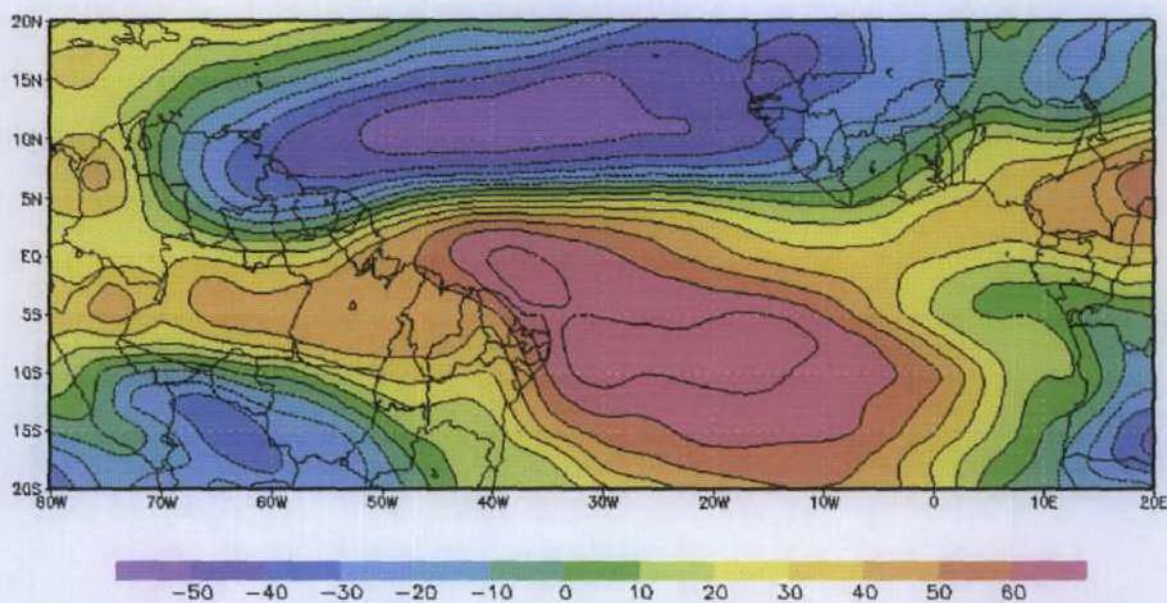


Figura 3. 46 – Loadings da percentuais segunda componente principal para o campo de água precipitável dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998.

O ano de 1997 foi o mais intenso dos seis anos de El Niños para o Nordeste, exceto no sul da Bahia. Na faixa entre $5^{\circ}N-20^{\circ}S$, que vai do norte da América do Sul ao oeste do Continente africano, a área com coeficiente de correlação entre -40% a -60%, apresentou em 1997 anomalias positivas, já no El Niño de 1986-87 as anomalias foram negativas.

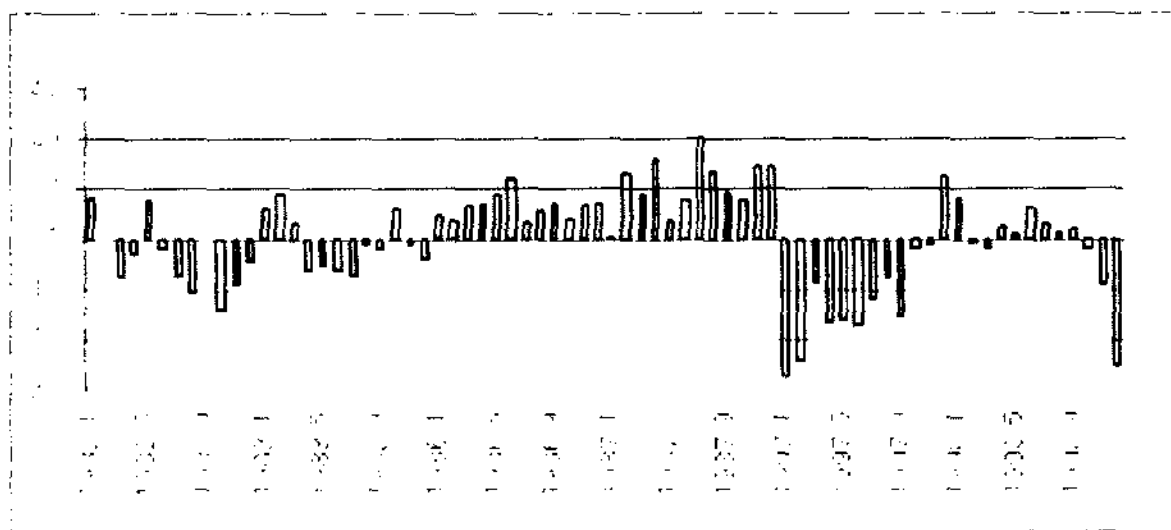


Figura 3.47 – Segunda componente principal para o campo de OLR dos anos de El Niño: 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998

3.2.1.2.3. Período de La Niña

Os loadings da primeira componente para os campos das anomalias mensais de água precipitável nos anos de La Niña (1984, 1985, 1988, 1989 e 1999) são mostrados na Figura 3.48, onde se pode verificar duas áreas sobre o continente africano com correlações percentuais entre 50 a 70%, as quais se interligam com o norte da América do Sul. Essas regiões estão sob influência da ZCIT e de suas posições extremas sobre a África e América do Sul em anos de La Niña, como os anos de 1988 e 1999 (Figura 3.49) onde a convecção foi intensa sobre essas regiões. Os anos de 1984 e 1985 apresentaram anomalias negativas, mostrando que, para essa região, esses anos de La Niña poderiam ser considerados como anos normais, com valores de água precipitável ligeiramente acima ou próximo da média.

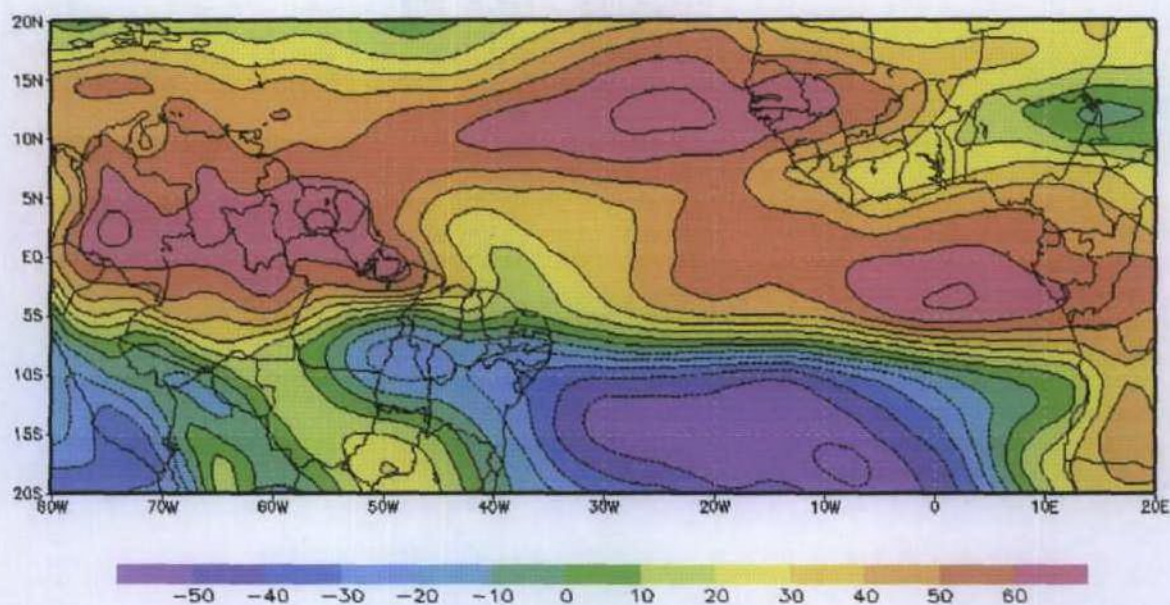


Figura 3. 48 – Loadings percentuais da primeira componente para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

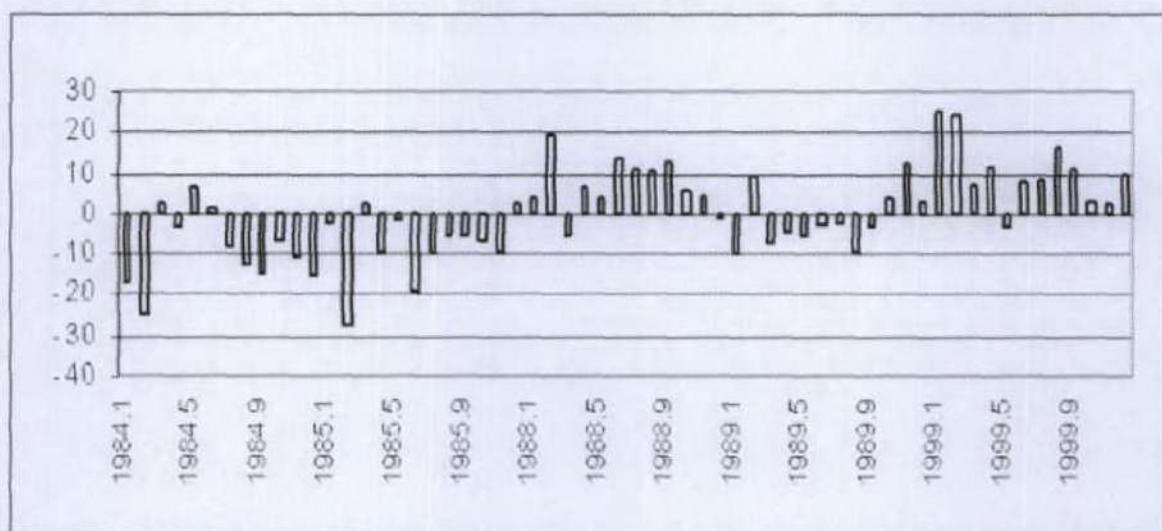


Figura 3. 49 – Primeira componente principal para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

Na Figura 3.50, o campo dos loadings da segunda componente principal das anomalias de água precipitável, para os anos de 1984, 1985, 1988 e 1989 com ocorrência do evento La Niña, mostra uma área que se origina no oeste do continente africano e estende-se por todo o NEB, com maior intensidade na costa até o leste do Pará, Tocantins, nordeste de Minas Gerais e Mato Grosso. Na porção africana dessa região, ocorrem frequentes perturbações, devido à intensa convecção, que surgem durante os eventos de La Niña, as quais produzem grande nebulosidade (umidade) que são transportadas pelos ventos alísios. Ao

convergirem na costa do Nordeste, produzem elevados totais pluviométricos e desses anos os mais pronunciados foram 1984 e 1988 (Figura 3.51).

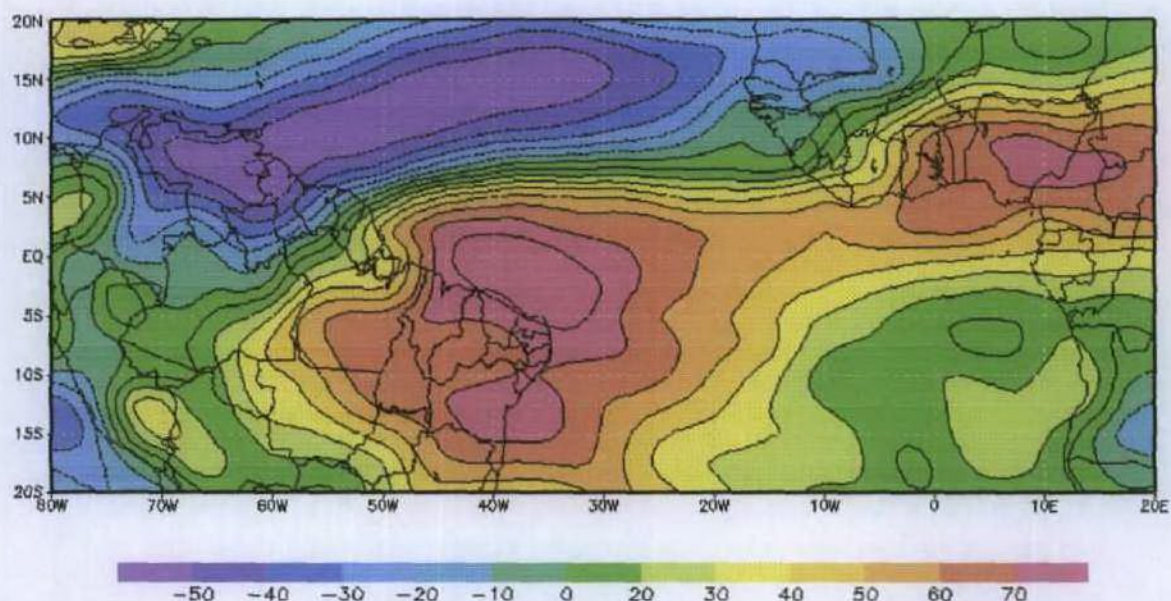


Figura 3. 50 – Loadings percentuais da segunda componente para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

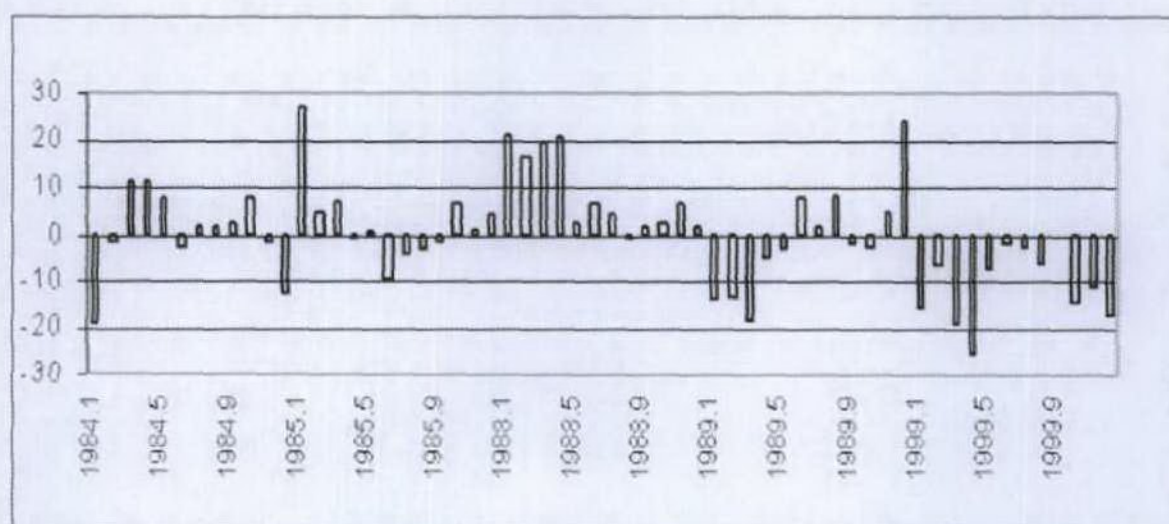


Figura 3. 51 – Segunda componente principal para o campo de água precipitável, dos anos de La Niña: 1984, 1985, 1988, 1989 e 1999.

A segunda componente apresentou boas correlações com os índices MEI, Niña 4, PDO, NAO e TNI, sendo seus valores 0,6; 0,5; 0,5; -0,5 e 0,5, respectivamente. Isso sugere que essa componente sofre influência das variáveis meteorológicas que esses índices

representam tais como, componentes zonal e meridional do vento, temperatura da superfície do mar, pressão ao nível médio do mar, dentre outras

3.2.2. Dados de Estação

As duas primeiras componentes principais para precipitação das sete estações de superfície de SPV explicaram 62,24% da variância total, sendo que a primeira componente foi responsável por cerca de 44,72% e a segunda 17,52%. Seus autovalores foram aproximadamente 3,13 e 1,23, respectivamente. A primeira componente principal das anomalias de precipitação para Costa Leste do Nordeste, mostrada na Figura 3.52, explicou aproximadamente 45% da variância total das sete estações. Observa-se que os loadings para essa componente, mostrados na coluna "loadings-01" da Tabela 3.3, basicamente são bastante representativos para a parte norte da Costa Leste do Nordeste, com valores entre 60-90%, de Salvador (BA) até Natal (RN). A parte sul da Bahia parece sofrer influências de outros tipos de sistemas diferentes dos observados no setor norte. No norte da Costa Leste do Nordeste, a cidade de Maceió (AL) foi a que melhor se identificou com a primeira componente, com um coeficiente de correlação de aproximadamente 90%.

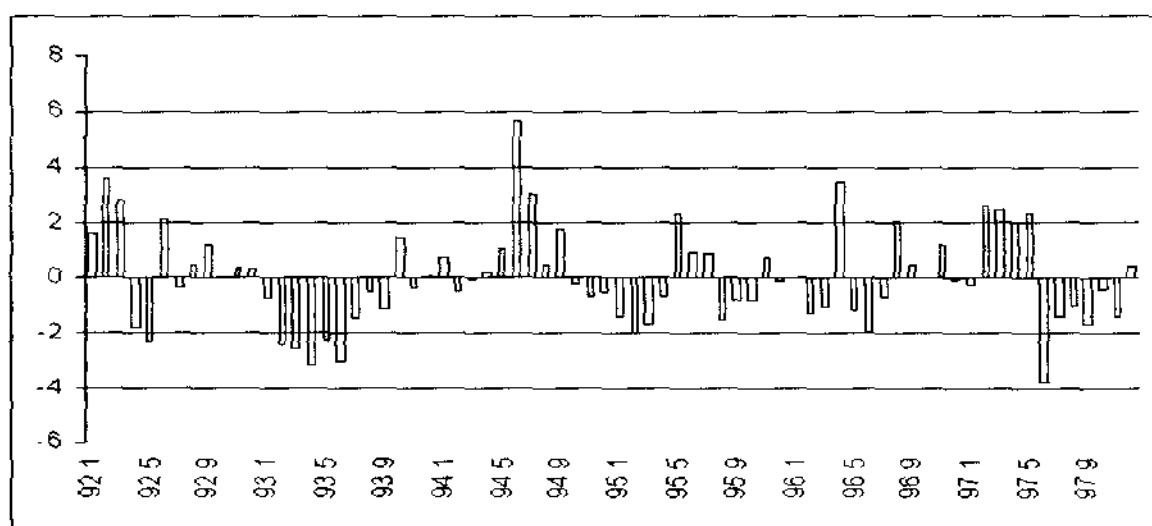


Figura 3. 52 – Primeira componente das anomalias mensais de precipitação das sete estações de aeroportos no período de 1992 a 1997.

A segunda componente, que pode ser vista na Figura 3.53, apresentou uma explicação da variância total de aproximadamente 18%, mostrando uma característica

contrária a observada na primeira componente. Essa componente representou melhor o sul da Bahia, com a cidade de Caravelas, que mostrou melhor coeficiente percentual de correlação, cerca de 80%. Pode-se observar na coluna “loadings-02” da Tabela 3.3 que, em média, o coeficiente de correlação cresceu em módulo, do norte para o sul do Nordeste, sendo esse um aspecto inverso ao observado na coluna “loadings-01”. Tentou-se correlacionar essas duas componentes com os parâmetros meteorológicos listados na Tabela 2.2 não se obtendo bons resultados, pois as componentes não se mostraram sensíveis aos parâmetros meteorológicos utilizados.

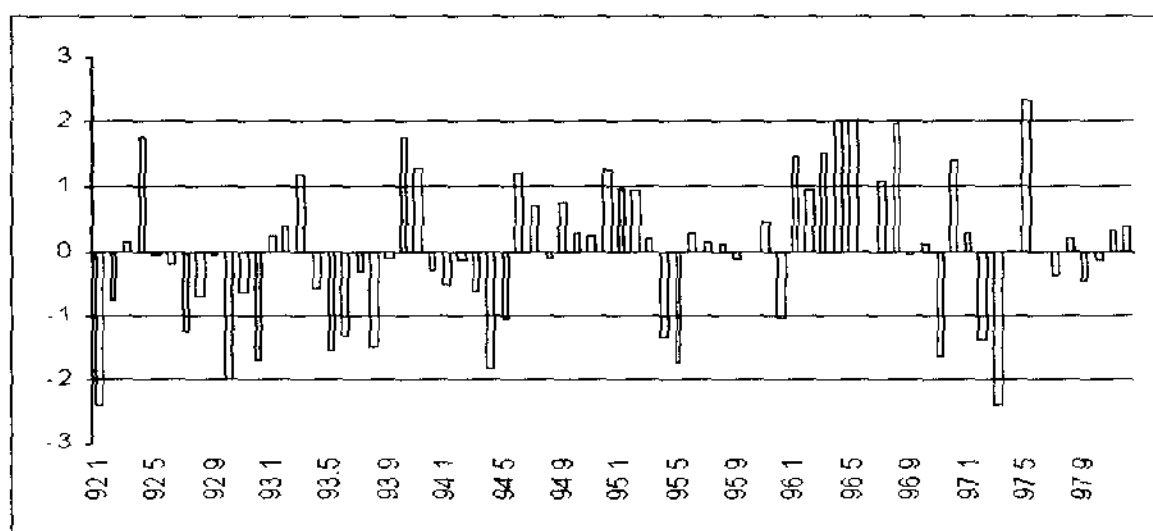


Figura 3. 53 – Segunda componente das anomalias de precipitação das sete estações de aeroportos no período de 1992 a 1997

Analisando simultaneamente a Figura 3.53 e a Tabela 3.3, verifica-se que a segunda componente principal das anomalias mensais de precipitação das estações do SPV representam muito bem a parte sul da Bahia, onde na Tabela 3.3 (coluna Loading-02), os coeficientes de correlação para a cidade de Ilhéus e Caravelas tiveram valores entre -50% e -80% aproximadamente. Pode-se verificar na Figura 3.53, que em anos de El Niño, essas duas cidades apresentaram, em média, anomalias positivas de precipitação (1993, 1997) e anomalias negativas em anos de La Niña (1995-1996). Deve-se observar que os loading da segunda componente crescem em módulo à medida que se desloca para o sul do Nordeste, mostrando que as regiões mais ao sul, em anos de El Niño, apresentaram anomalias positivas de precipitação.

Tabela 3.3 – Loadings da primeira e segunda componentes para a precipitação para os dados de estação

Cidade	Loadings-01	Loadings-02
Natal	0,786477	0,133741
Recife	0,778057	0,119915
Maceió	0,874393	0,246497
Aracaju	0,688362	0,368763
Salvador	0,595322	-0,326817
Ilhéus	0,491164	-0,539697
Caravelas	0,268947	-0,774211

3.3. Comparação entre Totais de Precipitação Observados e os Estimados Pelas Reanálises

Os resultados da comparação entre totais de precipitação observados e os estimados pelas reanálises mostraram que, de maneira geral, existe uma boa concordância dos dados observados com os dados dos pontos de grade da reanálise, para algumas localidades do litoral do Nordeste do Brasil. Pode-se observar, na Figura. 3.54(a-g), que os dados de reanálise, em geral, tendem a subestimar os altos (picos) e superestimar os mínimos dos totais de chuva observados. A Tabela 3.4 mostra os coeficientes de correlação entre as séries de precipitações mensais de estação e os dados obtidos de reanálises. Observar que dos valores de correlação obtidos sem nenhum tratamento, o de valor mais elevado foi verificado para estação de Caravelas com aproximadamente 64% (ver coluna Integral) seguida por Salvador (63%), Recife (59%), Natal (48%), Maceió e Ilhéus (42%) e Aracaju (40%). Os coeficientes de correlação tiveram um nível de significância de 95% (PANOFSKY e BRIER, 1968). Procurou-se verificar, para cada estação, se as anomalias mensais, normalizadas pelo desvio-padrão do mês correspondente, reproduziam melhor os dados observados. Mas o que ocorreu foi exatamente o contrário. Os coeficientes de correlação para anomalias normalizadas foram inferiores aos obtidos para os valores não normalizados, conforme pode ser visto na Tabela 3.4, coluna intitulada Normalizada

Tabela 3. 4 - Correlações entre os dados mensais de precipitação de estações e os dados obtidos de reanálises

Cidade	Correlação	
	Integral	Normalizada
Natal	0,480	0,252
Recife	0,592	0,398
Maceió	0,416	0,355
Aracaju	0,399	0,163
Salvador	0,627	0,412
Ilhéus	0,416	0,437
Caravelas	0,641	0,552

Ao se calcular os afastamentos zonal, meridional e resultante e procurar estabelecer alguma relação entre os coeficientes de correlação e os afastamentos, observou-se que o afastamento meridional foi o único que apresentou uma relação melhor, pois quanto maior (positivo) fosse o afastamento da estação para norte do ponto de grade, menor o coeficiente de correlação e vice-versa (Figura 3.55). E quando o ponto de estação encontrou-se ao sul do ponto de grade mais próximo (afastamento negativo), ocorreu o inverso, ou seja, quanto menor o valor do afastamento em módulo, menor o coeficiente de correlação e vice-versa.

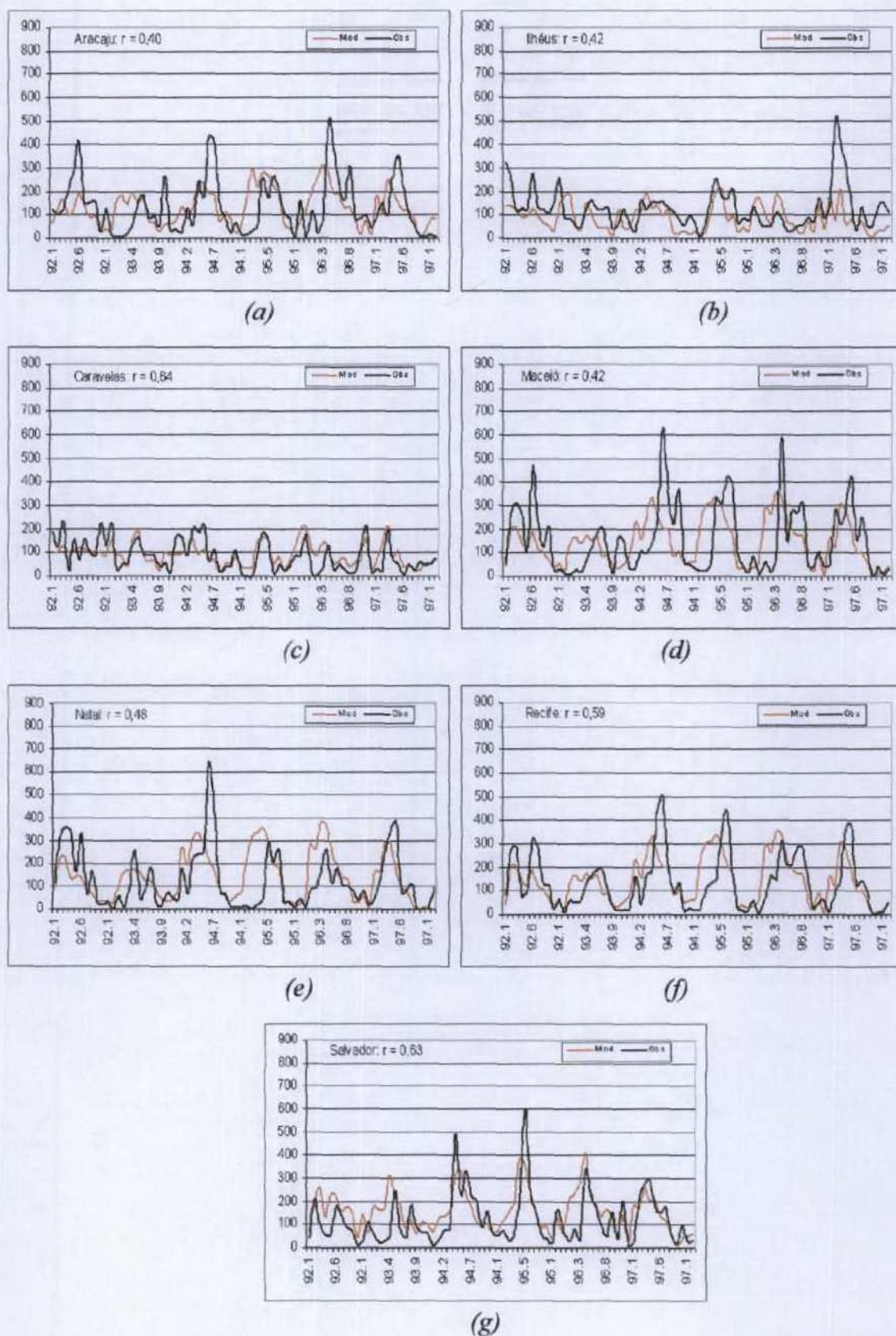


Figura 3. 54 – Precipitação (mm/mes) das sete estações pluviométricas de superfície (linhas pretas) comparados com os dados de reanálise (linhas vermelhas) interpolados para a posição geográfica do pluviômetro.

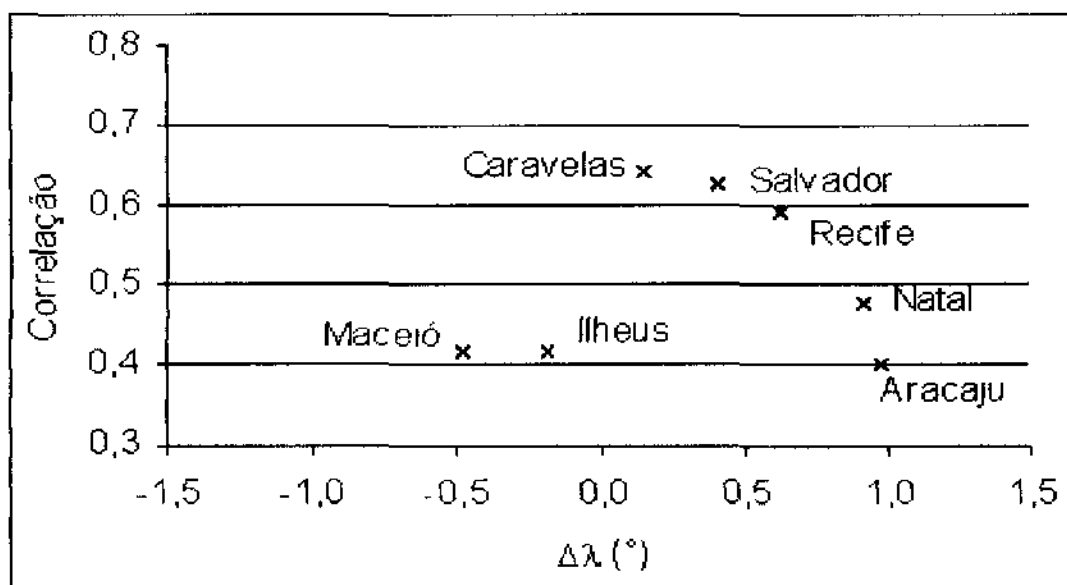


Figura 3. 55 – Correlações dos dados de superfície com dados de reanálise em função do deslocamento norte-sul. O valor de deslocamento positivo (negativo) significa que a estação de observação está ao norte (sul) do ponto de grade considerado

Foi notória a diferença de fase no ciclo anual entre os dados observados e os de reanálise, com estes últimos liderando em mais de um mês em alguns casos. Por exemplo, na Figura 3.55d, para Maceió, os dados de reanálise (máximo em abril) lideraram em até três meses os observados (máximo em junho) em 1993. Isso implica em erro na distribuição temporal das chuvas naquele ano e erros nas análises dos balanços de energia da troposfera, ou seja, erros nos processos dinâmicos e termodinâmicos dos sistemas atmosféricos produtores dessas chuvas. Por exemplo, o mês mais chuvoso da reanálise, em princípio, estaria associado ao de máxima convergência de umidade, que teria ocorrido três meses antes da convergência máxima observada.

4. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

A partir do método da análise harmônica, pode-se verificar que a porção norte do Nordeste do Brasil parece se conectar ao sul do continente africano através da região de perturbações nos Alísios, sugerindo estar relacionada às perturbações na parte oeste da África. As perturbações, produzidas sobre o continente africano, deslocam-se para o oeste sobre o oceano e, ao convergirem na Costa do NEB, produzem grandes totais pluviométricos.

As amplitudes dos primeiros harmônicos para os campos de OLR dos anos de El Niño apresentaram menor variabilidade desde a região litorânea até a parte central do Maranhão. A região centro-oeste do Brasil e parte do Sul do Pará não apresentaram grandes amplitudes em sua variabilidade. A região Amazônica, sobre a parte sul e central sofreu um aumento na variabilidade espacial, resultando uma sensível redução nos totais de precipitação dessa região. Já, a parte sul da Costa Oeste da África apresentou uma intensificação mostrando que, durante anos de El Niño, a variabilidade no campo de OLR é crescente nessa região, devido à redução de movimentos ascendentes.

Sobre o Brasil, o primeiro harmônico dos anos de El Niño mostrou uma perda de 10% na explicação da variância total próximo à costa Norte do Nordeste, sobre os estados de Maranhão e nordeste do Pará. Por outro lado, observou-se um aumento de 10% na parte leste do Piauí, sul da Amazônia, porção litorânea da Bahia, todo estado de Sergipe e parte sul e leste de Alagoas.

Durante os anos de La Niña, não se observou sensível variabilidade no campo de OLR. Somente na parte norte da América do Sul e sobre o Oceano Atlântico, a fase

de máxima variabilidade ocorreu no período de fevereiro a maio ($6,5-20^{\circ}N$), enquanto nas regiões costeiras do Norte e Nordeste do Brasil ($0-10^{\circ}S$), bem como sobre o oceano ($20-25^{\circ}S$) a fase de máxima variabilidade ocorreu entre os meses de julho a outubro. As regiões, que sofreram um aumento substancial na explicação da variância total sobre a América do Sul, foram os estados do Pará, Maranhão, Piauí e Ceará, bem como a região oceânica na costa norte do Nordeste.

Ao se analisar a amplitude média dos primeiros harmônicos para os campos mensais de precipitação para o período 1980-1999, notaram-se dois grandes centros de variabilidade um sobre o Centro-Oeste do Nordeste do Brasil estendendo-se sobre a Costa Norte e Leste do NEB, com amplitudes de variabilidade 100-240mm. Sobre a América do Sul, pôde-se observar uma extensa área de máximas amplitudes médias dos primeiros harmônicos para o campo de precipitação, a saber, parte central da América do Sul durante os meses de novembro a fevereiro; Costa Norte do Nordeste do Brasil entre dezembro e abril; Costa Leste do Nordeste de abril a maio e na Costa da África no período entre julho e setembro. O período de dezembro a janeiro apresentou bastante pronunciado para grande parte da América do Sul, mostrando uma concordância com a climatologia local, principalmente nas regiões oeste do sul da Bahia, nordeste de Minas Gerais estendendo-se até o leste do Brasil. Pode-se, ainda, observar uma faixa de 70-90% de explicação da variância total no sentido sudoeste-nordeste, com um centro sobre o Mato Grosso do Sul estendendo-se até a Costa Norte do Nordeste do Brasil, mostrando que essa faixa é bem caracterizada pelo primeiro harmônico e que suas fases devem se aproximar da climatologia Local. Para os anos de El Niño, o campo das amplitudes se assemelhou à Amplitude média dos 20 anos, com uma variação de 20 a 240 mm, sugerindo que a semi-aridez seja característica da região. Notou-se, também, uma redução na variância total explicada em aproximadamente 10% na Costa Norte do Nordeste sobre as regiões do Piauí e a parte oeste do Ceará, enquanto um aumento foi observado na parte oceânica junto à costa sul da Bahia ($\approx 10\%$), mostrando que essas regiões sofrem influências direta dos El Niño.

Na Costa do Nordeste, a baixa variabilidade no campo de água precipitável, deve-se à convergência de brisa marinha e aos ventos Alísios de Nordeste e Sudeste nessa região. Observou-se que, no litoral da Bahia e sul de Sergipe, existe uma extensa região de baixa variabilidade associada a região da ZCAS. Nos anos de El Niño, notou-se um aumento na variabilidade no campo das amplitudes do primeiro harmônico da

água precipitável junto à costa do Ceará e sobre o hemisfério Norte no lado oeste do continente africano.

Nos La Niña, a média do primeiro harmônico para água precipitável mostrou diferenças com relação à média dos vinte anos. Ocorreram expansões nas áreas de maior variabilidade sobre Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e no continente africano por volta da mesma faixa de latitude.

Os loadings da primeira componente principal para os campos de anomalias mensais de OLR apresentaram os maiores valores positivos de correlação, entre 40 e 50%, sobre o norte da América do Sul e Oceano Atlântico Tropical Norte. Verificou-se, ainda, a existência de um dipolo no campo dos loadings no sentido norte-sul, que deve ser caracterizado pelo movimento aparente do sol no ciclo anual. A segunda componente principal do campo de OLR mostrou maior sensibilidade ao índice MEI, definindo um coeficiente de correlação de 50%, indicando que essa componente é influenciada pela pressão ao nível médio do mar, componentes meridional e zonal do vento à superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar, total de nebulosidade por fração de céu. Os loadings da primeira componente principal para os anos de El Niño, mostrou-se bem representativo para o Norte e Nordeste do Brasil, Oceano Atlântico Tropical em torno da Linha do Equador e o oeste do continente africano em torno dessa mesma linha, com coeficiente de correlação entre -50 a -90%.

Através dos loadings da segunda componente principal para os anos de El Niño, verificou-se uma forte influência desse fenômeno no norte da América do Sul e sobre a região próxima a $2,5^{\circ}N$ e $20^{\circ}N$, com coeficiente percentual de correlação entre 50 a 70%. As anomalias de OLR, para essa região estiveram acima da média dos seis anos de El Niños selecionados para os anos de 1986, 1997 e 1998, o que os caracterizou como anos mais secos. Já, na porção ocidental do continente africano e estendendo-se através do Oceano Atlântico Tropical até a Costa Norte do Nordeste Brasileiro, percebeu-se uma região com loadings entre -30 a -60%, onde a segunda componente esteve mais fortemente relacionada às regiões oceânicas e continentais próximo ao norte do Nordeste do Brasil e sobre o continente africano. Nos anos de 1986, 1997 e 1998 as anomalias de OLR foram negativas, ou seja, as perdas de OLR foram maiores para esses anos. Essa componente apresentou coeficiente de correlação com TNI de 50%, sugerindo que segunda componente das anomalias mensais do campo de OLR esteja relacionada com a temperatura da superfície do mar dos Niño 1+2 e Niño 4, já que esse índice é dado pela diferença de anomalias normalizadas de TSM nessas regiões.

O campo dos loadings da primeira componente principal das anomalias mensais de água precipitável para o período de 1980-1999, mostrou forte correlação na região média da ZCIT, com coeficientes de correlação percentual variando entre 50 a 80%, abrangendo desde a parte norte da América do Sul até o oeste do continente africano. A primeira componente, para essa região apresentou anomalias positivas durante os anos de 1980, 1981, 1987, 1988, 1990, 1991, 1995, 1997 e 1998 caracterizando-os como anos mais secos. A segunda componente associada ao referido campo dos loadings, explicou cerca de 13% da variância total do campo das anomalias mensais de água precipitável.

Nos anos de El Niño, a primeira componente principal para as anomalias de água precipitável apresentou um coeficiente de correlação de -50% com o índice TNI. Os loadings da primeira componente para os anos de 1982, 1983, 1986, 1987, 1997 e 1998 apresentaram valores entre -50 a -90%, sobre o norte da América do Sul, indicando forte influência do El Niño. No Brasil, o fenômeno atingiu quase toda Amazônia e norte do Pará, Roraima, norte do Maranhão, Piauí e o noroeste do Ceará. Para segunda componente, o campo dos loadings apresentou uma região com valores entre 50 a 70% que atinge toda Costa Norte e Leste do Nordeste do Brasil. Para essa região, o El Niño de 1986-87 apresentou anomalias positivas da água precipitável, ou seja, o campo de água precipitável estava acima da média dos seis anos dos El Niños selecionados.

Nos loadings da primeira componente para os campos das anomalias mensais de água precipitável para os anos de La Niña, encontraram-se duas regiões sobre o continente africano com correlações percentuais entre 50 a 70%, as quais se interligam com o norte da América do Sul. Os loadings da segunda componente para os anos de 1984, 1985, 1988 e 1989 com ocorrência de totais pluviométricos acima da média, exibiram uma região que se origina no oeste do continente africano e estende-se para todo o NEB, com maior intensidade na costa, atingindo também o leste do Pará, Tocantins, nordeste de Minas Gerais e Mato Grosso.

A primeira componente principal das anomalias de precipitação, para Costa Leste do Nordeste, explicou cerca de 45% da variância total das sete estações. Os loadings para essa componente variaram entre 60-90%, sendo bastante representativo para a parte norte da Costa Leste do Nordeste, de Salvador (BA) até Natal (RN). A parte sul da Bahia pareceu sofrer influências de outros tipos de sistemas, diferentes dos observados no setor norte. A segunda componente apresentou uma explicação da variância total de aproximadamente 18%, mostrando uma característica contrária da

observada na primeira componente. Essa componente representou melhor o sul da Bahia, com a cidade de Caravelas, tendo o melhor coeficiente percentual de correlação, cerca de 80%. Constatou-se que o coeficiente de correlação cresceu, em módulo, do norte para o sul do Nordeste, indicando que essa componente representou melhor à parte sul da Bahia.

Os resultados da análise comparativa entre os dados de reanálise da precipitação do NCEP e os dados observados em sete estações pluviométricas do litoral do Nordeste do Brasil indicaram que, de maneira geral, existe uma boa concordância entre as duas séries temporais. O coeficiente de correlação máximo entre as séries observada e estimada pela reanálise foi igual a 64% para a estação de Caravelas (BA). Na maioria das sete estações pluviométricas estudadas, os dados de reanálise subestimaram os máximos totais mensais e introduziram um deslocamento de fase do mês mais chuvoso no ciclo anual, com este antecedendo de até três meses o máximo observado. À primeira vista, os dados de reanálise tenderam a subestimar os totais mensais durante os eventos La Niña enquanto superestimaram os máximos reduzidos que ocorreram durante os eventos El Niño e anos de secas. A subestimativa da reanálise, em princípio, seria aceitável, pois a distância entre os pontos de grade é de $2,5^\circ$ (cerca de 280 km) e as observações são pontuais, com um gradiente de precipitação, do litoral para o interior do continente, muito grande, ou seja, o total pluviométrico no ponto de grade seria uma média em área ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$). Porém, a mudança de fase não teria explicação física. Portanto, existe a necessidade de se averiguar cuidadosamente quais as implicações do adiantamento da fase no ciclo anual dos dados de reanálise na fenomenologia produtora de chuva na Região e quais as consequências para os modelos de previsão de tempo e de clima

5. SUGESTÕES

Investigar quais as implicações do adiantamento da fase no ciclo anual dos dados de reanálise na fenomenologia produtora de chuva do NEB;

Averiguar quais as consequências desse adiantamento para os modelos de previsão de tempo e de clima.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. As chuvas na Bacia Amazônica e a temperatura dos oceanos adjacentes. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, VIII, 1994, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte: SBMet, 1994. p. 114-118, v. 2.

ALVES, J. M.B.; SOUZA, E. B. de.; REPELLI, C. A.; VITORINO, M.I.; FERREIRA, N. S. Episódios de La Niña na Bacia do Oceano Pacífico Equatorial e distribuição zonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n.1, p. 63-76, 1997b

ALVES, J. M.B.; SOUZA, E. B. de.; REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S. Um estudo da variabilidade pluviométrica no setor Leste do Nordeste brasileiro e a influência do fenômeno El Niño/Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n.2, p. 25-39, 1997a.

ALVES, J.M.B. Aspectos relevantes no período de estiagem da quadra chuvosa do norte do Nordeste para o ano de 1987. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, V, 1988, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBMET, 1988. p. 28-32.

ARAGÃO, J.O.R. A previsão da precipitação no norte do Nordeste do Brasil para o período chuvoso de fevereiro a maio: os anos 1997/98. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X, 1998, Brasília. *Anais...* Brasília: SBMET, 1998. 1 CDROM.

ARFKEN, G. **Mathematical Methods for Physicists**. 3. ed. Academic Press, 1985.

ARNDT, J.; HERZEL, H.; BOSE, S.; FALCKE, M.; SCHÖLL, E. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 8, n. 1, p. 1911-1920, 1997.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. 1. ed. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996.

BJERCKNES, J. A possible response of the atmospheric Hadley Circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. **Tellus**, v. 18, p. 820-829, 1966.

CARVALHO, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. São José dos Campos, 1989, 121 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE.

CEBALLOS, J. C. & BOTTINO, M. J. The discrimination of scenes by principal components analysis of multi-spectral imagery. **Int. J. Remote Sensing**, v. 18, n. 11, p. 2437-2449, 1997.

CHATFIELD, C., **The times-series analysis: an introduction**. 3. ed. London: Chapman and Hall, 1984.

CHAVES, R. R. & CAVALCANTI, I. F. A. Variabilidade da precipitação sobre o sul Nordeste Brasileiro (1979-1997) Parte I – Análise Espacial. In: Congresso de Meteorologia, XI, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CDROM.

COELHO, C. A. S.; AMBRIZZI, T. Determinação dos padrões de precipitação sobre a América do Sul em Associação à TSM da bacia do Pacífico Equatorial durante períodos extremos de ENOS através da utilização de técnicas estatísticas multivariadas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XI, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CDROM.

DOMINGUES, M. O. **Método de análise de séries temporais geofísicas: Aplicações no estudo das variações interdecadal do nível do mar no Atlântico Norte Extra-**

tropical. São José dos Campos, 1993, 98 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE.

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

FERREIRA, N. J.; CHAN, C. S.; SATYAMURTI, P. Análise dos distúrbios ondulatório de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, VI, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: SBMET, 1990, p. 462-466.

FUNG, T.; LeDREW, E. Application of Principal Components Analysis To Change Detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol. 53, n. 12, p. 1649-1658, 1987.

GRUNSKY, E.C. A program for computing RQ-mode principal components analysis for S-PLUS and R. **Computers & Geosciences**, v. 27, p. 229-235, 2001.

HASTENRATH, S. Climate and circulation of Tropics. Netherlands. D. Reidel Publishing Company. Kluwer Academic Norwell, 1985.

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

HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 2, n. 11, p. 1388-1403, 1989.

KANE, R.P. Rainfall characteristics in different parts of Northeast Brazil. **Rev. Bras. Geofísica**, v. 11, n. 1, p. 7-22, 1993.

KAYANO, M.T. Circulações tropicais e as anomalias de precipitação em dois anos de contraste. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, V, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1988, p.11-16

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. H. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to prediction anomalies with emphasis on the South America region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 351-362, 1989.

KOUSKY, V.E.; MOLION, L.C. Uma contribuição à climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia. **Ata Amazônica**, v. 15, n. 3-4, p. 311-320, 1985.

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

LIMA, M. C. de. **Variabilidade da precipitação no litoral Leste da Região Nordeste do Brasil**. São José dos Campos, 1991, 222 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)–INPE.

MARULLO, S.; SANTOLERI, R.; RIZZOL, P. M.; BERGAMASCO, A. The sea surface temperature field in the Eastern Mediterranean from advanced very high resolution radiometer AVHRR data Part II. Interannual variability. **Journal of Marine Systems**, 20, p. 83-112, 1999.

MEGLEN, R. R. Examining large databases: a chemometric approach using Principal Component Analysis. **Mar. Chem.**, v. 39, p. 217-237, 1992.

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis?. **Climanálise – Boletim de monitoramento e Análise Climática**, São José dos Campos, v. 5, n. 3, p. 40-42, INPE, 1990

MOLION, L. C. B. Efeito dos Vulcões no Clima. **Caderno de Geociência**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 13-23, 1994.

MOLION, L.C.B, BERNARDO, S.O. Dinâmicas das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XI, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CDROM

MOLION, L.C.B, BERNARDO, S.O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOURA, G. B. de A.; LACERDA, F. F.; ARAGÃO, J. O. R. de.; PASSAVANTE, J. Z. de O.; SOUZA, I. A. de.; LACERDA, F. R.; FERREIRA, M. A. F.; FERREIRA, F. F.; SILVA, C. V. Relação entre Temperatura da Superfície do Oceano Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico com Anomalias de Precipitação do Setor Leste do Nordeste do Brasil: Parte I. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XI, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 1999a. 1 CDROM.

_____. Relação entre Temperatura da Superfície do Oceano Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico com Anomalias de Precipitação do Setor Leste do Nordeste do Brasil: Parte II. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XI, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 1999b. 1 CDROM.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The Climatology of Droughts and Drought Prediction: The Effect of Climatic Variation on Agriculture. In: PARRY, M. P.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. Assessements in semi-arid regions. Netherlands. D. Reidel Pub. Co., v. 2, p. 305-323, 1987.

NOBRE P. On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the Tropical Atlantic basin. College Park, 1993, 151 F. Tese de Doutorado. University of Maryland.

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

OLIVEIRA, A. S. de **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia**. São José dos Campos, 1986, 115 F. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-INPE.

PANOFSKY, H.A. & BRIER, G.W. **Some Applications of Statistics to Meteorology**. University Park, PA: Pennsylvania State University Press, 1968

PEARSON, K. On lines and planes of closest fitto systems of points in space. **Phil. Mag.**, v. 6, p. 559-72, 1901.

PRESS, W.H.; TEUKOLSKY, S.A.; VETTERLING, W.T.; FLANNERY, B.P.,
Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing. 2. ed. Cambridge
University Press, 1992.

RAO, V B. de; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal Interannual variations of
rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal Climate**, v. 6, p. 1754-1763, 1993.

REIHL, H. **Waves in the easterlies and the polar front in the tropics.** Chicago
Univ., Dept of Meteorology, p. 1945-79 (misc. Rept. 17), 1945.

SANSIGOLO, C. A. Previsão das precipitações sazonais no Nordeste através das
componentes principais das temperaturas da superfície do Atlântico e Pacífico. In:
Congresso Brasileiro de Meteorologia, VI, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: SBMET,
1990, p. 243-247.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C.A. Influências dos Oceanos Pacífico e
Atlântico na estação chuvosa do semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de
Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 139-145, 1998.

SOUZA, I. F.; COSTA, O. A. Atuação da frente fria no estado de Sergipe. In:
Congresso Brasileiro de Meteorologia, VII, 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo
Horizonte: SBMET, 1994.

SOUZA, J.L.; AMORIM, R.F.C.; CARVALHO, S.M.R.; PEREIRA, J.O.; CURI, P.R.
Agrupamento de estações pluviométricas do estado de Alagoas, utilizando-se análise
multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 603-612, 1992.

SPINOZA, E. Distúrbios Ondulatórios de Leste na Região Tropical. **Climanálise
Especial: Edição Comemorativa de 10 Anos.** São José dos Campos, INPE, 235p. out.
1996

STRANG, D. M. G. D. **Análise Climatológica das normais pluviométricas do
Nordeste do Brasil.** São José dos Campos, CTA, 29p. 1972.

TEIXEIRA, L.; GIRARDI, **Oscilações do vento na estratosfera equatorial**. CTA/IAE. Relatório Técnico. São José dos Campos, SP. Agosto, adendo B, 1978.

UVO, C.R.B.; NOBRE, C A.; CITEAU, J. Análise da posição da Zona de Convergência Intertropical e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, V, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1988, v. III, p. 23-27.

UVO, C. R. B.; REPELLI, C. A; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The influence os Tropical Pacific and Atlântic SST monthy precipitation. **Journal of climate**, 1994.

WAGNER, R. G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the Tropical Atlantic. **J. Climate**, v. 9, p. 2010-2019, 1996

WILKS, S.S. **Mathematical Statistics**, John Wiley & Sons, Inc., p. 664, 1962.

XAVIER, T.M.B.S., XAVIER, A.F.S. Análise do papel das temperaturas oceânicas no Atlântico e Pacífico, e outras covariáveis nas chuvas do Ceará. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998. 1 CDROM.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 55, p. 205-207, 1977.

YU, T.; CHANG, L. W. Selection of scenarios pollution at southern Taiwan area utilizing principal component analysis. **Atmospheric Enviroment**, v. 34, p. 4499-4509, 2000.

7. APÊNDICE

A - Modificações quanto à disposição da entrada da matriz de dados

Usualmente a matriz de dados tem a disposição espaço (n) x tempo (m), ou seja, $X_{n \times m}$. Aqui se optou em utilizar a matriz de dados disposta na forma $X_{m \times n}$, onde $X_{n \times m} = (X_{m \times n})^T$, sobre essa ótica, muitas equações do capítulo 2 são modificadas. Assim, procurou-se reescrever algumas equações de forma a serem compatíveis com a nova disposição da matriz de dados ($X_{n \times m}$).

$X_{m \times n}$	$X_{n \times m}$
$D \equiv \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$	$D \equiv \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m}$
$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_i$ (2.10)	$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_i) / \sigma_i$ (7.1)
$R = \frac{1}{m} D^T \cdot D$ (2.11)	$R = \frac{1}{m} D \cdot D^T$ (7.2)
$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j)$ (2.12)	$d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_i)$ (7.3)
$Y \equiv D \cdot A$ (2.17)	$Y = A^T \cdot D$ (7.4)
$D_i \equiv \begin{bmatrix} d_{1i} \\ d_{2i} \\ \vdots \\ d_{mi} \end{bmatrix}$ e $A_i \equiv \begin{bmatrix} a_{1i} \\ a_{2i} \\ \vdots \\ a_{ni} \end{bmatrix}$	$D_i \equiv \begin{bmatrix} d_{1i} \\ d_{2i} \\ \vdots \\ d_{ni} \end{bmatrix}$ e $A_i \equiv [a_{1i} \quad a_{2i} \quad \dots \quad a_{mi}]$
$Y \equiv [a_{11}D_1 + a_{21}D_2 + \dots + a_{n1}D_n \quad a_{12}D_1 + a_{22}D_2 + \dots + a_{n2}D_n \quad \dots \quad a_{1m}D_1 + a_{2m}D_2 + \dots + a_{nm}D_n]$ (2.18)	$Y \equiv \begin{bmatrix} A_1 D_1 & A_1 D_2 & \dots & A_1 D_m \\ A_2 D_1 & A_2 D_2 & \dots & A_2 D_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_n D_1 & A_n D_2 & \dots & A_n D_m \end{bmatrix}$ (7.4)
$Y \equiv [Y_1 \quad Y_2 \quad \dots \quad Y_n]$ (2.19)	$Y \equiv \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$ (7.5)
$L \equiv A \cdot \Lambda^2$ (2.20)	$L \equiv \Lambda^{\frac{1}{2}} \cdot A^T$ (7.6)
$L \equiv [L_1 \quad L_2 \quad \dots \quad L_n]$ (2.21)	$L \equiv \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix}$ (7.7)

B - Estruturas das Tabelas

Tabela: Arquivos

Nome	Tipo	Tamanho
Nome_Arquivo	Texto	11

Tabela: Estações

Nome	Tipo	Tamanho
Índice	Numérico (Byte)	1
N_Sinot	Numérico (Longo)	4
Cidade	Texto	20

Tabela: Total

Nome	Tipo	Tamanho
N_SINOT	Numérico (Byte)	1
ANO	Numérico (Byte)	1
MES	Numérico (Byte)	1
DIA	Numérico (Byte)	1
HORA	Numérico (Byte)	1
VEL1	Numérico (Simples)	4
DIR1	Numérico (Simples)	4
TA1	Numérico (Simples)	4
PO1	Numérico (Simples)	4
TPT1	Texto	1
UR1	Numérico (Simples)	4
QFE	Numérico (Simples)	4
PRP	Numérico (Simples)	4

Tabela: Componentes Horárias do Vento

Nome	Tipo	Tamanho
N_SINOT	Numérico (Byte)	1
ANO	Numérico (Byte)	1
DIA	Numérico (Byte)	1
MES	Numérico (Byte)	1
HORA	Numérico (Byte)	1
DIR1	Numérico (Simples)	4
VEL1	Numérico (Simples)	4
Velx	Numérico (Simples)	4
Vely	Numérico (Simples)	4

Tabela: Media Horaria

Nome	Tipo	Tamanho
N_SINOT	Numérico (Byte)	1
ANO	Numérico (Byte)	1
MES	Numérico (Byte)	1
HORA	Numérico (Byte)	1
VEL1	Numérico (Simples)	4
Speed	Numérico (Simples)	4
DIR1	Numérico (Simples)	4

Tabela: Media Mensal

Nome	Tipo	Tamanho
N_SINOT	Numérico (Byte)	1
ANO	Numérico (Byte)	1
MES	Numérico (Byte)	1
VEL1	Numérico (Simples)	4
DIR1	Numérico (Simples)	4
Speed	Numérico (Simples)	4

C - Consultas

SQL: X Componentes Horárias do Vento

```
SELECT T.N_SINOT, T.Ano, T.Dia, T.Mes, T.Hora, T.Dir1, T.Vel1, T.Vel1*COS(Pi()*(270-T.DIR1)/180) AS Velx, T.Vel1*SIN(Pi()*(270-T.Dir1)/180) AS Vely, AnguloMet(Velx,Vely) AS Dir
FROM Total AS T;
```

SQL: Componentes Médias Anuais do Vento

```
SELECT Vento.N_SINOT, Vento.ANO, AVG(Vento.VEL1) AS Speed, AVG(Vento.Velx) AS Velx, AVG(Vento.Vely) AS Vely, Sqr(Velx^2+Vely^2) AS Vel1, AnguloMet(Velx,Vely) AS Dir
FROM [Componentes Horárias do Vento] AS Vento
GROUP BY Vento.N_SINOT, Vento.ANO;
```

SQL: Componentes Médias Diárias do Vento

```
SELECT Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES, Vento.DIA, AVG(Vento.VEL1) AS Speed, AVG(Vento.Velx) AS Velx, AVG(Vento.Vely) AS Vely, AnguloMet(Velx,Vely) AS Dir, Sqr(Velx^2+Vely^2) AS Vel1
FROM [Componentes Horárias do Vento] AS Vento
GROUP BY Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES, Vento.DIA;
```

SQL: Componentes Médias Horárias Anuais do Vento

```
SELECT Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.HORA, AVG(Vento.VEL1) AS Speed, AVG(Vento.Velx) AS Velx, AVG(Vento.Vely) AS Vely, Sqr(Velx^2+Vely^2) AS Vel1, AnguloMet(Velx,Vely) AS Dir1
FROM [Componentes Horárias do Vento] AS Vento
GROUP BY Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.HORA;
```

SQL: Componentes Médias Horárias Mensais do Vento

```
SELECT Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES, Vento.HORA, AVG(Vento.VEL1) AS VEL1, AVG(Vento.Velx) AS Velx, AVG(Vento.Vely) AS Vely
FROM [Componentes Horárias do Vento] AS Vento
GROUP BY Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES, Vento.HORA;
```

SQL: Componentes Médias Mensais do Vento

```
SELECT Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES, AVG(Vento.VEL1) AS Speed, AVG(Vento.Velx) AS Velx, AVG(Vento.Vely) AS Vely, Sqr(Velx^2+Vely^2) AS Vel1, AnguloMet(Velx,Vely) AS Direção
FROM [Componentes Horárias do Vento] AS Vento
GROUP BY Vento.N_SINOT, Vento.ANO, Vento.MES;
```

SQL: Precipitação Média Horária Anual

```
SELECT DISTINCTROW Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.HORA, SUM(Total.PRP) AS Acumulado, AVG(Total.PRP) AS Média
FROM Total
GROUP BY Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.HORA;
```


SQL: Precipitação Média Horária Mensal

```
SELECT DISTINCTROW Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES, Total.HORA, SUM(Total.PRP)  
AS Acumulado, AVG(Total.PRP) AS Média  
FROM Total  
GROUP BY Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES, Total.HORA;
```

SQL: Média Anual para Costa Leste

```
SELECT DISTINCTROW AVG(Ciclo.TA1) AS TA1, AVG(Ciclo.PO1) AS PO1, AVG(Ciclo.UR1)  
AS UR1, AVG(Ciclo.QFE) AS QFE, AVG(Ciclo.PRP) AS PRP  
FROM [Ciclo Interanual para Costa Leste] AS Ciclo;
```

SQL: Media_Ano_TabTotal

```
SELECT DISTINCTROW Total.N_SINOT, Total.ANO, AVG(Total.VEL1) AS VEL1,  
AVG(Total.DIR1) AS DIR1, AVG(Total.TA1) AS TA1, AVG(Total.PO1) AS PO1, AVG(Total.UR1)  
AS UR1, AVG(Total.QFE) AS QFE  
FROM Total  
GROUP BY Total.N_SINOT, Total.ANO;
```

SQL: Media_Dia_Escalar_TabTotal

```
SELECT DISTINCTROW Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES, Total.DIA, AVG(Total.VEL1)  
AS VEL1, AVG(Total.DIR1) AS DIR1, AVG(Total.TA1) AS TA1, AVG(Total.PO1) AS PO1,  
AVG(Total.UR1) AS UR1, AVG(Total.QFE) AS QFE, SUM(Total.PRP) AS PRP  
FROM Total  
GROUP BY Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES, Total.DIA;
```

SQL: Media_Mes_TabTotal

```
SELECT DISTINCTROW Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES, AVG(Total.TA1) AS TA1,  
AVG(Total.PO1) AS  
PO1, AVG(Total.UR1) AS UR1, AVG(Total.QFE) AS QFE, SUM(Total.PRP) AS PRP  
FROM Total  
GROUP BY Total.N_SINOT, Total.ANO, Total.MES;
```

SQL: Ciclo Anual para Costa Leste

```
SELECT DISTINCTROW Total.MES, AVG(Total.TA1) AS TA1, AVG(Total.PO1) AS PO1,  
AVG(Total.UR1) AS UR1, AVG(Total.QFE) AS QFE, SUM(Total.PRP) AS PRP  
FROM Total  
GROUP BY Total.MES;
```

SQL: Ciclo Interanual para Costa Leste

```
SELECT DISTINCTROW Total.ANO, Total.MES, AVG(Total.TA1) AS TA1, AVG(Total.PO1) AS  
PO1, AVG(Total.UR1) AS UR1, AVG(Total.QFE) AS QFE, SUM(Total.PRP) AS PRP  
FROM Total  
GROUP BY Total.ANO, Total.MES;
```

D - Programas Utilizados

D.1 - Access & Visual Basic

Programa: FrmImportar_Excluir

'Esse programa importa para o banco de dados atual todas as 935 tabelas provenientes do 'SPV. Após excussão do módulo Agrupamento, todas as 935 tabelas poderão ser excluídas do 'banco utilizando o presente módulo.

Option Compare Database

Option Explicit

Dim Banco_Origem As Database 'Definições das variáveis

Dim Table_Arquivos As Recordset

Dim strSQL, Arquivo_DBF As String

Private Sub cmdImportar_Click()

Set Banco_Origem = CurrentDb() 'Selecionando Banco de Dados e Tabelas

strSQL = "SELECT * from [Arquivos]"

strSQL = strSQL & " ORDER BY [Nome_Arquivo];"

Set Table_Arquivos = Banco_Origem.OpenRecordset(strSQL, dbOpenSnapshot)

Table_Arquivos.MoveFirst

While Not (Table_Arquivos.EOF)

Arquivo_DBF = Table_Arquivos!Nome_Arquivo

DoCmd.TransferDatabase acImport, "dBase III", _
"F:\spv\teste", acTable, Arquivo_DBF & ".DBF", Arquivo_DBF, False

Table_Arquivos.MoveNext

Wend

End Sub

Private Sub cmdExcluir_Click()

strSQL = "SELECT * from [Arquivos]"

strSQL = strSQL & " ORDER BY [Nome_Arquivo];"

Set Banco_Origem = CurrentDb() 'Selecionando Banco de Dados e Tabelas

Set Table_Arquivos = Banco_Origem.OpenRecordset(strSQL, dbOpenSnapshot)

Table_Arquivos.MoveFirst

While Not (Table_Arquivos.EOF)

Arquivo_DBF = Table_Arquivos!Nome_Arquivo

DoCmd.DeleteObject acTable, Arquivo_DBF

Table_Arquivos.MoveNext

Wend

End Sub

Programa: FrmAgrupar

'Esse programa inclui todas as 935 tabelas, que foram importadas para o Access provenientes do SPV durante a etapa (programa Importar_Excluir), para a tabela Total

Option Compare Database

Option Explicit

Dim Banco_Origem As Database 'Definições das variáveis

Dim Table_Nome_Arquivo, Table_Arquivo, Table_Total As Recordset

Dim strSQL, Arquivo_DBF, strN2 As String

Private Sub cmdExecutar_Click()

Dim Início, Fim, TempoTotal 'Declarações para o Timer

Início = Timer ' Define a hora inicial.

Me![Texto1].SetFocus

Me![Texto1] = "Processando...."

Me![Texto1].SetFocus

DoCmd.Hourglass True 'Mudando o ponteiro do mouse para ampulheta

*strSQL = "SELECT * from [Arquivos]"*

strSQL = strSQL & " ORDER BY [Nome_Arquivo];"

Set Banco_Origem = CurrentDb() 'Selecionando Banco de Dados e Tabelas

Set Table_Nome_Arquivo = Banco_Origem.OpenRecordset(strSQL, dbOpenSnapshot)

Set Table_Total = Banco_Origem.OpenRecordset("Total", dbOpenDynaset)

Table_Nome_Arquivo.MoveFirst

While Not (Table_Nome_Arquivo.EOF) 'Enquanto não final da tabela que contém os nomes da Tabelas, faça.

Arquivo_DBF = Table_Nome_Arquivo!Nome_Arquivo

strN2 = Format(Left(Arquivo_DBF, 2), ">")

Set Table_Arquivo = Banco_Origem.OpenRecordset(Arquivo_DBF, dbOpenSnapshot)

Table_Arquivo.MoveFirst

While Not (Table_Arquivo.EOF) 'Enquanto não for o fim da tabela atual que está em Tabelas, faça.

If Right(Table_Arquivo!HORA, 2) = "00" Then 'Se a hora for cheia acrescente na tabela Total

Table_Total.AddNew

Table_Total!N_SINOT = Table_Arquivo!N_SINOT

Table_Total!ANO = Table_Arquivo!ANO

Table_Total!MES = Table_Arquivo!MES

Table_Total!DIA = Table_Arquivo!DIA

Table_Total!HORA = Val(Left(Table_Arquivo!HORA, 2))

Table_Total!QFE = Table_Arquivo!QFE

*Table_Total!NArq = Arquivo_DBF 'Para encontrar as falhas na tabela Total,
'escreva o nome da tabela de origem*

Select Case strN2

Case "AR", "FZ", "MO", "NT", "SV"

Table_Total!DIR1 = Table_Arquivo!DIR1

Table_Total!PO1 = Table_Arquivo!PO1

Table_Total!PRP = Table_Arquivo!PRP

```

        Table_Total!TA1 = Table_Arquivo!TA1
        Table_Total!UR1 = Table_Arquivo!UR1
        Table_Total!VEL1 = Table_Arquivo!VEL1

        Case "CV", "FN", "IL", "RF", "TE", "KG", "LP", "PL"
            Table_Total!TA1 = Table_Arquivo!BSECO
            Table_Total!PO1 = Table_Arquivo!TPO
            Table_Total!DIR1 = Table_Arquivo!DVEN
            Table_Total!PRP = Table_Arquivo!PREC
            Table_Total!VEL1 = Table_Arquivo!VVEN
            Table_Total!UR1 = Table_Arquivo!UR
        End Select

        Table_Total.Update

    End If

    Table_Arquivo.MoveNext

Wend

Table_Nome_Arquivo.MoveNext

Wend

DoCmd.Hourglass False 'Mudando o ponteiro do mouse para ampulheta
TempoTotal = Fim - Inicio ' Calcula o tempo total.

MsgBox "Tempo de execução " & Format(TempoTotal / 60, "0.0") & " min"
Me![Texto1] = "Finalizado!"
Beep

Exit_cmdExecutar_Click:
Exit Sub

Err_cmdExecutar_Click:

'MsgBox Err.Description
DoCmd.Hourglass False
Me![Texto1] = "Erro: " & Err.Description & "!"
Resume Exit_cmdExecutar_Click
End Sub

Private Sub Form_Load()
    DoCmd.Hourglass False
End Sub

```

Programa: FrmConversão

'Este programa realiza algumas alterações e conversões dos dados provenientes da Base Meteorológica proveniente do SPV

Option Compare Database
Option Explicit

Private Sub cmdExecutar_Click()

Dim dbs As Database

```

Dim rst As Recordset
Dim strSQL, strHora As String

'Abre a tabela Tabela Total

Set dbs = CurrentDb()
strSQL = "SELECT * FROM [Total]"
Set rst = dbs.OpenRecordset(strSQL)

DoCmd.Hourglass True 'Mudando o ponteiro do mouse para ampulheta

Me.AllowEdits = True 'Permitindo Modo de Edição

' Se não existir nenhum item na tabela Tabela_Final exiba uma mensagem, caso contrário, calcula os
novos itens.

If (rst.EOF) Then
    Me.Text01 = "Não existem itens na Tabela Tabela Total"
Else
    While (Not (rst.EOF))
        If IsNull(rst![TPT1]) Then

            rst.Edit ' Editando uma linha da Tabela Total
            rst![TPT1] = "x" ' Marca de Processamento
            strHora = rst![HORA]

            If Len(strHora) = 4 Then 'Ajusta hora para o formato 0,1,2,3
                If Right(strHora, 2) = "00" Then
                    rst![HORA] = Left(strHora, 2)
                Else
                    rst![HORA] = Null
                End If
            End If
            'Ajusta pressão para o formato 0000,0
            If rst![QFE] <= 300 And rst![QFE] >= 0 Then
                rst![QFE] = 1000 + 0.1 * rst![QFE]
            Else
                If rst![QFE] <= 9999 And rst![QFE] >= 8000 Then
                    rst![QFE] = 0.1 * rst![QFE]
                Else
                    If rst![QFE] > 300 Then
                        rst![QFE] = 900 + 0.1 * rst![QFE]
                    End If
                End If
            End If

            End If

            'Converte velocidade em nós para m/s
            If rst![VEL1] > 0 Then
                rst![VEL1] = 0.5 * rst![VEL1]
            End If
            'Converte direção para o formato 000°
            If rst![DIR1] > 0 Then
                rst![DIR1] = 10 * rst![DIR1]
            End If

            If rst![TA1] > 100 Then
                rst![TA1] = rst![TA1] / 10
            End If

            If rst![PO1] > 100 Then
                rst![PO1] = rst![PO1] / 10
            End If
        End While
    End If

```



```

        End If

        'Ajusta a precipitação dividindo-a por um fator de 10
        rst![PRP] = 0.1 * rst![PRP]
        'Salvando a linha na Tabela Total
        rst.Update

        End If
        rst.MoveNext
    Wend
    Me.Texto1.BackColor = 16777215
    Me![Texto1] = "Finalizado..."

End If

DoCmd.Hourglass False 'Mudando o ponteiro do mouse para default
rst.Close: dbs.Close ' Fechando o recordset e o banco de dados.

End Sub

Private Sub cmdExecutar_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)
    Me.Texto1.ForeColor = 16711680
    Me.Texto1.BackColor = 16776960
    Me![Texto1] = "Processando.."
End Sub

Private Sub Form_Activate()
    Me![Texto1] = ""
End Sub

Private Sub CmdSair_Click()
On Error GoTo Err_CmdSair_Click

    DoCmd.Close

Exit_CmdSair_Click:
    Exit Sub

Err_CmdSair_Click:
    MsgBox Err.Description
    Resume Exit_CmdSair_Click

End Sub

```

Módulo: MdlGeral

```

Option Compare Database
Option Explicit

```

```

'Função que calcula o arco coseno de um argumento x:real
Function ArcCos(x As Double) As Double
    If Abs(x) <> 1 Then
        ArcCos = Atn(-x / Sqr(-x * x + 1)) + 2 * Atn(1)
    Else
        If x = 1 Then
            ArcCos = 2 * Atn(1)
        Else
            ArcCos = 0
        End If
    End If
End Function

```

End Function

'Função que retorna o ângulo meteorológico da direção do vento

' Velx = Componente Zonal do vetor vento

' Vely = Componente Meridional do vetor vento

Function AnguloMet(Vx As Double, Vy As Double) As Double

Dim Vel, Alfa As Double

Vel = Sqr(Vx^2 + Vy^2)

'Cálculo da direção resultante

If Vel <> 0 Then

If Vx < 0 Then

Alfa = 180 * ArcCos(-Vy / Vel) / Pi()

Else

Alfa = 360 - 180 * ArcCos(-Vy / Vel) / Pi()

End If

End If

AnguloMet = Alfa

End Function

' Função que retorna o valor da constante trigonométrica π

Function Pi() As Double

Pi = 4 * Atn(1)

End Function

Programa: ACPs

'Este programa realiza os Análise das Componentes Principais, utilizado a Matriz de Correlação, de um arquivo de dados no formato ASCII. Esse arquivo deve está disposto como um conjunto de m linhas por n colunas, onde $m \geq n$.

Dim xPath, yPath

Dim DirAnterior, DriveAnterior

Private Sub CmbOpcao_KeyPress(KeyAscii As Integer)

KeyAscii = 0

End Sub

Private Sub cmdExecutarACP_Click()

Dim Q1(), X1(), Dados(), R2(), B2() As Double

Dim C1(), R1(), x(), xX() As Double

Dim S2(), S3(), D6(), D8() As Double

Dim Soma() As Double

Dim F1, F2 As String

Dim A, B, Q, D, E, F, G, H, y, O, T, Z As Double

Dim X5, X6, Y5, Y6, Z5 As Double

Dim i, j, N, R, C, K, L, P As Long

On Error GoTo xErro

xPath = App.Path

R = [txtLinha]

C = [txtColuna]

Passo = 12

NAnos = R / Passo

```

F1 = yPath: F2 = xPath + "\ACPs_" + EleminarTipo(filACPs.FileName) + ".acp"
ArqEntrada = FreeFile
Open F1 For Input As #ArqEntrada
ArqSaidas = FreeFile
Open F2 For Output As #ArqSaidas

ReDim Q1(2 * R), X1(R, C), Dados(C, R), R2(C, C), B2(C, C) As Double
ReDim C1(C, C), R1(C), x(R), xX(R) As Double
ReDim S2(C), S3(C), D6(C), D8(C) As Double
ReDim Soma(R, Passo) As Double

Me.MousePointer = vbHourglass
cmdExecutarACP.Enabled = False

Print #ArqSaidas, "ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS"
Print #ArqSaidas, "===== "
Print #ArqSaidas, " "
Print #ArqSaidas, " ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS: "; F1
Print #ArqSaidas, " AS "; R; " LINHAS E "; C; " COLUNAS."
Print #ArqSaidas, " "
'Lendo a matriz de dados
For i = 1 To R
    For j = 1 To C
        Input #ArqEntrada, Dados(j, i)
    Next j
Next i

'*****
'    CÁLCULO DA MÉDIA DE MENSAL PARA CADA UMA DAS SÉRIES
'*****
For L = 1 To C
    For i = 1 To Passo
        Soma(L, i) = 0
        j = 0
        For kk = 1 To NAnos
            If (kk = 1) Then
                j = Passo * (kk - 1) + i
            End If
            Soma(L, i) = Soma(L, i) + Dados(L, j)
            j = j + Passo
        Next kk
        Soma(L, i) = Soma(L, i) / NAnos
    Next i
Next L

'*****
'    FIM DO CÁLCULO DA MÉDIA DE MENSAL PARA CADA UMA DAS SÉRIES
'*****

'*****
'    CÁLCULO DAS ANOMALIAS
'*****
For L = 1 To C
    For i = 1 To Passo
        j = 0
        For kk = 1 To NAnos
            If (kk = 1) Then
                j = Passo * (kk - 1) + i
            End If
            Dados(L, j) = Dados(L, j) - Soma(L, i)
            j = j + Passo
        Next kk
    Next i

```

```

Next i
Next L
'*****
'          FIM DO CÁLCULO DAS ANOMALIAS
'*****

K = R: L = C: R = L: C = K
For i = 1 To R
    For j = 1 To R
        B2(i, j) = 0
    Next j
    B2(i, i) = 1
Next i
Close #ArqEntrada
'Cálculos das Matrizes de Anomalias Normalizadas Correlação
For i = 1 To R - 1
    For j = 2 To R
        X5 = 0: X6 = 0: Y5 = 0: Y6 = 0: Z5 = 0
        For K = 1 To C
            X5 = X5 + Dados(i, K)
            X6 = X6 + Dados(i, K) ^ 2
            Y5 = Y5 + Dados(j, K)
            Y6 = Y6 + Dados(j, K) ^ 2
            Z5 = Z5 + Dados(i, K) * Dados(j, K)
        Next K
        DoEvents
        X4 = (X6 - (X5 ^ 2) / C): Y4 = (Y6 - (Y5 ^ 2) / C)
        Z4 = (Z5 - (X5 * Y5) / C): R2(i, j) = Z4 / (Sqr(X4 * Y4))
        R2(j, i) = R2(i, j)
    Next j
    R2(i, i) = 1
Next i
R2(R, R) = 1
For i = 1 To R
    A = 0: B = 0
    For j = 1 To C
        Q = Dados(i, j): A = A + Q: B = B + Q ^ 2
    Next j
    B = Sqr(Abs((B - A ^ 2 / C) / (C - 1)))
    A = A / C
    For j = 1 To C
        Dados(i, j) = (Dados(i, j) - A) / B
    Next j
Next i
For i = 1 To R
    For j = 1 To C
        X1(j, i) = Dados(i, j)
    Next j
Next i
For i = 1 To R
    R1(i) = R2(i, i)
Next i
'Escreve no arquivo a Matriz de Correlação
Print #ArqSaidas, " "
Print #ArqSaidas, "A MATRIZ ABAIXO FOI UTILIZADA NA ANÁLISE: "
Print #ArqSaidas, " "
For i = 1 To R
    For j = 1 To R
        Print #ArqSaidas, " ";
        Print #ArqSaidas, Format(R2(i, j), "#0.00000");
    Next j
Print #ArqSaidas, " "

```

```

Next i
If CmbOpcao.Text = "ACPs" Then
    'Procedimento da Auto-Análise
    N = R: L = C: A = 0.00000001: C = 0
    For i = 2 To N
        For j = 1 To i - 1
            C = C + 2 * (R2(i, j) ^ 2)
            DoEvents
        Next j
    Next i
    y = Sqr(C): O = (A / N) * y: T = y: D = 0
    While (T > O)
        T = T / N
        D = 1 'Entrando no While
        While Not ((D < 1) Or (D > 1))
            For Q = 2 To N
                For P = 1 To Q - 1
                    If Not (Abs(R2(P, Q)) < T) Then
                        D = 1: V = R2(P, P): Z = R2(P, Q): E = R2(Q, Q)
                        F = 0.5 * (V - E)
                        If F = 0 Then
                            G = -1
                        Else
                            G = -(Sgn(F))
                            G = G * Z / (Sqr(Z ^ 2 + F ^ 2))
                        End If
                        If G < -1! Then G = -0.999999
                        H = G / (Sqr(2 * (1 + Sqr(1 - G ^ 2))))
                        K = Sqr(1 - H ^ 2)
                        For i = 1 To N
                            If Not ((i = P) Or (i = Q)) Then
                                C = R2(i, P): F = R2(i, Q)
                                R2(Q, i) = C * H + F * K
                                R2(i, Q) = R2(Q, i)
                                R2(P, i) = C * K - F * H
                                R2(i, P) = R2(P, i)
                                DoEvents
                            End If
                        Next i
                        C = B2(i, P): F = B2(i, Q)
                        B2(i, Q) = C * H + F * K
                        B2(i, P) = C * K - F * H
                    End If
                Next P
            Next Q
            R2(P, P) = V * K ^ 2 + E * H ^ 2 - 2 * Z * H * K
            R2(Q, Q) = V * H ^ 2 + E * K ^ 2 + 2 * Z * H * K
            R2(P, Q) = (V - E) * H * K + Z * (K ^ 2 - H ^ 2)
            R2(Q, P) = R2(P, Q)
        End If
    While ((D < 1) Or (D > 1)) Then
        D = 0
    End If
Wend
Wend
For i = 1 To N
    Q1(i) = i
Next i
j = 0
V1 = 1 ' Entrado no While
While ((V1 < 0) Or (V1 > 0))
    V1 = 0

```



```

j = j + 1
For i = 1 To N - j
    If Not (R2(i, i) >= R2(i + 1, i + 1)) Then
        V1 = 1: V2 = R2(i, i)
        R2(i, i) = R2(i + 1, i + 1): R2(i + 1, i + 1) = V2
        P = Q1(i): Q1(i) = Q1(i + 1)
        Q1(i + 1) = P
    End If
Next i
Wend
Q = 0: D7 = 0
For j = 1 To N
    S2(j) = R2(j, j)
    If Not (S2(j) > 0) Then
        S2(j) = 0.00000001
    End If
    S3(j) = Sqr(S2(j)): D7 = D7 + (S2(j))
Next j
For j = 1 To N
    D8(j) = 100 * S2(j) / D7: D9 = D9 + (S2(j)) / D7
    D6(j) = 100 * D9: K = Q1(j): V = 0
    For i = 1 To N
        V = V + B2(i, K) ^ 2
    Next i
    For i = 1 To N
        R2(i, j) = B2(i, K) * Sqr(1 / V)
    Next i
Next j
For i = 1 To N
    R2(i, 2) = R2(i, 2) * (-1): R2(i, 3) = R2(i, 3) * (-1)
Next i
For i = 1 To N
    For j = 1 To N
        C1(i, j) = 0: B2(i, j) = 0
    Next j
    C1(i, i) = S3(i)
Next i
For i = 1 To N
    For j = 1 To N
        For K = 1 To N
            B2(i, j) = B2(i, j) + R2(i, K) * C1(K, j)
        Next K
    Next j
Next i
Print #ArqSaidas, " "
Print #ArqSaidas, "RESULTADOS DAS COMPONENTES PRINCIPAIS:"
Print #ArqSaidas, "===== "
Print #ArqSaidas, " "
Print #ArqSaidas, " OBSERVAÇÃO: ANÁLISE UTILIZANDO A MATRIZ DE
CORRELAÇÃO"
Print #ArqSaidas, " ===== "
Print #ArqSaidas, " "
For i = 1 To N
    If S2(i) >= 1 Then 'Autovalor é maior ou igual a um
        Print #ArqSaidas, "AUTOVALOR "; i; " = "; Format(S2(i), "##0.000000"); " OU ";
Format(D8(i), "##0.000000"); " %"
        Print #ArqSaidas, "----- "
        Print #ArqSaidas, "ACUMULATIVO % = "; Format(D6(i), "##0.00000")
        Print #ArqSaidas, " "
        Print #ArqSaidas, "AUTOVETOR "; i; " COMPONENTE "; " % DO TOTAL"
        Print #ArqSaidas, " "; " LOADINGS "; " VARIÂNCIA "
        Print #ArqSaidas, "----- "; " ----- "; " -----"
    End If

```

```

        For j = 1 To N
            Z9 = (R2(j, i) ^ 2) * D8(i)
            Print #ArqSaidas, " ";
            Print #ArqSaidas, Format(R2(j, i), "#0.000000");
            Print #ArqSaidas, " ";
            Print #ArqSaidas, Format(B2(j, i), "#0.000000");
            Print #ArqSaidas, " ";
            Print #ArqSaidas, Format(Z9, "#0.000000");
            Print #ArqSaidas, " "
        Next j
        Print #ArqSaidas, " "
        Print #ArqSaidas, " "
    End If
Next i
Print #ArqSaidas, "COMPONENTE DOS SCORES: "
Print #ArqSaidas, "----- "
Print #ArqSaidas, " "
For i = 1 To L
    For j = 1 To R
        X1(i, j) = 0
    Next j
Next i
For i = 1 To L
    For j = 1 To R
        For K = 1 To R
            X1(i, j) = X1(i, j) + Dados(K, i) * R2(K, j)
        Next K
    Next j
Next i
For j = 1 To R
    If S2(j) >= 1 Then
        Print #ArqSaidas, "COMPONENTE: "; j
        Print #ArqSaidas, "----- "
        For i = 1 To L
            Print #ArqSaidas, Format(X1(i, j), "###0.000000");
            Print #ArqSaidas, vbTab,
        Next i
        Print #ArqSaidas, " "
    End If
Next j
End If
Me.MousePointer = vbDefault
MsgBox "          Fim do Processo!!", vbOKOnly, "Cálculo das Componentes Principais"
End ' Finalizando a aplicação

xErro: If R >= C Then
    MsgBox "          Arquivo Impróprio!!", vbOKOnly, "Cálculo das Componentes
Principais"
    cmdExecutarACP.Enabled = False
    Me.MousePointer = vbDefault
End If
End Sub

Private Sub Directorio_Change()
    filACPs.Path = Directorio.Path
    DirAnterior = Directorio.Path
    DriveAnterior = Drive.Drive
End Sub

Private Sub Drive_Change()
    On Error GoTo xErro

```

```

        filACPs.Path = Diretorio.Path

xErro: If Err = 68 Then
    MsgBox "Unidade vazia!", vbOKOnly, "    Atenção!"
    Diretorio.Path = DirAnterior
    Drive.Drive = DriveAnterior
Else
    Diretorio.Path = Drive.Drive
End If
End Sub

Private Sub filACPs_Db1Click()
    yPath = Diretorio.Path & "\" & filACPs.FileName
    lblArquivo.Caption = "Arquivo de Entrada: " & filACPs.FileName
    cmdExecutarACP.Enabled = True
    cmdExecutarACP.SetFocus
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Me.Diretorio.Path = App.Path
    CenterForm Me
    DirAnterior = Diretorio.Path
    DriveAnterior = Drive.Drive
End Sub

Private Sub mnuAjudaSobre_Click()
    frmSobre.Show
End Sub

Private Sub mnuArqSair_Click()
    End
End Sub

' Módulo Geral
' Function: CenterForm
' Centraliza um forme ma tela
Public Sub CenterForm(frm As Form)
    frm.Top = (Screen.Height * 0.85) \ 2 - frm.Height \ 2
    frm.Left = Screen.Width \ 2 - frm.Width \ 2

End Sub

' Function: EleminarPonto
' Retorna todos os caracteres exceto ponto (".") de uma string
Public Function EleminarPonto(x As String) As String
    Dim i As Integer
    Dim y As String
    Dim yy As String * 1

    For i = 1 To Len(x)
        yy = Mid(x, i, 1)
        If yy <> "." Then
            y = y & yy
        End If
    Next i
    EleminarPonto = y
End Function

' Function: EleminarTipo
' Retorna todos os caracteres exceto tipo do arquivo (.xxx) de uma string
Public Function EleminarTipo(x As String) As String

```

```
Dim i, j As Integer
Dim y As String
Dim yy As String * 1
j = Len(x)
yy = ""
i = j
While Not ((yy = ".") Or (i = j))
    yy = Mid(x, i, 1)
    If yy <> "." Then
        y = y & yy
    End If
    i = i + 1
Wend
EleminarTipo = y
End Function
```

D.II - Fortran

```
C*****
C   Desenvolvido originalmente pela Profa. Dra. Mary T. Kayano (INPE) e sua equipe.
C   Modificado e aperfeiçoado por: Sergio de Oliveira Bernardo
C*****
C
C   PROGRAMA QUE REALIZA AS SEGUINTE OPERACOES
C
C   * PARA NORMALIZAR DADOS
C
C   *CALCULO DA MATRIZ DE CORELAÇÃO OU DA MATRIZ DE COVARIÂNCIA
C
C   *CALCULO DOS AUTOVALORES, AUTOVETORES, COMPONENTES PRINCIPAIS
C   VARIANCAS ACUMULADAS E LOADING
C
C*****
C  PARAMETROS:
C
C   NT  = TAMANHO DA SÉRIE TEMPORAL (120)
C   NX  = Nº DE PONTOS DE GRADE (XSIZE*Ysize)
C   NL  DIMENSION DA MATRIZ CORRELAÇÃO
C   NL  = NX(NX+1)/2, DIMENSÃO DO VETOR Z(PARTE SUPERIOR DA
C   MATRIZ COVARIÂNCIA)
C   ICOV=1 (MATRIZ DE COVARIÂNCIA); ICOV=0 (MATRIZ DE CORRELAÇÃO)
C   PARA EOF NORMAL: NX= XSIZE*Ysize (VARIÁVEIS)
C   K   NUMERO DE MODOS
C
C*****

PARAMETER(XSIZE=41, YSIZE=17, NX=XSIZE*Ysize)
PARAMETER(NT=240, K=10, NL=NX*(NX+1)/2)
PARAMETER(PASSO=12, NANOS=NT/PASSO)

REAL A(NT),B(NT),DIF(NX),VAR(NX),CUM(NX)
REAL RUV(NX,NT),RR(NX,NX),Z(NL),PC(K,NT)
REAL XX(NT),YY(NT),R(NL),EVAL(NX),MT(NX,NT)
REAL EVEC(NX,NX),OUT(NX,K)
REAL AVE,DEV,SOMA(NX,PASSO)

ICOV = 0

WRITE(*,*) 'Arquivo de entrada: Binario (1) ou Texto (2)?'
READ(*, '(I1)') RESP

IF (RESP.EQ.2) THEN
C*****
C   LEITURA DE UM ARQUIVO TEXTO
C*****
OPEN (7, FILE= 'Arquivo.dat',FORM='FORMATTED')

DO J=1,NT
  READ(7,*)(MT(I,J),I=1,NX)
END DO
PRINT *, 'O ARQUIVO DE DADO FOI LIDO!'
C*****
C   FIM DA LEITURA DE UM ARQUIVO TEXTO
C*****
ELSE
C*****
```

```

C      LEITURA DE UM ARQUIVO BINÁRIO
C*****
      OPEN (7,FILE='Arquivo.bin',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED',
      * ACCESS='DIRECT',RECL=4*NX)

      DO J=1,NT
        READ(7,REC=J)(MT(I,J),I=1,NX)
      END DO
    END IF
C*****
C      FIM DA LEITURA DE UM ARQUIVO BINÁRIO
C*****

C*****
C      CÁLCULO DA MÉDIA DE MENSAL PARA CADA UMA DAS SÉRIES
C*****
      DO L=1, NX
        DO I=1, PASSO
          SOMA(L,I)= 0
          J=0
          DO KK=1, NANOS
            IF (KK.EQ.1) THEN
              J=PASSO*(KK-1) + 1
            END IF
            SOMA(L,I)=SOMA(L,I) + MT(L,J)
            J = J + PASSO
          END DO
          SOMA(L,I)=SOMA(L,I)/NANOS
        END DO
      END DO
C*****
C      FIM DO CÁLCULO DA MÉDIA DE MENSAL PARA CADA UMA DAS SÉRIES
C*****

C*****
C      CÁLCULO DAS ANOMALIAS
C*****
      DO L=1,NX
        DO I=1, PASSO
          J=0
          DO KK=1, NANOS
            IF (KK.EQ.1) THEN
              J=PASSO*(KK-1) + 1
            END IF
            MT(L,J)=MT(L,J)-SOMA(L,I)
            J = J + PASSO
          END DO
        END DO
      END DO
C*****
C      FIM DO CÁLCULO DAS ANOMALIAS
C*****

C*****
C      NORMALIZAÇÃO DA SÉRIE PELO DESVIO PADRÃO
C*****
      DO I=1,NX
        DO Nc=1,NT
          A(Nc)=MT(I,Nc)
        END DO
        CALL XMED(A,AVE,DEV,NT)
      DO Nc=1,NT

```



```

      MT(1,Nc)=(MT(1,Nc)-AVE)/DEV
    END DO
  END DO
  PRINT *, 'NORMALIZACAO CONCLUIDA!'
C*****
C      FIM DA NORMALIZAÇÃO DA SÉRIE PELO DESVIO PADRÃO
C*****

C*****
C      ARQUIVO DE SAÍDA NORMALIZADO
C*****
      OPEN(3,FILE='ArquivoN.dat',FORM='FORMATTED')
      DO Nc=1,NT
        WRITE(3,*)(MT(NSi,Nc),NSi=1,NX)
      END DO
      CLOSE(3)
C*****
C      FIM DA NORMALIZAÇÃO DOS DADOS
C*****

C*****
C      CÁLCULO DA MATRIZ DE CORELAÇÃO OU DA MATRIZ DE COVARIÂNCIA
C*****
      CALL SACOR(NT,NX,NL,RUV,RR,XX,YY,ICOV,Z)
C*****
C      FIM DO CÁLCULO DA MATRIZ DE CORELAÇÃO OU DA MATRIZ DE COVARIÂNCIA
C*****

C*****
C      CÁLCULO DOS AUTOVALORES, AUTOVETORES, COMPONENTES PRINCIPAIS
C      VARIANÇAS ACUMULADAS E LOADING
C*****
C*****
C      ABRINDO E CRIANDO ARQUIVOS:
C          1: ENTRADA DA MATRIZ COVARIÂNCIA
C          12: SAÍDA DAS COMPONENTES PRINCIPAIS
C          14: SAÍDA DOS LOADINGS
C          7: SAÍDA DOS AUTOVALORES
C*****
      OPEN(1,FILE='ArquivoNC.dat',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(7,FILE='ArquivoAUTOVALOR.dat',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(12,FILE='ArquivoCP.dat',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(14,FILE='ArquivoLOADING.bin',FORM='UNFORMATTED',
        * STATUS='UNKNOWN',ACCESS='DIRECT',RECL=NX*4)

C*****
C      LEITURA DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOWER 1/2 OF A SYMMETRIC MATRIX +
      DIAGONAL)
C*****
      READ(1,*) (R(L),L=1,NL)
      CLOSE(1)

C*****
C      CÁLCULO DE AUTOVALORES E AUTOVETORES
C*****
      CALL FHOUSE(NX,NX,NX,EVAL,K,R,EVEC)
      PRINT *, 'OS AUTOVALORES E AUTOVETORES FORAM CALCULADOS '
C*****
C      FIM DO CÁLCULO DE AUTOVALORES E AUTOVETORES
C*****

```

```

C*****
C      CÁLCULO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS E LOADINGS
C*****
      PRINT*, 'INICIALIZANDO O CALCULO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS!'
      NN=0
      DO M=1,K
        DO IT=1,NT
          SUM=0.0
          DO L=1,NX
            SUM=SUM+EVEC(L,M)*MT(L,IT)
          END DO
          PC(M,IT)=SUM/NT
        END DO
C*****
C      FIM DO CÁLCULO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS E LOADINGS
C*****

C*****
C      NORMALIZAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS PELO DESVIO PADRÃO
C*****
      DO IT=1,NT
        A(IT)=PC(M,IT)
      END DO
      CALL XMED(A,AVE,DEV,NT)
      DO IT=1,NT
        PC(M,IT)=(PC(M,IT)-AVE)/DEV
      END DO
C*****
C      FIM DA NORMALIZAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS PELO DESVIO PADRÃO
C*****

C*****
C      CÁLCULO LOADINGS
C*****
      DO IT=1,NT
        A(IT)=PC(M,IT)
      END DO
      DO IX=1,NX
        DO IT=1,NT
          B(IT)=MT(IX,IT)
        END DO
        CALL COR(A,B,C,NT,0)
        OUT(IX,M)=C*100.
      END DO
      END DO
C*****
C      FIM DO CÁLCULO LOADINGS
C*****

C*****
C      CÁLCULO DA VARIÂNCIA EXPLICADA, ACUMULADA E DIFERENÇA
C*****
      PRINT*, 'INICIANDO A EXPLICACAO DA VARIANCIA'
      SUM=0.0
      DO NN=1,NX
        SUM=SUM+EVAL(NN)
      END DO
      DO NN=1,NX
        VAR(NN)=EVAL(NN)/SUM
      END DO
      CUM(I)=VAR(I)
      DO NN=2,NX

```

```

        CUM(NN)=CUM(NN-1)+VAR(NN)
    END DO
    DO NN=1,NX-1
        DIF(NN)=-(EVAL(NN)-EVAL(NN+1))
    END DO
C*****
C  FIM DO CÁLCULO DA VARIÂNCIA EXPLICADA, ACUMULADA E DIFERENÇA
C*****

C*****
C      SAIDA DE EVAL, VAR, DIF E CUM
C*****
        WRITE(7,200)
        DO M=1,K
            WRITE(7,201) M, EVAL(M),DIF(M), VAR(M)*100, CUM(M)*100
        END DO
200  FORMAT('ORDEM',2X,'AUTOVALOR', 2X,'DIFERENÇA', 1X,
* 'PERCENTUAL',2X,'ACUMULADO')
201  FORMAT(I4,1X, F10.6, 1X, F10.6, 1X, F10.6, 2X, F10.6)
        CLOSE(7)

C*****
C      FIM DA SAÍDA DE EVAL, VAR, DIF E CUM
C*****

C*****
C  SAIDA DE COMPONENTES PRINCIPAIS, AUTOVETORES E LOADING
C*****
        DO NN=1,K
            WRITE(12,110)(SQRT(EVAL(NN))*PC(NN,IT),IT=1,NT)
110  FORMAT(F17.9)
        END DO
        CLOSE(12)
        DO NN=1,K
            WRITE(14,REC=NN)(OUT(IX,NN),IX=1,NX)
        END DO
        CLOSE(14)
        STOP
        END

C*****
C  FIM DA SAIDA DE COMPONENTES PRINCIPAIS, AUTOVETORES E LOADING
C*****

C*****
C      FIM DO PROGRAMA
C*****

C*****
C      DECLARAÇÃO DAS SUBROTINAS
C*****

C*****
C  SUBROTINA XMED: CALCULA A MÉDIA E O DESVIO PADRÃO
C*****
        SUBROUTINE XMED(A,AVE,DEV,N)
        REAL AVE,DEV,SUM,A(N)
        SUM=0.0
        DO I=1,N
            SUM=SUM+A(I)
        END DO
        AVE= SUM/(FLOAT(N))
        SUM=0.0

```

```

DO I=1,N
  SUM= SUM + (A(I)-AVE)**2
END DO
DEV=SQRT(SUM/FLOAT(N-1))
RETURN
END

```

```

C*****
C SUBROTINA PARA O CÁLCULO DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO OU DE COVARIÂNCIA
C  NT  = TAMANHO DA SÉRIE TEMPORAL
C  NX  = Nº DE PONTOS DE GRADE (XSIZE*YSIZE)
C  NL  = NX(NX+1)/2, DIMENSÃO DO VETOR Z(PARTE SUPERIOR DA MATRIZ
C          COVARIÂNCIA)
C  ICOV=1 (MATRIZ DE COVARIÂNCIA); ICOV=0 (MATRIZ DE CORRELAÇÃO)
C*****

```

```

SUBROUTINE SACOR(NT,NX,NL,RUV,RR,X,Y,ICOV,Z)

```

```

REAL RUV(NX,NT),RR(NX,NX)
REAL X(NT),Y(NT),Z(NL)

```

```

OPEN (7, FILE='ArquivoN.dat',FORM='FORMATTED')
DO J=1,NT
  READ(7,*)(RUV(I,J),I=1,NX)
END DO
PRINT *, 'O ARQUIVO DE DADOS NORMALIZADOS FOI LIDO!'
CLOSE (7)
DO I=1,NX
  DO J=1,NT
    X(J)=RUV(I,J)
  END DO
  DO II=1,NX
    DO J=1,NT
      Y(J)=RUV(II,J)
    END DO
    CALL COR(X,Y,RZ,NT,0)
    RR(I,II)=RZ
    RR(II,I)=RZ
  END DO
END DO
OPEN (12, FILE='ArquivoNC.dat',STATUS='UNKNOWN')
K=0
DO I=1,NX
  DO J=1,NX
    K=K+1
    Z(K)=RR(I,J)
  END DO
END DO
WRITE (12,*)(Z(K),K=1,NL)
PRINT *, 'O ARQUIVO DOS DADOS DE CORRELACAO JA FOI GERADO!'
CLOSE (12)
RETURN
END

```

```

C*****
C SUBROTINA COR: CALCULA A CORRELAÇÃO COEFICIENTE ENTRE DUAS SÉRIES
C TEMPORAIS X & Y COM UM LAG.
C  R   = COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO
C  N   = NÚMERO DE ELEMENTOS DAS SÉRIES TEMPORAIS
C  LAG = ZERO: SIGNIFICA CORRELAÇÃO SIMULTÂNEA
C*****
SUBROUTINE COR(X,Y,R,N,LAG)
REAL X(N),Y(N)

```

```

SUM=0.0
TOT=0.0
DO I=1,N
    SUM=SUM+X(I)
    TOT=TOT+Y(I)
END DO
AVEX=SUM/FLOAT(N)
AVEY=TOT/FLOAT(N)
SUM=0.0
TOT=0.0
DO I=1,N
    SUM=SUM+(X(I)-AVEX)*(X(I)-AVEX)
    TOT=TOT+(Y(I)-AVEY)*(Y(I)-AVEY)
END DO
SDVX=SQRT(SUM/FLOAT(N))
SDVY=SQRT(TOT/FLOAT(N))
NMAX=N-LAG
SUM=0.0
DO I=1,NMAX
    SUM=SUM+(X(I)-AVEX)*(Y(I+LAG)-AVEY)
END DO
R=SUM/(FLOAT(NMAX)*SDVX*SDVY)
RETURN
END

```

C*****

```

SUBROUTINE FHOUSE(N,NUM,XDIM,EV,NEV,C,EVEC)
REAL A(2000),B(2000),P(2000),TA(2000),V(2000)
REAL Y(2000),X(2000),TB(2000), C(1), W(2000)
INTEGER XDIM
REAL EV(1),EVEC(XDIM,1)
EPS = 1E-07
TOL = 1E-31
IF(N .LT. NUM)NUM=N
UMEPS=1.-EPS
JSKIP=0
KSKIP=0
NM1=N-1
I=1
IDM1=0
P(1)=0.0
V(1)=0.0
W(1)=0.0
4  IP1=I+1
   NMI=N-I
   KJ=IDM1
   J=I
5  JP1=J+1
   VJ=V(J)
   K=J
   LJ=N-J+1
   JD=KJ+1
   IF(I.EQ.1)GO TO 6
   PJ=P(J)
   WJ=W(J)
6  KJ=KJ+1
   CKJ=C(KJ)
   IF(I.EQ.1)GO TO 7
   IF(KSKIP.EQ.1)GO TO 7
   DC=-(PJ*W(K)+WJ*P(K))
   CKJ=DC+CKJ
   C(KJ)=CKJ

```

```

7  IF(J.GT.I)GO TO 14
   IF(K.GT.J)GO TO 8
   A(I)=CKJ
   K=K+1
   GO TO 6
8  Y(K)=0.0
   V(K)=CKJ
   K=K+1
   IF(K.LE.N)GO TO 6
   JSKIP=0
   LJ1=LJ-1
   SUM=DOT(V(JP1),V(JP1),LJ1)
   IF(SUM.LE.TOL)GO TO 10
   S=SQRT(SUM)
   CSD=V(JP1)
   IF(CSD.LT.0.0)S=-S
   V(JP1)=CSD+S
   C(JD+1)=V(JP1)
   H=SUM+CSD*S
   B(I)=-S
   GO TO 12
10  B(I)=0.0
   JSKIP=1
12  IDM1=KJ
   J=JP1
   GO TO 5
14  IF(JSKIP.EQ.0)GO TO 15
   K=K+1
   IF(K.LE.N)GO TO 6
   J=JP1
   IF(J.LE.N)GO TO 5
   GO TO 215
15  Y(K)=Y(K)+CKJ*VJ
   K=K+1
   IF(K.LE.N)GO TO 6
   IF(J.EQ.N)GO TO 17
   LJ1=LJ-1
   DO 1099 KQ=1,LJ1
1099 X(KQ)=C(JD+KQ)
   Y(J)=Y(J)+DOT(X,V(JP1),LJ1)
   J=JP1
   GO TO 5
17  SP=DOT(V(IP1),Y(IP1),NMI)/(H+H)
   DO 21 J=IP1,N
   W(J)=V(J)
21  P(J)=(Y(J)-SP*V(J))/H
215 KSKIP=JSKIP
   I=IP1
   IF(I.LE.NM1)GO TO 4
   A(N)=CKJ
   B(NM1)=-B(NM1)
   B(N)=0.0
   U=ABS(A(1))+ABS(B(1))
   DO 22 I=2,N
22  U=AMAX1(U,ABS(A(I))+ABS(B(I))+ABS(B(I-1)))
   BD=U
   RBD=1./U
   DO 23 I=1,N
   W(I)=B(I)
   B(I)=(B(I)/U)**2
   A(I)=A(I)/U
   V(I)=0.0

```



```

23  EV(I)=-1.0
    U=1.0
    IK=1
    NDIM=KJ
C   REWIND IU
1000 K=IK
    EL=EV(K)
24  ELAM=.5*(U+EL)
    DU=(4.0*ABS(ELAM)+RBD)*EPS
    IF(ABS(U-EL).LE.DU)GO TO 42
    IAG=0
    Q=A(1)-ELAM
    IF(Q.GE.0.0)IAG=IAG+1
    DO 38 I=2,N
    IF(Q.EQ.0.0)X(1)=ABS(W(I-1)/BD)/EPS
    IF(Q.NE.0.0)X(1)=B(I-1)/Q
    Q=A(I)-ELAM-X(1)
    IF(Q.GE.0.0)IAG=IAG+1
38  CONTINUE
    IF(IAG.GE.K)GO TO 39
    U=ELAM
    GO TO 24
39  IF(IAG.EQ.K)GO TO 41
    M=K+1
    DO 40 MM=M,IAG
40  EV(MM)=ELAM
41  EL=ELAM
    GO TO 24
42  CONTINUE
    ELAM=BD*ELAM
    EV(K)=ELAM
    IF(IK.EQ.1)GO TO 44
    IF(ELAM.GE.EV(IK-1))EV(IK)=UMEPS*EV(IK-1)
44  J=IK
    II=1
    DO 49 J=1,N
49  Y(J)=1.0
50  DO 51 K=1,N
    P(K)=0.0
    TB(K)=W(K)
51  TA(K)=BD*A(K)-EV(I)
    L=N-1
    DO 57 J=1,L
    IF(ABS(TA(J)).LT.ABS(W(J)))GO TO 53
    IF(TA(J).EQ.0.0)TA(J)=EPS
    F=W(J)/TA(J)
    GO TO 55
53  F=TA(J)/W(J)
    TA(J)=W(J)
    T=TA(J+1)
    TA(J+1)=TB(J)
    TB(J)=T
    P(J)=TB(J+1)
    TB(J+1)=0.0
    T=Y(J)
    Y(J)=Y(J+1)
    Y(J+1)=T
55  TB(J+1)=TB(J+1)-F*P(J)
    TA(J+1)=TA(J+1)-F*TB(J)
    Y(J+1)=Y(J+1)-F*Y(J)
57  CONTINUE
    IF(TA(N).EQ.0.0)TA(N)=EPS

```

```

      IF(TA(N-1).EQ.0.0)TA(N-1)=EPS
      Y(N)=Y(N)/TA(N)
      Y(N-1)=(Y(N-1)-Y(N)*TB(N-1))/TA(N-1)
      L=N-2
      DO 62 J=1,L
      K=N-J-1
      IF(TA(K).EQ.0.0)TA(K)=EPS
62   Y(K)=(Y(K)-Y(K+1)*TB(K)-Y(K+2)*P(K))/TA(K)
      AY=ABS(Y(1))
      DO 63 J=2,N
63   AY=AMAX1(AY,ABS(Y(J)))
      DO 64 J=1,N
64   Y(J)=Y(J)/AY
      II=II+1
      IF(II.LE.2)GO TO 50
      ID=NDIM-2
      DO 68 J=1,L
      ID=ID-J-2
      M=N-J
      H=W(M-1)
      IF(H.EQ.0.0)GO TO 68
      JP1=J+1
      DO 1098 KQ=1,JP1
1098 X(KQ)=C(ID+KQ)
      T=DOT(X,Y(M),JP1)/(H*X(1))
      KJ=ID
      DO 67 K=M,N
      KJ=KJ+1
67   Y(K)=Y(K)+T*C(KJ)
68   CONTINUE
      T=DOT(Y,Y,N)
      XNORM=SQRT(T)
      DO 70 J=1,N
      Y(J)=Y(J)/XNORM
70   EVEC(J,IK) = Y(J)
      IK=IK+1
      IF(IK.LE.NUM)GO TO 1000
      RETURN
      END

```

```

C*****
      FUNCTION DOT(Z,ZZ,N)
      REAL Z(*),ZZ(*)
      S=0.0
      DO 1 I=1,N
1   S=S+Z(I)*ZZ(I)
      DOT=S
      RETURN
      END

```

D.III - Mathematica

(*Cálculo das Componentes Principais *)

Clear[M, F, Loadings, X1, Coeficientes, Dx, Mo, CP, AutoVetores, AutoValores, R, StnD, media, soma];

(*M: Matriz de Dados
F : Matriz das Anomalias Normalizadas pelos respectivos desvios para cada coluna
X : Matriz das Anomalias
nLin : N°. de Tempos -> (i)
nCol : N°. de Estacao ->(j)
R : Matriz de Correlação
Dx : Matriz Diag dos Autovalores
CP: Matriz de Scores(Componentes Principais)
Loadings: Matriz dos Loadings
Fatores: Matriz dos Fatores *)

(*Matriz de anomalias para uma dada variável*)

M={{5.0,9.7,11.6},{8.7,8.7,10.4},{10.0,7.1,8.5},{8.7,5.0,6.0},{5.0,2.6,3.1},{0.2,0.5,0.8},{-5.0,-2.6,-3.1},
{-8.7,-5.0,-6.0},{-10.0,-7.1,-8.5},{-8.7,-8.7,-10.4},{-5.0,-9.7,-11.6},{0.0,-10.0,-12.0}};

{nLin, nCol}=Dimensions[M]; X= F= Table[0, {i, nLin}, {j, nCol}]; (*Cria as Matrizes Nulas X e F do dimensão nLin x nCol*)

For[j=1, j<=nCol, (* Cálculo da Média de Cada Coluna j *)

media[j]=0.;

For[i=1, i<=nLin,

media[j]=media[j]+M[[i,j]];

i++];

media[j]=media[j]/nLin;

j++];

For[j=1, j<=nCol, (* Calculo do Desvio Padão de Cada Coluna j *)

StnD[j]=0;

For[i=1, i<=nLin,

StnD[j]=StnD[j]+(M[[i,j]]- media[j])^2;

i++];

StnD[j]=Sqrt[StnD[j]/(nLin-1)];

j++];

For[j=1, j<=nCol,

For[i=1, i<=nLin,

F[[i,j]]=(M[[i,j]]- media[j])/StnD[j]; (* Cria a Mat. de Anomalias Normalizada Pelo Desvio Padrão: F *)

X[[i,j]]=(M[[i,j]]- media[j]); (* Cria a Matriz de Anomalias ou Desvios: X *)

i++];

j++];

R= Transpose[F].F/(nLin-1), (* R- Calculo da Matriz de Correlação*)

Mo =AutoVetores =Chop[EigenVectors[R]]; (*Cálculo da Matriz dos Autovetores*)

Dx =AutoValores= Chop[Mo.R.Inverse[Mo]]; (* Calculo da Matriz Diagonal dos AutoValores*)

CP =F.Transpose[Mo]; (*Cálculo Matriz de Scores*)

Coeficientes= Loadings = Dx:TraceDx=0; (*Inicializando as Matrizes*)

For[i=1, i <= nCol,

TraceDx=TraceDx+Dx[[i,i]]; (*Cálculo do Traço da Matriz de AutoValor*)

For[j=1, j <= nCol,

Loadings[[i,j]]=Mo[[i,j]]*(Dx[[i,i]]^0.5; (*Cálculo da Matriz dos Loadings*)

j++];

i++];

Fatores = F.Coeficientes;

Print["Correlação: R = ", R//Chop//MatrixForm]

Print["Autovalores: Dx = ", Chop[Dx]//MatrixForm];

Print[" Variáveis ---->"];

Print["AutoVetores : Mo = ", Mo//Chop//MatrixForm];

(*Print["Scores(Componentes Principais): CP = ", Chop[CP] //MatrixForm];*)

```

Print["      Variáveis ---->"];
Print["Loadings = ", Loadings//Chop//MatrixForm];
Print["Explicação das Variâncias"];
k=2;
For[i=1, i <= k,
  Print["A ", i, "ª Componente Principal explica ",
    Explica[i]=N[100*Dx[[i,i]]/Sum[Dx[[j,j]],{j,1,nCol}]]//Chop, "% da variância total", ";
    Autovalor", i, "= ", Dx[[i,i]] ];
  i++;
(*Lista Todas as Séries em um Único Plot*)
A= ListPlot[Table[F[[i,1]], {i,1,nLin}], PlotStyle->{RGBColor[1,0,0]}, PlotJoined-
>True, DisplayFunction-> Identity];
For[j=1, j<=nCol,
  P= ListPlot[Table[F[[i,j]], {i,1,nLin}], PlotStyle->{RGBColor[1,0,0]}, PlotJoined-
>True, DisplayFunction-> Identity];
  A= Show[A,P,PlotRange->{All,All},Frame->True,GridLines-> Automatic, DisplayFunction-
>Identity];
  j++;
(*Lista Todas as Séries com Cada Componente Principal signficante*)
x=0;
For[j=1, j<= k,
  Print[j, "ª Componente Explica: ", Explica[j], "%", " -> Acumulada: ",
    x=x+ Explica[j], "%"];
  C1= ListPlot[Table[CP[[i,j]], {i,1,nLin}], PlotStyle->{RGBColor[0,0,1]},
    PlotJoined->True, DisplayFunction->Identity];
  Show[A,C1,PlotRange->{All,All},Frame->True,GridLines-> Automatic, DisplayFunction->
    $DisplayFunction];
  j++;

```

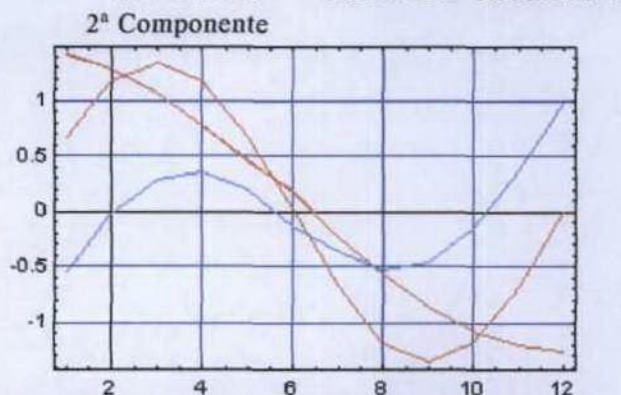
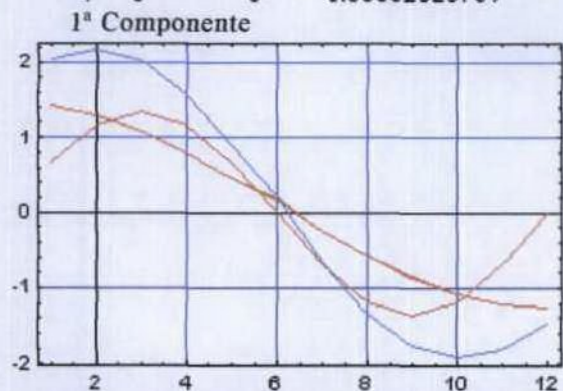
Saídas

Explicação das Variâncias

A 1ª Componente Principal explica 92.944% da variância total, Autovalor = 2.78832;
 A 2ª Componente Principal explica 7.05523% da variância total, Autovalor = 0.211657;
 A 1ª e 2ª Componentes Principais juntas explicam 99.9992% da variância total.

$$R = \begin{pmatrix} 1. & 0.83981 & 0.839362 \\ 0.83981 & 1. & 0.999976 \\ 0.839362 & 0.999976 & 1. \end{pmatrix} \quad Mo = \begin{pmatrix} 0.553132 & 0.58913 & 0.589042 \\ 0.833093 & -0.390242 & -0.392005 \\ 0.00107312 & -0.707557 & 0.706656 \end{pmatrix}$$

$$Dx = \begin{pmatrix} 2.78832 & 0 & 0 \\ 0 & 0.211657 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0000232573 \end{pmatrix} \quad Loadings = \begin{pmatrix} 0.923635 & 0.983746 & 0.983597 \\ 0.383274 & -0.179535 & -0.180346 \\ 5.17523 \times 10^{-8} & -0.00341225 & 0.00340791 \end{pmatrix}$$



As curvas em vermelho (em cada figura) são as três séries normalizadas pelo desvio padrão, representantes das três colunas e as curva em azul representa a referida componente principal

D.IV – Grads

```

/*****
**/
*/                               Script para Analise Harmônica (Tempo)                               */
/*****
**/
*/Este script realiza a análise harmônica para dados mensais, fornecendo a direção e */
*/amplitude de variação para os seis possíveis harmônicos, quando desejado */
*/Desenvolvido originalmente pelo Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira(INPE) e sua equipe */
*/Modificado e aperfeiçoado por: Sergio de Oliveira Bernardo */

function main (args)
arq=subwrd(args,1); var=subwrd(args,2)
*/Limpa a tela colocando o fundo branco e define o map brmap_mres/*
'inicio'

*/ Abrindo o arquivo de dados/*
prompt 'Arquivo -> c:\ncep\'; pull Arq; abre('c:\ncep\Arq'); Arq=sponto(Arq);

'set lon -80 20'

*/Pega o primeiro e o último ano/*
'set t 1 last'; 'q time'
resultado = subwrd(result,3); ano1 = substr(resultado,9,4); mes1 = substr(resultado,6,3)
resultado = subwrd(result,5); ano2 = substr(resultado,9,4); mes2 = substr(resultado,6,3)
'set t 1'

*/Exibe Informação e Localiza a primeira variável
Mensagem(); var = localiza_var(1); say; say; say

*/ Setando valores iniciais das variáveis: k (Anos) e j (Meses)

*/ setando max.  NTotal_Anos: Número de anos a ser analisados
*/              NTotal_Harmnc: Número de harmônicos => Máx: T/2 -> 12/2 = 6

NTotal_Anos = 20; NTotal_Harmnc = 1; n=1

while( n <= NTotal_Harmnc )
k=1; say '***** 'n'o. Harmônico ***** '
'SumA'%n%=0.'; 'SumB'%n%=0.'

while (k <= NTotal_Anos )
i = 1; j = k*12-11
'scos'%n%= 0.'; 'ssin'%n%= 0.'

while ( i <= 12)
'set t 'j;
'define COS'i%n%='var'*cos(2*3.14159*'n*(i-1)/12.)*fator(); 'define
SIN'i%n%='var'*sin(2*3.14159*'n*(i-1)/12.)*fator()
'scos'%n% = scos'%n% + COS'i%n%; 'ssin'%n% = ssin'%n% + SIN'i%n
i = i + 1; j = j + 1
endwhile

Ano=choice()

*/coeficientes. An = 2/T*(Sum(f(i)*cos(2*pi*(i-1)*n/T) e Bn = 2/T*(Sum(f(i)*sin(2*pi*(i-1)*n/T)

'define A'%n% = scos'%n%/6.0'; 'define B'%n% = ssin'%n%/6.0'
'set grads off'; 'set cterp off'; 'set csmooth on'; 'd B'%n%:A'%n%';mag(B'%n%',A'%n%'); 'run cbar'
'draw title '%n%'o. Harmônico 'Arq' \ 'Ano

```

```

'wi C:\Ncep\Imagens\Harmonica\Arq_'_n'_Ano'.gif
'q pos'; 'c'
'SumA'%n%' = SumA'%n%' + A'n; 'SumB'%n%' = SumB'%n%' + B'n
say k': 'Ano; k = k + 1
endwhile

n = n + 1
endwhile

n=1

while (n <= NTotal_Harmnc )
'A'%n%' = SumA'%n%'/NTotal_Anos; 'B'%n%' = SumB'%n%'/NTotal_Anos
ano = choice()
'c'; 'set grads off'; 'set arrscl 0.15'; 'set cterp off'; 'set csmooth on'; 'd B'%n%'; A'n
'draw title Fase do 'n' harmonico \Arq
'wi C:\Ncep\Imagens\Harmonica\Arq'_F'ano1'_ano2'.gif

'q pos'; 'c'.

'set gxout shaded'; 'set grads off'; 'set cterp off'; 'set csmooth on'; 'd mag(A'%n%',B'%n%')';
'set gxout contour'; 'set grads off'; 'set cterp off'; 'set csmooth on'; 'd mag(A'%n%',B'%n%')'
'draw title Amplitude Media do 'n' harmonico \Arq
'run cbar'; 'wi C:\Ncep\Imagens\Harmonica\Arq'_A'ano1'_ano2'.gif

'q pos'; n = n + 1
endwhile
return
*/*****
*/
Fim do Script para Analise Harmônica (Tempo)
*/
*/*****
.....
*/*****
*/ Este script cria duas séries temporais de duas áreas MediaAL e MediaAF. A partir destas */
*/ duas séries temporais, calcula-se o coeficiente de correlação entre elas, com um "Lag" a */
*/ ser especificado, a saber 0,1,2,3,... */
*/ Como também calcula o coeficiente de correlação mensal entre as séries envolvidas com a */
*/ série (MediaAL) (resto(Lag,12) mes(es) e int(Lag/12) ano(s) a frente da série (MediaAF) */
*/ Os arquivos devem ter a mesma sequência temporal(mesmos anos e meses) e devem conter */
*/ pelo menos três anos de dados(N=36, ordens de tempo) para que as correlações mensais sejam*/
*/ calculadas. */
*/Autor: Sergio de Oliveira Bernardo. */
*/Departamento de Meteorologia - Universidade Federal de Alagoas - Maceió-Alagoas – Brasil */
*/<Arq1:MediaAL> é o que se quer analisar, sob o efeito de <Arq2:MediaAF> */
*/*****

'inicio';
prompt 'Arquivo 1 -> c:\ncep\'; pull Arq1; abre('c:\ncep\'Arq1); Arq1=sponto(Arq1);
prompt 'Arquivo 2 -> c:\ncep\'; pull Arq2; abre('c:\ncep\'Arq2); Arq2=sponto(Arq2);

abre(Arq1); abre(Arq2); var1 = localiza(1), var2 = localiza(2);

'set lon -80 20'; 'set lat -20 20';
'set display color white'; 'c'; 'set grads off'; zoom(var1);

prompt 'Variacao Temporal: '; pull Tempo

'set t 'subwrd(Tempo,1)' 'subwrd(Tempo,2); 'q dims'
resultado = sublin(result,5); Tmin=subwrd(resultado,11); Tmax=subwrd(resultado,13);

```



```

rs =subwrd(resultado,6); MesMin =substr(rs,6,3); AnoMin =substr(rs,9,4);
rs =subwrd(resultado,8); MesMax=substr(rs,6,3); AnoMax=substr(rs,9,4);

say 'Selecione a primeira regioa'
*/ Obtendo as coordenadas x e y de tela para primeira região */
'q pos'; x=subwrd(result,3); y=subwrd(result,4);

*/ Convertendo as coordenadas de tela em coordenadas geográficas */
'q xy2w 'x' 'y'; x=subwrd(result,3); y=subwrd(result,6);

*/ Obtendo as coordenadas da janela de 5°x5° */
sx=sinal(x); x=int(x/2.5); sy=sinal(y); y=int(y/2.5);
dx=1;dy=1; x2=(x+dx*sx)*2.5; y2=(y+dy*sy)*2.5; x=x*2.5; y=y*2.5;

if x > x2
    aux=x; x=x2; x2=aux;
endif
if y > y2
    aux=y; y=y2; y2=aux;
endif

escreva= 'Variáveis: 'var1' e 'var2
say escreva
write('correlacao.txt',escreva,1)
escreva='Regiao 1: Lon: 'x' a 'x2' Lat: 'y' a 'y2
say escreva
write('correlacao.txt',escreva,1)

RetW2XY(x,y,x2,y2,2);

'set grads off'; 'set x 1'; 'set y 1'
*/ Cria a série temporal com a média da primeira região seccionada */
'define MediaAL=tlloop(aave('var1',lon='x',lon='x2',lat='y',lat='y2'))'

say 'Selecione a segunda regioa'
*/ Obtendo as coordenadas x e y de tela para segunda região */
'q pos'; x=subwrd(result,3); y=subwrd(result,4)

*/ Convertendo as coordenadas de tela em coordenadas geográficas */
'q xy2w 'x' 'y'; x=subwrd(result,3); y=subwrd(result,6)

*/ Obtendo as coordenadas da janela de 5°x10° */
sx=sinal(x); x=int(x/2.5); sy=sinal(y); y=int(y/2.5);
dx=1;dy=1; x2=(x+dx*sx)*2.5; y2=(y+dy*sy)*2.5; x=x*2.5; y=y*2.5;

if x > x2
    aux=x; x=x2; x2=aux
endif
if y > y2
    aux=y; y=y2; y2=aux
endif

escreva='Regiao 2: Lon: 'x' a 'x2' Lat: 'y' a 'y2
say escreva
write('correlacao.txt',escreva,1)

RetW2XY(x,y,x2,y2,4)

say,say,say '*****'
say '*' Script para calculo de correlacao entre duas series*'
say '*' produzidas a partir media de suas respectivas areas, '*'
say '*' seguindo a sequencia temporal de 'MesMin'/'AnoMin' a 'MesMax'/'AnoMax' '*'

```

```

say '*****'
say;say;say

/*Obtendo o Lag entre as séries temporais */
prompt 'Digite o Lag desejado: '; pull Lag

rs1=resto(Lag,12)' mes(es)'; rs=int(Lag/12)' ano(s)'
if resto(Lag,12) >= 1 | int(Lag/12) >= 1
    say '_____'; escreva= rs' e 'rs1; say escreva
    say '_____'; write('correlacao.txt',escreva,1)
endif

/* Cria a série temporal com a média da segunda região seccionada */
'define MediaAF=loop(aave('var2',lon='x',lon='x2',lat='y',lat='y2'))'

/* Exibe o gráfico de espalhamento das séries temporais medias dos dois campos */
'set gxout scatter'; 'set t 'Tmin' 'Tmax'; 'c'; 'set grads off';

/* Define o tipo de símbolo que será exibido no gráfico de espalhamento: 0-11 */
'set cmark 3'
'display MediaAL;MediaAF'; 'draw xlab 'var1'; 'draw ylab 'var2
'set t 'Tmin

/* Definição vetor rótulo dos meses do ano */
x.1=JAN; x.2=FEB; x.3=MAR; x.4=APR; x.5=MAY; x.6=JUN
x.7=JUL; x.8=AUG; x.9=SEP; x.10=OCT; x.11=NOV; x.12=DEC

/* Cálculo das médias gerais das duas séries temporais */
i= Tmin; DL=Tmax-i+1; NL=DL-Lag; TMinLag=Tmin+Lag; TMaxLag=Tmax-Lag;
'define AveAL= ave(MediaAL, t = 'TMinLag', t = 'Tmax');
'define AveAF= ave(MediaAF, t = 'Tmin', t = 'TMaxLag');

/*Calcula as anomalias das séries ao quadrado */
'Define Soma= sum((MediaAL - AveAL)*(MediaAL - AveAL), t='TMinLag', t = 'Tmax');
'Define Total= sum((MediaAF - AveAF)*(MediaAF - AveAF), t='Tmin', t = 'TMaxLag');

/*Calcula os desvios padrões para as duas séries */
'Define SdvAL=SQRT(Soma/(NL-1)); 'Define SdvAF=SQRT(Total/(NL-1))

/*Calcula o produto cruzado das duas séries com Lag*/
'Define Soma= sum((MediaAL(t+'Lag') - AveAL)*(MediaAF(t+0) - AveAF),t='Tmin', t = 'TMaxLag')

/* Calcula o coeficiente de correlação entre as séries */
'Define R =Soma /(SdvAL*SdvAF*'NL-1')

/* Cálculo das médias de cada mês do período */
'set x 1'; 'set y 1'; i=0
while i <= 11
    'set t ' Tmin + i; mes=xMes();mcs2=MesNome(PDoze(MesOrdem(mes)+ Lag));
    'define AveAF'mes'= ave(MediaAF, t= 'Tmin + i', t= 'TMaxLag', 12mo)'
    'define AveAL'mes2'= ave(MediaAL, t= 'TMinLag + i', t= 'Tmax', 12mo)'
    i=i+1
endwhile

/*Calcula as anomalias mensais das séries ao quadrado*/
j=0;
While j <= 11
    i=Tmin+j; 'set t ' i
    mes=xMes(); mes2=MesNome(PDoze(MesOrdem(mes)+ Lag))
    'Define Total'mes'=0.0'; 'Define Soma'mes2'= 0.0';
    While i <= TMaxLag
        'set t ' i

```

```

'Define Total'mes' = Total'mes' + (MediaAF - AveAF'mes')*(MediaAF - AveAF'mes')
'Define Soma'mes2' = Soma'mes2' + (MediaAL(t+'Lag') - AveAL'mes2')*(MediaAL(t+'Lag') -
AveAL'mes2')
i = i + 12
EndWhile
j = j + 1
EndWhile

*/Calcula os desvios padrões mensais para as duas séries /*
i = 1; 'set x 1'; 'set y 1'; say;
While i <= 12
'Define NT'x.i' = 'contador(x.i, Tmin, TMaxLag); 'Define NS'x.i' = 'contador(x.i, TMinLag, TMax);
'Define SdvAF'x.i' = SQRT(Total'x.i'/NT'x.i'); 'Define SdvAL'x.i' = SQRT(Soma'x.i'/NS'x.i');
i = i + 1
EndWhile
say;
*/Calcula o produto cruzado das duas séries com Lag/*
j = 1;
While j <= 12
i = Tmin + j - 1; 'set t 'i'; mes = xMes(); xs = MesOrdem(mes) + Lag; mes2 = MesNome(PDoze(xs))
'Define Soma'mes' = 0.0
While i <= TMaxLag
'set t 'i
'Define Soma'mes' = Soma'mes' + (MediaAL(t+'Lag') - AveAL'mes2')*(MediaAF(t+0) -
AveAF'mes')
i = i + 12
EndWhile
j = j + 1
EndWhile

*/Calcula e exibe os coeficientes de correlações entre as séries/*
i = 1; NL = DL;
'd r'; saida = subwrđ(result,4); escreva = 'r'Lag' = 'saida'; say escreva
write('correlacao.txt',escreva,1)
While i <= 12
g = PDoze(i + Lag)
'Define r'x.i' = Soma'x.i'/(SdvAF'x.i'*NT'x.i'*SdvAL'x.g')
'd r'x.i; escreva = 'r'x.i' = 'subwrđ(result,4); say escreva;
write('correlacao.txt',escreva,1)
i = i + 1
EndWhile
escreva = '-----'; write('correlacao.txt',escreva,1)
*/*****
*/
Fim do Script para o cálculo de correlação
*/
*/*****

.....

*/ .....: Declarações de Funções Comuns a Todos os Scripts:.....*/
function choice()
*/ Retorna o ano atual e seta algumas variáveis de ambiente /*
'set grads off'; 'set ccolor rainbow'; 'set gxout vector'
'set arrscl 0.15'; 'set cthick 2'; 'set map 2 1 6'
'q time'; rc = subwrđ(result,3); rc = substr(rc,9,4);
return(rc)

function cls()
*/ Limpa a tela de comando */
i = 1
while i <= 20

```

```

    prompt "
    say;say;say
    i = i + 1
endwhile
return

function inicio(args)
/* reinicializa o grads, limpa a tela de comando, limpa a tela gráfica deixando-a com fundo */
/* branco e define o mapa de contornos como brmap_mres */
'reinit'
'cls'
'set mpdset brmap_mres'
'set display color white'
'c'
return

function Mensagem()
/* Exibe mensagem na tela */
say; say; say
say '*****'
say '*   Maximize a tela do X-Win. Em seguida clique...   *'
say '* com o botao esquerdo em sua area!                  *'
say '*****'
'q pos'
return

function localiza(x)
/*Função que localiza a primeira variável*/
i=1; 'q file 'x
while subwrd(result,i) != 'Variables'
    i=i+1; 'q file 'x
endwhile
y = subwrd(result,i+3); x = y.'x
return(x)

function MesOrdem(y)
/*Retorna o número de ordem do mes y */
i=1
while (MesNome(i) != y)
    i=i+1
endwhile
return(i)

function MesNome(i)
/*Retorna o nome do i-ésimo mês */
if (int(i)<=12) & (int(i)>=1)
    x.1=JAN; x.2=FEB; x.3=MAR; x.4=APR; x.5=MAY; x.6=JUN
    x.7=JUL; x.8=AUG; x.9=SEP; x.10=OCT; x.11=NOV; x.12=DEC
endif
return(x.i)

function lenght(x)
/*Retorna o comprimento de uma string */
i=1
while substr(x,i,1) != ""
    i=i+1
endwhile
return (i-1)

function int(x)
/* Função que fornece a parte inteira de um número */
i=0; r=""

```

```

while (r != '.')
    i=i+1;
    if i >length(x)
        r= '.', i=i+1
    else
        r=substr(x,i,1)
    endif
endwhile
y = substr(x,1,i-1)
return(y)

function resto(x,y)
    /* Retorna o resto da divisão de x por y */
    r= x-int(x/y)*y
    return(r)

function xMes()
    /* Retorna o mês atual */
    'q time'; rs =subwrd(result,3); mes=substr(rs,6,3);
    return(mes)

function bissexto(ano)
    /* A regra geral é o ano ser divisível por quatro. Os anos seculares são uma */
    /* exceção (1800, 1900, 2000 etc) só sendo bissextos quando forem divisíveis, também. */
    /* por 400 (1600, 2000, 2400 etc) */
    /*Retorna 1 se o ano é bissexto, e 0 se não for bissexto. */
    a = (resto(ano,4)=0 & !(resto(ano,100)=0 & resto(ano,400.0) != 0))
    return(a)

function NDias(mes,ano)
    /* Retorna o número de dias de um mes. Ano tem que ser positivo e mes deve estar */
    /* entre 1 e 12. Qualquer erro o número de dias retornado será nulo. */
    if (int(mes) >=1) & (int(mes)<=12)
        if mes = 2
            if bissexto(ano)
                aux = 29
            Else
                aux = 28
            endif
        else
            if mes = 7
                aux = 31
            else
                r=resto(mes,7); a=resto(r, 2)
                if int(a) > 0
                    aux = 31
                else
                    aux = 30
                endif
            endif
        endif
    else
        aux = 0
    endif
    return(aux)

function fator()
    /* Retorna o fator que deve ser multiplicado a taxa de precipitação, para se obter o valor da taxa de
    precipitação em mm/mes */
    'q time'
    rs =subwrd(result,3); ano =substr(rs,9,4); mes=substr(rs,6,3)
    return(NDias(MesOrdem(mes),ano)*86400)

```

```

function abre(x)
/* Abre um arquivo .ctl ou .nc */
len=length(x); r=substr(x,len-2,1);
if r=='.'
'sd fopen 'x
else
'open 'x
endif;
return

function ponto(x)
/* Retorna a posição do primeiro ponto da direita para esquerda .
/* senão retorna o comprimento da string */
i=length(x); aux=i; r=substr(x,i,1);
while (r!='.')
i=i-1; r=substr(x,i,1); if i=1; i= aux; return(i); endif;
endwhile
return(i)

function sponto(x)
/* Retorna o nome do arquivo sem a extensão */
i=ponto(x); len=length(x);
if len=i
r=substr(x,1,len);
else
r=substr(x,1,i-1);
endif
return(r)

function sinal(x)
/* Retorna sinal de um número */
y=1
if x < 0
y=-1
endif
return(y)

function RetW2XY(x,y,x2,y2,cor)
/*Desenha um retângulo na área do gráfico. a partir das coordenadas geográficas*/
'q w2xy 'x' 'y
xs= subwrd(result,3); ys= subwrd(result,6);
'q w2xy 'x2' 'y2
x2s= subwrd(result,3); y2s= subwrd(result,6);
'set line 'cor
'draw rec 'xs' 'ys' 'x2s' 'y2s
return

function PDoze(x)
/* Retorna o número do mês que x representa, mesmo que x for maior que 12 */
/* Valor: (1-12) ou 0(Zero) se o valor de x for zero */
r=0
if (x<=12 & x>=1)
r = x
else
r=resto(x,12)
if r = 0
r=12
endif
endif
return(r)

```



```

function contador(mes, t1, t2)
*/ Retorna o número de vezes que o mes está contido no intervalo t1-t2 */
'q dims'; resultado = sublin(result,5); Tmin=subwrđ(resultado,11); Tmax=subwrđ(resultado,13)
if Tmax=""
    Tmin=subwrđ(resultado,9); Tmax=Tmin;
endif
i=t1; n=0;
while i <= t2
    'set t 'i;
    if xMes()= mes
        n=n+1;
    endif
    i=i+1;
endwhile
'set t 'Tmin' 'Tmax
return(n)

function zoom(var)
'set t 1'; x1=1; 'd 'var
while (x1>=0.4)
    'q ginfo'; r = sublin(result,3);rs = sublin(result,4);
    x1 = subwrđ(r,4); x2 = subwrđ(r,6); y1 = subwrđ(rs,4); y2 = subwrđ(rs,6);
    'set rband 21 box 'x1' 'y1' 'x2' 'y2;
    */ Obtendo as coordenadas de tela */
    'q pos'; x1=subwrđ(result,3); y1=subwrđ(result,4); x2=subwrđ(result,8); y2=subwrđ(result,9);
    if (x1<=0.4); break; endif;
    if (x1!=x2 & x2!=" & y1!=y2 & y1!=") & (x1!=x2 & y1!=y2) & y1!=0
    */ Convertendo as coordenadas de tela em coordenadas geográficas */
        'q xy2w 'x1' 'y1; x1=subwrđ(result,3); y1=subwrđ(result,6);
        'q xy2w 'x2' 'y2; x2=subwrđ(result,3); y2=subwrđ(result,6);
    */ Verificando posições geográficas */
        if x1 > x2; aux=x1; x1=x2; x2=aux; endif
        if y1 > y2; aux=y1; y1=y2; y2=aux; endif
    */Selecionado janela lat-lon */
        if (x1!=x2 & x2!=" & y1!=y2 & y1!=") & (x1!=x2 & y1!=y2) & y1!=0
            'set lon 'x1' 'x2; 'set lat 'y1' 'y2; 'c'; 'd 'var
        endif
    endif
    x1=1
endwhile
return

```

E - Correlações entre dados de estações e alguns parâmetros de variabilidade climática do NCEP no período 1992-1997

E.1 - Correlação Simultânea (Lag = 0)

Cidade		4	6	8	9	10	12	13	VEI	Nina12	Nina3	Nina34	Nina4	PDO	SOI	NAO	QBO	TNI	WP	EN5
Fortaleza	1	0,34	0,55	0,44	0,41	0,49	0,24	0,25	-0,15	0,42	0,38	0,21	-0,10	0,08	-0,01	-0,01	-0,07	-0,22	0,13	0,00
Natal	4		0,77	0,74	0,65	0,53	0,33	0,17	0,05	0,27	0,35	0,32	0,17	0,15	-0,16	0,14	-0,30	-0,12	0,18	-0,36
Recife	6			0,80	0,68	0,61	0,24	0,11	-0,06	0,11	0,26	0,27	0,14	0,26	0,00	-0,07	-0,22	-0,21	0,15	-0,47
Maceió	8				0,81	0,58	0,32	0,00	-0,02	-0,02	0,17	0,24	0,21	0,15	0,00	0,01	-0,25	-0,21	0,10	-0,52
Aracaju	9					0,55	0,21	0,01	-0,10	-0,06	0,12	0,17	0,11	0,23	0,09	-0,02	-0,33	-0,21	-0,01	-0,45
Salvador	10						0,35	0,23	-0,12	0,02	0,15	0,17	0,10	0,15	-0,04	-0,09	-0,09	-0,21	0,21	-0,22
Ilheus	12							0,29	-0,02	0,25	0,18	0,11	0,07	0,02	-0,07	-0,05	0,08	-0,04	0,13	-0,03
Caravelas	13								0,01	0,07	0,09	0,06	-0,03	0,07	-0,29	-0,02	-0,10	-0,16	0,31	0,17
VEI										0,44	0,71	0,86	0,80	0,32	-0,67	0,02	0,29	0,51	0,15	-0,10
Nina12											0,85	0,58	0,16	0,21	-0,29	0,02	0,34	0,45	0,04	0,14
Nina3												0,90	0,48	0,38	-0,45	-0,05	0,29	0,53	0,15	-0,04
Nina34													0,77	0,33	-0,58	-0,05	0,20	0,45	0,18	-0,17
Nina4														0,10	-0,58	0,01	0,15	0,16	0,09	-0,24
PDO															-0,05	-0,22	0,33	0,43	0,14	-0,34
SOI																0,08	-0,14	-0,22	-0,29	-0,07
NAO																	-0,27	-0,26	0,05	-0,01
QBO																		0,44	0,11	0,08
TNI																			0,02	0,07
WP																				0,03

E.II - Correlação Defasada (Lag = 1, para estações)

Cidade		4	6	8	9	10	12	13	MEI	Nina12	Nina3	Nina4	Nina1	PDO	SOI	NAO	QBO	TXI	WP	Y
Fortaleza	1	0,54	0,55	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natal	4		0,77	0,74	0,65	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recife	6			0,80	0,68	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maceio	8				0,81	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracaju	9					0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salvador	10						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilheus	12							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caravelas	13								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEI									0	0,70	0,86	0,80	0	-0,67	0	0	0	0	0	0
Nina12										0,84	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nina3											0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nina34												0,76	0	-0,58	0	0	0	0	0	0
Nina4													0	-0,58	0	0	0	0	0	0
PDO														0	0	0	0	0	0	0
SOI															0	0	0	0	0	0
NAO																0	0	0	0	0
QBO																	0	0	0	0
TXI																		0	0	0
WP																			0	0

E.III - Correlação Defasada (Lag = 2, para estações)

Cidade		4	6	8	9	10	12	13	MEI	Nina12	Vina3	Nina32	Nina4	PDO	SOI	Nao	QBO	TNI	Wp	PAZ
Fortaleza	1	0.54	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natal	4		0.76	0.74	0.66	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recife	6			0.80	0.69	0.60	0	0	0	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maceio	8				0.82	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracaju	9					0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salvador	10						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilheus	12							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caravelas	13								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MEI								0	0.68	0.85	0.79	0	-0.67	0	0	0	0	0	0
	Nina12									0.84	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vina3										0.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vina34											0.76	0	-0.58	0	0	0	0	0	0
	Nina4												0	-0.58	0	0	0	0	0	0
	PDO													0	0	0	0	0	0	0
	SOI														0	0	0	0	0	0
	Nao															0	0	0	0	0
	QBO																0	0	0	0
	TNI																	0	0	0
	Wp																		0	0

E.IV - Correlação Defasada (Lag = 3, para estações)

Cidade		4	6	8	9	10	12	13	MEI	Nina12	Nina3	Nina34	Nina4	PDO	SOI	NAO	QBO	ONI	WVP	PVA
Fortaleza	1	0,54	0,54	0,43	0,41	0,49	0,26	0,24	-0,18	0,21	-0,11	-0,26	-0,23	-0,36	0,10	0,19	0,04	-0,08	-0,09	0,35
Natal	4		0,76	0,74	0,68	0,55	0,34	0,11	-0,20	0,39	0,15	-0,08	-0,35	-0,08	0,02	0,13	-0,11	-0,06	-0,04	0,32
Recife	6			0,80	0,70	0,61	0,25	0,08	-0,25	0,54	0,25	-0,08	-0,39	-0,12	0,22	0,11	-0,07	-0,05	-0,22	0,31
Maceió	8				0,83	0,58	0,36	-0,02	-0,20	0,48	0,29	0,04	-0,26	-0,05	0,10	0,06	-0,15	-0,11	0,03	0,20
Aracaju	9					0,56	0,23	0,02	-0,25	0,46	0,22	-0,05	-0,40	-0,04	0,14	0,16	-0,18	-0,06	-0,04	0,21
Salvador	10						0,38	0,26	-0,23	0,34	0,08	-0,16	-0,30	-0,13	0,22	0,14	-0,06	-0,13	-0,13	0,20
Ilheus	12							0,26	-0,02	0,06	-0,05	-0,06	-0,04	-0,16	0,11	0,05	-0,09	-0,07	0,05	0,21
Caravelas	13								0,06	0,00	-0,10	-0,10	-0,02	0,02	0,15	0,25	-0,05	-0,07	-0,07	0,08
	MEI									0,41	0,67	0,84	0,79	0,32	-0,66	0,11	0,25	0,41	0,14	-0,16
	Nina12										0,85	0,56	0,12	0,20	-0,27	0,07	0,33	0,43	0,04	0,11
	Nina3											0,89	0,44	0,38	-0,42	0,04	0,25	0,42	0,14	-0,10
	Nina34												0,75	0,34	-0,57	0,05	0,15	0,31	0,17	-0,24
	Nina4													0,08	-0,57	0,07	0,12	0,03	0,08	-0,28
	PDO														-0,04	-0,21	0,32	0,48	0,13	-0,35
	SOI															0,04	-0,11	-0,15	-0,29	-0,05
	NAO																-0,24	-0,15	0,09	0,03
	QBO																	0,42	0,10	0,06
	ONI																		-0,03	-0,01
	WVP																			0,03