

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS

CÉLIA CAMPOS BRAGA

INTER-RELAÇÕES ENTRE PADRÕES DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E DE
PLUVIOMETRIA NO NORDESTE DO BRASIL

ORIENTADORES
TANTRAVAHU VENKATA RAMANA RAO
CLÓVIS ANGELI SANSIGOLO

Campina Grande - PB
outubro de 2000

CÉLIA CAMPOS BRAGA

INTER- RELAÇÕES ENTRE PADRÕES DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E DE
PLUVIOMETRIA NO NORDESTE DO BRASIL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em
Recursos Naturais da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às Exigências para
a obtenção do grau de Doutor.

Área de Concentração: Recursos Hídricos
Sub Área : Ciclo Hidrológico

Orientadores: Dr. Tantravahi Venkata Ramana Rao
Clóvis Angeli Sansigolo

Campina Grande
Outubro 2000



B183i Braga, Celia Campos
Inter-relacoes entre padroes de indice de vegetacao e de pluviometria no nordeste do Brasil / Celia Campos Braga. - Campina Grande, 2000.
129 f. : il.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Satelites Meteorologicos - Indice de Vegetacao 2. Analise Multivariada 3. Variabilidade Sazonal 4. Tese - Recursos Naturais I. Rao, Tantravahi Venkata Ramana II. Sansigolo, Clovis Angeli III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

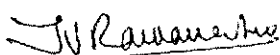
CDU 551.508.82:504.3(043)

CÉLIA CAMPOS BRAGA

**INTER-RELAÇÕES ENTRE PADRÕES DE ÍNDICE DE
VEGETAÇÃO E DE PLUVIOMETRIA NO NORDESTE DO BRASIL**

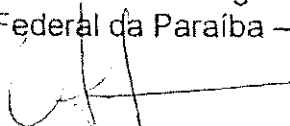
APROVADA EM: 03/10/2000

BANCA EXAMINADORA:



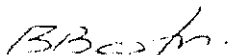
Prof. Dr. TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO

Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



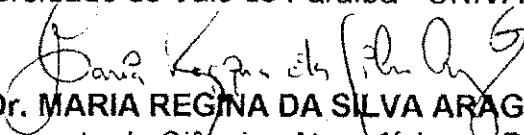
Dr. CLÓVIS ANGELI SANSIGOLO

Divisão de Ciências Meteorológicas - DCM
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE



Dr. EDUARDO JORGE DE BRITO BASTOS

Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP




Prof. Dr. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO

Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA

Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

DEDICATÓRIA

À minha mãe (*In Memoriam*) por tudo que representou para mim e para meus irmãos como exemplo de coragem, dedicação e luta para nos educar.

À meus filhos Giordana e Ramon e a meu marido Edgar, pela compreensão, confiança e constante incentivo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me dado coragem e força durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Meu muito obrigado ao Instituto de Pesquisa Espaciais (INPE) pelo fornecimento dos dados de satélites e acolhimento durante o processamento dos mesmos. Aproveito, ainda para agradecer ao Dr. Eduardo de Jorge de Brito Bastos pelas sugestões e apoio na fase inicial da pesquisa.

Meus agradecimentos ao Dr. Clóvis Angeli Sansigolo e ao Dr. Tantravahi Venkata Ramann Rao pela amizade, dedicação e imprescindível orientação, o que tornou possível a execução deste trabalho.

Nossa gratidão também é dirigida à professora Maria Regina da Silva Aragão pela amizade, apoio e revisão final do texto, assim como à Eyres Diana Ventura e José Ivaldo Barbosa de Brito pela amizade e contribuições na área de informática.

Finalmente, ao Departamento de Ciências Atmosféricas e à coordenação do Curso de Doutorado em Recursos Naturais, na pessoa do professor Dr. Pedro Vieira de Azevedo, assim com àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ANEXOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Climatologia do Nordeste	21
2.2 Satélites Orbitais Polares da Série AVHRR/NOAA	23
2.3 Análise Fatorial Aplicada a Dados Atmosféricos	28
2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Material	41
3.1.1 Área de Estudo	41
3.1.2 Dados de Satélites AVHRR/NOAA	42
3.1.3 Dados de Precipitação	44
3.1.4 Dados de Vegetação da Região Nordeste do Brasil	45
3.2 Métodos	49
3.2.1 Análise Fatorial em Componentes Principais	49
3.2.2 Fatores Comuns	51
3.2.3 Análise de Agrupamentos (Clusters)	52

3.2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)	54
3.2.5 Análise Fatorial e de Agrupamento de IVDN nos Modos Temporal e Espacial	55
3.2.6 Análise Fatorial e Agrupamento das Precipitações nos Modos Temporal e Espacial	56
3.2.7 Correlações Cruzadas Interanuais entre CP's de IVDN e Precipitações	56
3.2.8 Determinação e Características das Regiões Homogêneas de IVDN e Precipitações	57
3.2.9 Análise Fatorial Conjunta entre IVDN e Precipitações no Modo Temporal	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Padrões de Variabilidade Temporal e Espacial de IVDN no Nordeste do Brasil	59
4.1.1 Análise Temporal de IVDN	59
4.1.2 Análise Espacial de IVDN	62
4.1.3 Regiões Homogêneas de IVDN	65
4.1.3.1 Características das Regiões Homogêneas de IVDN	69
4.2 Padrões de Variabilidade Temporal e Espacial da Precipitação no Nordeste do Brasil	76
4.2.1 Análise Temporal das Precipitações	76
4.2.2 Análise Espacial das Precipitações	79
4.2.3 Regiões Homogêneas de Precipitação na Região Nordeste	81
4.2.3.1 Características das Regiões Homogêneas das Precipitações	85
4.3 Correlações Cruzadas interanuais entre IVDN e Precipitação	92
4.4 Análise Conjunta da Variabilidade Temporal de IVDN e Precipitações	93
4.4.1 Análise de Agrupamento em Função da Resposta do IVDN às Precipitações	96
4.4.2 Características das Regiões Homogêneas em Relação à Resposta de IVDN às Precipitações	100
5. CONCLUSÕES	107
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	116

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

VIS - Visível

IV - Infravermelho

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

IVDN– Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

CP – Componentes Principais

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

GIMMS - Global Inventory Monitoring Modelling Studies

NASA - National Aeronautics and Space Administration

ACP – Análise em Componentes Principais

GCMs – Modelos de Circulação Global

SARVI – Soil Adjusted and Atmospherically Resistant Vegetation Index

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

LAC - Local Area Coverage

GAC – Global Area Coverage

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index

ZCAS –Zona de Convergência do Atlântico Sul

NCEP – National Center for Environmental Prediction

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 – Mapa do relevo da Região Nordeste do Brasil	42
Figura 3.2 – Distribuição espacial das precipitações médias anuais no Nordeste do Brasil	43
Figura 3.3 – Distribuição espacial e identificação dos 185 pontos de grade de IVDN reduzidos numa grade de 100kmx100 km no Nordeste do Brasil	44
Figura 3.4 – Distribuição espacial dos 277 pontos de grade de 38x38 km ² com dados de IVDN e precipitações no Nordeste do Brasil	45
Figura 3.5 – Mapa dos principais tipos de vegetação no Nordeste do Brasil	48
Figura 4.1 – Cargas fatorais (correlações) para os três fatores comuns temporais de IVDN que explicam 96,8% da variância total (52,8+28,4+15,6%) no Nordeste do Brasil (1981-90)	60
Figura 4.2a, b, c – Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns (escores) de IVDN no Nordeste do Brasil (1981-90)	61
Figura 4.3a, b, c – Padrões espaciais (correlações) dos três principais fatores comuns espaciais de IVDN no Nordeste do Brasil (1981- 90) que explicam 90,2% da variância total	64
Figura 4.4 - CP's dos três primeiros fatores comuns espaciais (escores) de IVDN, no Nordeste do Brasil	65
Figura 4.5 – Dendrograma resultante dos agrupamentos dos 185 pontos de IVDN usando o método aglomerativo hierárquico de Ward	66
Figura 4.6 – Regiões homogêneas de IVDN obtidas a partir da análise de agrupamento pelo método de Ward dos seus principais fatores	

comuns espaciais e escores temporais no período de 1981-90.	67
Figura 4.7a – Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 1	69
Figura 4.7b – Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 2	70
Figura 4.7c – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 3	71
Figura 4.7d – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 4	71
Figura 4.7e – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 5	72
Figura 4.7f – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 6	73
Figura 4.7g – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 7	73
Figura 4.7h – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 8	74
Figura 4.7i – Valores médios mensais de NDVI e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 9	75
Figura 4.8 – Cargas fatorais (correlações) das precipitações que explicam 95,8% da variância total (42,8+31+22%) no Nordeste do Brasil (1969-89)	77
Figura 4.9a, b, c – Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns (escores) das precipitações no Nordeste do Brasil (1969-89)	78
Figura 4.10a, b, c, d – Padrões espaciais (correlações) para os quatro primeiros fatores comuns anuais das precipitações na região Nordeste do Brasil que explicam 75,7% da variância total	80
Figura 4.11 – CP's dos três principais fatores comuns espaciais das precipitações	81
Figura 4.12 – Dendrograma resultante do agrupamento das 166 estações pluviométricas pelo método aglomerativo hierárquico de Ward	82
Figura 4.13 – Regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e	

interanual das precipitações, obtidas a partir de uma análise de agrupamento dos seus principais fatores comuns espaciais e escores temporais no período de 1969-89.	83
Figura 4.14a – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 1	85
Figura 4.14b – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 2	86
Figura 4.14c – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 3	86
Figura 4.14d – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 4	87
Figura 4.14e – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 5	88
Figura 4.14f – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 6	88
Figura 4.14g – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 7	89
Figura 4.14h – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 8	90
Figura 4.14i – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 9	90

Figura 4.15 - Cargas fatorais (correlações) para os quatro primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,6% (34,3+30+18,4+6,9%) da variância conjunta do NDVI e das precipitações na região Nordeste do Brasil	95
Figura 4.16a, b, c, d – Padrões espaciais para os quatro primeiros fatores comuns (escores) de NDVI e das precipitações no Nordeste do Brasil (1981 – 90)	96
Figura 4.17 – Dendrograma resultante dos agrupamentos das 277 estações pluviométricas/NDVI pelo o método hierárquico aglomerativo de Ward	97
Figura 4.18 – Regiões homogêneas da resposta do NDVI às precipitações, obtidas a partir dos seus principais fatores comuns temporais (escores) para o período de 1981 – 90	98
Figura 4.19a – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 1 no Nordeste do Brasil	100
Figura 4.19b – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 2 no Nordeste do Brasil	101
Figura 4.19c – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 3 no Nordeste do Brasil	102
Figura 4.19d – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 4 no Nordeste do Brasil	102
Figura 4.19e – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 5 no Nordeste do Brasil	103
Figura 4.19f – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 6 no Nordeste do Brasil	104
Figura 4.19g – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 7 no Nordeste do Brasil	105
Figura 4.19h – Distribuição das médias mensais de NDVI e precipitações para a região (grupo) 8 no Nordeste do Brasil	105

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 – Principais características dos sistemas de sensores AVHRR/NOAA	25
Tabela 3.1 – Correção aplicação aos dados do IVDN devido à degradação do sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA 7, 9 e 11	55
Tabela 4.1 – Síntese das principais características das nove regiões (grupos) homogêneas de IVDN no Nordeste do Brasil	68
Tabela 4.2 – Síntese das principais características das nove regiões (grupos) homogêneas das precipitações no Nordeste do Brasil	84
Tabela 4.3 – Matriz das correlações entre as CP's de NDVI e precipitação (Ndvi1...Ndvi3 x Prec1...Prec5)	
Tabela 4.4 – Síntese das principais características das oito regiões (grupos) homogêneas da resposta do NDVI às precipitações no Nordeste do Brasil	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo A1 – Relação das estações/postos pluviométricas usados no estudo para o período de 1969-89 no Nordeste do Brasil	116
Anexo B1 - Distribuição espacial do IVDN (a) e das precipitações (b) no Nordeste do Brasil em 1983	123
Anexo B2 - Distribuição espacial do IVDN (a) e das precipitações (b) no Nordeste do Brasil em 1985	124
Anexo B3 - Distribuição espacial do IVDN (a) e totais anuais da precipitação (b) no Nordeste do Brasil em 1989	125
Anexo C1 – Estatística descritiva dos IVDN's mensais e anuais para as 09 regiões homogêneas.	126
Anexo C2 – Estatística descritiva das precipitações mensais e anuais para as 09 regiões homogêneas.	127
Anexo C3 – Estatística descritiva dos IVDNs mensais e totais anuais para as 08 regiões homogêneas	128
Anexo C4 – Estatística descritiva das precipitações mensais e anuais para as 08 regiões homogêneas	129

RESUMO

Este estudo objetiva identificar, analisar e interpretar os principais padrões de variabilidade sazonal e interanual do índice de vegetação IVDN e das precipitações na região Nordeste do Brasil. Foram utilizadas médias mensais de IVDN obtidas a partir de imagens AVHRR/NOAA, com resolução espacial de 7,6 km e médias mensais das precipitações de postos/estações pluviométricas distribuídos na região, com períodos de dados coincidentes com os de IVDN (1981-90). Empregou-se o método da Análise Fatorial em Componentes Principais e agrupamentos hierárquicos dos fatores comuns para determinar os padrões principais de variabilidade temporal e espacial e grupos homogêneos na região em estudo. Identificaram-se e caracterizaram-se nove regiões homogêneas em relação às variabilidades sazonais e interanuais de IVDN e precipitações, e oito regiões homogêneas em relação a resposta da vegetação, representada pelo IVDN, à variabilidade sazonal das precipitações mensais. Os resultados da análise temporal conjunta de IVDN e precipitações indicam que nas regiões semi-áridas com menores índices pluviométricos, situadas na região central do Nordeste, com cobertura vegetal predominante caatinga, os valores de IVDN aumentam após uma precipitação significativa com defasagem temporal de um mês. As demais regiões, localizadas no oeste e costa leste do Nordeste, com cobertura vegetal predominante floresta perenifólia, cerrado e elementos de cerrado, apresentam uma defasagem temporal de dois meses entre a precipitação e a resposta da vegetação. Tanto pela análise individual de IVDN e das precipitações como pela conjunta IVDN x precipitação, verifica-se que a resposta da vegetação está bastante associada aos regimes pluviométricos da região Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

The objective of this study is to identify, analyse and interpret the main patterns of seasonal and interannual variability of the vegetation index NDVI and the precipitation in the Northeast region of Brazil. Monthly averages of NDVI used in this study were obtained from the AVHRR/ NOAA images, with a spatial resolution of 7.6 km and the mean monthly precipitation of the rain gauge stations distributed in the region, with data periods corresponding to those of the NDVI (1981-1990). The method of Factorial Analysis in Principal Components and hierarchical grouping of common factors were used to determine the seasonal and spatial variation patterns and homogeneous groups in the region being studied. Nine homogeneous regions were identified and characterized in relation to the seasonal and interannual variations of NDVI and precipitation, and eight homogenous regions in relation to the vegetation's response, represented by the NDVI, to the seasonal variation of the monthly precipitation. The results of the combined temporal analysis of NDVI and precipitation indicate that in the semi-arid regions with the lowest rainfall rates, located in the central region of the Northeast, with the predominant vegetation covering of seasonal forest (caatinga), the NDVI values increased after a significant precipitation with a time lag of one month. The other regions, located in the west and the east coast of the Northeast, with a predominant vegetation covering of "perenifolia" forest, savanna and elements of savanna, show a time lag of two months between the precipitation and the vegetation response. From the individual analysis of NDVI and the precipitation and the combined analysis of NDVI's and precipitation it is verified that the response of vegetation is very well associated to the rainfall regimes of the Northeast region of Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil está situada entre as latitudes de 1° e 18°S e longitudes de 34° a 48°W, a leste da floresta Amazônica e a oeste do oceano Atlântico. A maior parte da sua área é caracterizada como semi-árida, com grande variabilidade espacial e temporal das precipitações e elevada taxa de evaporação.

A cobertura vegetal da Região Nordeste do Brasil é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisiografia e das condições climáticas. A porção mais semi-árida se destaca pela presença de caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso. Além dessa vegetação, destacam-se ainda a Mata Atlântica, a vegetação de praias, dunas e restingas, os cerrados, as matas ribeirinhas, vegetação de mangues, vegetação rupestre, etc. (IBGE, 1985).

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia levou pesquisadores de todo o mundo a desenvolver sensores de alta resolução capazes de fazer o monitoramento do comportamento espectral da vegetação que ocupa uma determinada área geográfica. O comportamento espectral dos sensores na banda do visível (VIS) e no infravermelho próximo (IV), instalados a bordo dos satélites meteorológicos, informa sobre a reflectância das superfícies vegetadas, o que possibilita delinear e monitorar áreas de cobertura vegetada em todo o globo.

A combinação da radiação refletida no infravermelho próximo e no visível, assim como o contraste em relação a outros alvos de superfície, é o centro da teoria que define o mapeamento da vegetação, a partir de dados do sistema de sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) dos satélites da série NOAA (National Oceanic and

Atmospheric Administration). Devido a sua pigmentação, a cor verde da vegetação sadia reflete mais no infravermelho próximo e menos no canal do visível, o que ocasiona altos valores para o IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Quando as folhas da vegetação começam a secar, elas perdem sua pigmentação verde, aumentando um pouco a reflectância no visível e diminuindo no infravermelho próximo, produzindo valores menores de IVDN. Sendo esses valores ainda maiores do que para os alvos da superfície, isto ajuda a distinguir a vegetação verde da seca e demais alvos da superfície (Parkinson, 1997).

Séries temporais e espaciais de IVDN têm sido utilizadas por vários pesquisadores em todo o mundo para identificação e classificação de vegetação terrestre, estimativas da produção primária da vegetação, caracterização da dinâmica da vegetação, resposta da vegetação às precipitações, alerta de secas, etc. Destacam-se os trabalhos de Nicholson & Farrar (1994), Eastman & Fulk, que estudaram a variabilidade temporal do IVDN para regiões semi-áridas da África, Huete et al. (1997), Gutman & Ignatov (1998) para diferentes tipos de vegetação do globo e Almeida (1997) para o cerrado brasileiro, os quais encontraram correlações entre o IVDN e a precipitação. Recentemente Barbosa (1998), analisando qualitativa e quantitativamente as variações mensais do IVDN e precipitação do período 1982-85 para dez áreas teste de diferentes tipos de vegetação, concluiu que o IVDN pode ser usado como indicador do regime pluviométrico, em períodos extremos de seca e chuva no Nordeste.

De modo geral, o sensoriamento remoto é útil para monitorar a resposta da vegetação às precipitações e outras condições ambientais, quantificadas a partir de sensores a bordo de satélites meteorológicos. Os dados oriundos desses satélites são muito importantes em estudos sobre regiões onde a densidade de estações de superfície é pequena. Além disso, as séries multitemporais de IVDN têm sido empregadas no monitoramento das possíveis modificações temporais e espaciais ocorridas devido à dinâmica da vegetação, tanto em escala global quanto regional.

Assim, a identificação de padrões de variabilidade temporal e espacial do IVDN e das precipitações através da Análise Fatorial em Componentes Principais e agrupamentos aplicadas a dados mensais e anuais permite, entre outras coisas, condensar as informações e determinar seus principais padrões de variabilidade temporal e regional, que facilitam a interpretação dos dados.

Neste sentido, levando em consideração os indicadores analíticos anteriormente expostos, bem como as potencialidades das ferramentas de trabalho observadas, os principais objetivos deste estudo são: a) identificar, analisar e interpretar os principais padrões de variabilidade sazonal, expressos pelas CP's temporais e interanual, expressos pelas CP's espaciais, de IVDN e das precipitações na Região Nordeste do Brasil; b) subdividir a Região Nordeste do Brasil em grupos homogêneos e caracterizá-los em relação às variabilidades sazonais e interanuais do IVDN e das precipitações e c) delimitar e caracterizar sub-regiões homogêneas em função da resposta da vegetação à variabilidade sazonal das precipitações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Climatologia do Nordeste

De modo geral, o clima de uma região é uma resposta natural aos fenômenos oceânico-atmosféricos, à fisiografia, à distribuição dos continentes e oceanos e à latitude, podendo ser modificado no decorrer do tempo através de atividades humanas. A distribuição espacial e temporal dos totais médios anuais da precipitação no Nordeste não é uniforme, apresentando grande variabilidade climática. A irregularidade climática decorrente dessa variabilidade faz com que grandes extensões do Nordeste sejam submetidas aos efeitos de severas estiagens, estando as áreas mais atingidas localizadas no chamado “Polígono das Secas” (Strang, 1972), cuja precipitação média anual é inferior a 1200 mm, chegando a valores extremos inferiores a 400 mm em algumas localidades, a exemplo de Cabaceiras, na Paraíba. Por outro lado, observa-se em algumas regiões da faixa litorânea leste, totais médios anuais de precipitação que superam 1800 mm, a exemplo do norte do Maranhão e de Ilhéus, na Bahia (Figura 3.2).

As variações interanuais são notáveis. Entretanto, uma análise da distribuição da precipitação sobre o Nordeste e regiões adjacentes sugere que o clima semi-árido é causado por mecanismos da circulação geral da atmosfera, combinados com outros efeitos tais como albedo e características topográficas (Nobre et al., 1986). Considerando a variação sazonal da precipitação na região como um todo, pode-se dizer que ela apresenta regimes pluviométricos diferentes com precipitações mais significativas de novembro a julho. A associação entre as variações espaciais e sazonais da precipitação na região identificam a

existência de, pelo menos, três tipos de regimes pluviométricos em três áreas distintas (Strang, 1972; Kousky, 1979).

O primeiro regime de precipitação influencia a área mais ao norte, abrangendo principalmente o Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e sertões da Paraíba e Pernambuco. Este regime apresenta máximo de precipitação nos meses de março e abril e está associado principalmente com o deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é parte integrante da circulação geral da atmosfera e está intrinsecamente relacionada com a temperatura da superfície do mar (TSM). Estudos mostram que a circulação atmosférica sobre o Atlântico é bastante diferente nos anos em que a precipitação se apresenta com grandes desvios em relação à média. Observa-se em anos chuvosos que a ZCIT atinge posição sul extrema nos meses de março, abril e maio, enquanto que nos anos secos o seu retorno para o Hemisfério Norte se verifica nas primeiras semanas de abril (Uvo, 1989). O tempo de permanência da ZCIT mais ao sul é mais importante que a posição meridional extrema que ela atinge no ano; tanto a posição mais ao sul quanto o tempo de permanência da ZCIT são influenciados não só por flutuações atmosféricas globais, como também por sistemas de escala sinótica.

O segundo regime de chuvas na região Nordeste está associado principalmente à penetração de sistemas de origem frontal oriundos das latitudes médias do Hemisfério Sul. Esses sistemas influenciam a precipitação, especialmente no sul-sudeste e oeste do Nordeste, durante quase todo o ano. Eventualmente esses sistemas chegam a atingir a latitude de 5°S. Kousky (1979) demonstrou que o maior número de passagens de zonas de convergências frontais pelo sul da Bahia corresponde a totais de precipitação mais elevados nas áreas sul e oeste do Nordeste, com máximo de novembro a janeiro. Chu (1983) também observou que o pico da estação chuvosa no sul do Nordeste ocorre em novembro e dezembro e está relacionado com a penetração de sistemas frontais austrais. Outro importante fenômeno meteorológico que atua no sul-sudeste do Nordeste no período de verão é a Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Ela é caracterizada por uma banda de nebulosidade de orientação noroeste/sudeste que persiste por vários dias, estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul provocando precipitação intensa (Kousky, 1988; Silva Dias & Marton, 1994).

Os dois regimes pluviométricos discutidos acima também são influenciados por outro sistema atmosférico de grande escala: os vórtices ciclônicos da alta troposfera. Esses sistemas se formam sobre o Nordeste/Atlântico Sul no período de novembro a abril (Kousky & Gan, 1981; Gan & Kousky, 1986; Lacava, 1995). Seu tempo de vida varia de algumas horas a mais de duas semanas. Eles ocorrem com maior frequência no verão, favorecidos pela configuração do escoamento médio na alta troposfera. Os vórtices são sistemas quase-estacionários que se deslocam de leste para oeste, provocando chuvas principalmente nas regiões sul, leste e central do Nordeste.

O terceiro regime, com máximos de precipitação no outono e inverno, atua na faixa litorânea leste do Nordeste, desde o Rio Grande do Norte até a Bahia. Esta região está sob a influência da predominância de movimentos ascendentes ao longo da costa devido à convergência dos ventos alísios de sudeste, que sopram do mar para o continente, com a brisa terrestre noturna, que sopra do continente para o oceano. Estudos mostram que mais de 50% da precipitação na costa leste ocorrem no período noturno, assim como o maior contraste térmico continente-oceano força circulações de brisa mais intensas nos meses de maio e junho (Kousky, 1980; Rao et al., 1993). É também nesses meses que os totais pluviométricos são mais influenciados pelos distúrbios de leste ou ondas de leste. Outro fator importante na produção de chuvas é a intensidade e posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul devido ao transporte de vapor d'água em baixos níveis.

Desse modo, constata-se que a ocorrência de chuva num determinado instante e lugar do Nordeste é consequência da atuação de sistemas atmosféricos organizados, que pertencem a escalas de tempo iguais ou inferiores à sinóptica. No entanto, é razoável supor que a frequência de ocorrência e/ou intensidade desses sistemas seja influenciada por fenômenos que ocorrem em escalas de tempo mais longas. Estudos observacionais e numéricos mostram uma relação significativa entre eventos típicos do El Niño-Oscilação do Sul e/ou do dipolo do Atlântico e a ocorrência de anomalias nos totais pluviométricos do Nordeste, particularmente na sua porção semi-árida (Hastenrath & Heller, 1977; Silva, 1996).

2.2 Satélites Orbitais Polares da Série AVHRR/NOAA

Os satélites da série NOAA têm órbita polar heliossíncrona. Seu sistema imageador, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/NOAA), consiste de um radiômetro com cinco canais sensíveis às bandas espectrais visível, infravermelho próximo e termal do espectro eletromagnético. Inicialmente, o objetivo desses sensores era fornecer a temperatura das nuvens, oceano e atmosfera. Em junho de 1981, foram introduzidas novas bandas nos sensores de alta resolução espectral AVHRR/NOAA-7 com capacidade para monitorar a vegetação na banda espectral do visível (canal 1) e infravermelho próximo (canal 2).

A série ímpar dos satélites TIROS-N (NOAA 7, 9 e 11), com cruzamento no equador próximo às 14:00 horas na sua órbita ascendente, permite o estudo de alvos com iluminação adequada do globo terrestre, o que não ocorre com os satélites de números pares em órbitas que cruzam o equador às 7:30 horas da manhã e da noite. A transformação dos dados dos canais 1 e 2 em índice de vegetação, especialmente o IVDN, tem se mostrado de grande valia para estudos de monitoramento da vegetação. As principais características dos satélites da série NOAA são mostradas na Tabela 2.1.

Em 1982, o Grupo de Estudos do Monitoramento e Modelagem Global (GIMMS) da National Aeronautics and Space Administration (NASA) dedicou-se a estudos multitemporais da vegetação usando dados do AVHRR/NOAA, para avaliar a utilização dos dados de satélite de baixa resolução espacial e obter informações sobre a distribuição fenológica da vegetação. Apesar dos canais selecionados terem fins meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos, o sistema possui características que possibilitam o monitoramento da vegetação.

O canal 1 corresponde à banda vermelha no espectro visível (0,58-0,68 μ m) na qual a radiação solar é absorvida pela clorofila. O canal 2, à região da banda espectral infravermelho próximo (0,725-1,1 μ m), na qual existe uma maior reflexão da radiação. O canal 3 corresponde à faixa de 3,55 até 3,93 μ m no infravermelho médio, utilizado geralmente para monitorar mapeamento noturno de nuvens, temperatura da superfície do mar, detectar focos de incêndio e atividade vulcânica. Os canais 4 e 5 se destinam a estudos climatológicos e se referem a porção termal do espectro na qual a energia emitida pelos alvos é detectada (Kassar,

1995). A calibração desses sensores segue os procedimentos recomendados pela NASA (Barbosa, 1998).

Tabela 2.1 Principais características dos sistemas de sensores AVHRR/ NOAA.

Parâmetros	Características Operacionais
Altitude (km)	833
Período da Órbita (minutos)	102
Órbita por dia	14,1
Ângulo de Varredura (nadir) (°)	55,4
Resolução do Terreno (nadir) (km)	1,1
Resolução no Terreno perpendicular a faixa	6,9
Largura da faixa imageada (km)	2700
Cobertura (horas)	12
Horário de cruzamento com Equador (hora)	07h30 e 19h30 satélite par (NOAA: 6, 8, 10, 12) 14h30 e 02h30 satélite ímpar (NOAA: 7, 9, 11)
Bandas Espectrais	Canal 1 580 – 680 nm Canal 2 735 – 1100nm Canal 3 3550 – 3930 nm Canal 4 10300 – 11300 nm Canal 5 11500 – 12500 nm

Fonte: Ehrlich (1994) *apud* Kidwell (1990) e IGBP (1992)

A combinação da máxima reflexão no canal infravermelho próximo com a pequena reflexão no canal visível, aliada ao contraste em relação a outros alvos de superfície, permite fazer o mapeamento da vegetação com os dados obtidos do sensor AVHRR/NOAA. Esta combinação, denominada Índice de Vegetação, compacta os dados espectrais dos dois canais em um único valor.

Nos últimos tempos tem surgido novas equações de razões entre as bandas espectrais do vermelho (V) e infravermelho (IF) para determinação de índices de vegetação. Pela existência de inúmeros índices foram referenciados os comumente mais utilizados na comunidade científica.

Jackson & Huete (1991) empregaram várias medidas espectrais para monitorar a cultura de trigo ao longo do seu ciclo de crescimento utilizando os seguintes índices de vegetação:

- a) Índice de vegetação de razão (RVI)

$$RVI = IF / V$$

- b) Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)

$$IVDN = (IF - V) / (IF + V)$$

onde, IF é a medida da refletância na banda espectral do infravermelho próximo do AVHRR/NOAA (0,725-1,10 μ m) e V é a refletância medida na banda espectral do visível (0,58-0,68 μ m), incluindo o laranja no comprimento de onda do visível. Assim, a palavra Diferença no acrônimo IVDN refere-se à diferença no numerador (IF-V) e Normalizada refere-se ao fato desta diferença ser dividida pela soma (IF + V).

- c) Índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI)

$$SAVI = 1+L (IF - V) / (IF -V + L)$$

Huete et al., (1988) mostraram que o ótimo valor de L=0,5

d) Índice de vegetação ajustado para o solo e atmosfera (SARVI)

$$\text{SARVI} = (\text{IF} - R_{av}) / (\text{IF} - R_{av} + L)$$

onde, $R_{av} = (R_v - \gamma (R_a - R_v))$, γ função de correção da reflectância, R_v radiação no vermelho, R_a radiação no azul.

Estudos preliminares indicam que os valores do IVDN para áreas vegetadas variam de 0,1 a 0,8, valores estes que dependem da arquitetura, densidade e umidade da vegetação. Rochas e solos sem vegetação apresentam valores próximos de zero e a água, valores negativos. Os maiores valores encontrados estão associados a coberturas muito densas. Segundo Parkinson (1997), valores típicos do IVDN são da ordem de 0,6, para florestas úmidas tropicais, 0,05 para o deserto e - 0,3 para nuvens que não precipitam. Efeitos atmosféricos (nuvens, vapor d'água, aerossóis) reduzem o contraste entre as reflectâncias no visível e no infravermelho próximo, diminuindo o índice de vegetação. Então, uma maneira eficaz para selecionar observações mais confiáveis é utilizar os valores máximos mensais do IVDN, em lugar de médias mensais. Procedimentos gerais aplicados à composição dos dados do AVHRR nos cálculos do índice de vegetação e perspectivas de seus aperfeiçoamentos futuros foram discutidos por Gutman (1991).

A vantagem dos satélites da série NOAA em relação a outros satélites como, por exemplo, o LANDSAT, é a sua grande resolução temporal, já que seus dados são diários, cobrindo todo o globo. A cobertura diária global possibilita superar melhor a restrição no uso de imagens devido a contaminação por nuvens. A observação diária dos alvos com os satélites NOAA permite explorar o grande potencial no monitoramento da evolução da cobertura vegetal numa escala regional ou global. Em particular, os dados do IVDN, gerados com base em informações dos satélites NOAA, tem sido amplamente utilizados como ferramenta valiosa na identificação e classificação da vegetação terrestre, estimativa da produção primária da vegetação, estudo da produtividade de ecossistemas, classificação de cobertura da terra, estudo do ciclo do carbono e bioquímico da terra e monitoramento de padrões fenológicos da superfície terrestre vegetada, incluindo períodos secos (Huete, 1994; Huete et

al., 1997; Barbosa, 1998). O índice de vegetação também pode ser usado para estimar o índice de áreas foliar (LAI) e radiação fotossinteticamente ativo (PAR) (Ranga et al., 1998).

2.3 Análise Fatorial Aplicada a Dados Atmosféricos

A técnica de análise multivariada denominada Análise em Componentes Principais foi introduzida pela primeira vez em estudos meteorológicos por Lorenz, em 1956, que as denominou de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) para destacar sua natureza não analítica. A partir de então, pesquisadores têm feito uso de tais técnicas em uma grande variedade de aplicações meteorológicas, entre os quais estão Tanaka et al. (1988), Braga (1992), Silva (1996), Ceballos & Braga (1995). Uma variedade de aproximações e interpretações do método de Componentes Principais pode ser encontrada na literatura (Bouroche & Saporta, 1983; Wilks, 1995).

Terrón (1990) utilizou a técnica de Análise em Componentes Principais para avaliar campos de geopotencial e precipitação. No caso, foram usados totais pluviométricos de 17 estações da cidade de La Habana e dados de altura geopotencial no nível de 700 hPa em 15 pontos igualmente espaçados na região compreendida entre as latitudes de 10 e 20 graus norte e as longitudes de 70 e 110 graus oeste. Ela encontrou para dados de geopotencial que os três primeiros fatores de ponderação explicavam 79,7 % da variância acumulada e, para a precipitação, que os quatro primeiros acumulavam 64,4% da variância total dos dados. Analisando o comportamento da distribuição espacial dos autovetores mais significativos de precipitação e geopotencial, a área ficou delimitada em três regiões homogêneas. A autora concluiu que a técnica de componentes principais é eficiente e rigorosa no tratamento de problemas de classificação e otimização de dados meteorológicos, para diferentes fins, pois leva a resultados objetivos que não estão em discrepância com as características físicas dos campos estudo.

Fernau & Samson (1990) empregaram a técnica da Análise de Agrupamento para definir períodos de condições meteorológicas similares e precipitação química na parte leste da América do Norte. A técnica estatística foi aplicada a vetores de transporte diário, para locais de monitoramento químico nos Estados Unidos, a fim de identificar regimes meteorológicos distintos e suas frequências de ocorrência para futuro uso em esquema de

agregação. Os autores obtiveram grupos relativamente insensíveis a mudanças no número de locais, anos e horas de ventos superiores usadas para definir os vetores distância.

Pandzic & Kisegi (1990) utilizaram dados de precipitação de 108 estações na Croácia, juntamente com dados médios mensais de pressão à superfície e de geopotencial em 500 hpa, numa grade de 12x19 pontos que abrangia a região de atuação da grande escala para o período de 1961-1980, objetivando avaliar o campo de precipitação de mesoescala associado à circulação de grande escala. Obtiveram dois grupos distintos: um relacionado com o curso climático anual dos campos considerados e outro, com suas anomalias. Encontraram uma regionalização das regiões de meso e grande escalas, dividindo-as em sub-regiões homogêneas, de acordo com o curso climático anual das variáveis, ficando assim estabelecida a conexão entre o curso anual da precipitação da Croácia e o campo de pressão de grande escala.

Sansigolo (1991) desenvolveu e avaliou uma técnica de previsão das precipitações sazonais no Nordeste do Brasil, oferecendo boas perspectivas de previsões práticas das precipitações. Utilizou os padrões de grande escala da TSM como único conjunto de preditores pois as TSMs, além de serem agentes forçantes, refletem estados atmosféricos simultâneos e prévios associados ao comportamento das precipitações. Esses padrões foram obtidos através de uma Análise em Componentes Principais na qual seus coeficientes de expansão temporal são os próprios preditores.

White et al. (1991) utilizaram dados mensais de precipitação da Pensilvânia (1958-78) para comparar várias soluções da análise em componentes principais. Foram testadas soluções rotacionadas oblíquas e ortogonais e uma solução não rotacionada para determinar se seus campos de cargas fatoriais individuais poderiam produzir padrões comparativamente similares. Os resultados indicaram que aparecem diferenças significativas devidas unicamente a escolha particular do algoritmo de rotação. As soluções oblíquas são geralmente mais estáveis do que as soluções não rotacionadas e rotacionadas ortogonais. Os autores mostraram as diferenças quantitativas entre as diferentes soluções (rotacionadas e não rotacionadas) e o perigo inerente à aplicação indiscriminada de uma dada solução se a interpretação física da regionalização é importante. Os autores assinalaram ainda que diferenças quantitativas entre áreas e fronteiras podem influenciar as análises dos componentes principais em domínio espacial global.

Braga (1992) empregou as técnicas de componentes principais e agrupamento hierárquico utilizando valores médios decendiais de precipitação de 65 locais, espacialmente distribuídos no estado da Paraíba, com o objetivo de determinar sub-regiões homogêneas. As duas primeiras componentes principais explicaram aproximadamente 93% da variância total da precipitação. A seguir, a autora usou os dois autovetores mais significativos para aplicar o método de agrupamentos proposto por Ward (1963), o qual permitiu dividir o domínio de estudo em cinco (05) regiões com regimes pluviométricos distintos entre si.

Green et al. (1993) aplicaram a análise em componentes principais a séries temporais de vento, temperatura e precipitação da região sul da Califórnia. A análise de agrupamento das cargas fatoriais das componentes principais (correlações) permitiu agrupar meses (estações) com padrão espacial similar. As análises subjetivas de temperatura e vento apresentaram longos períodos de inverno e verão e curtos períodos de transição, especialmente o outono. A precipitação apresentou um longo período de inverno, de novembro a maio, associado a sistemas sinóticos provenientes do Pacífico, uma estação de tempestades violentas de verão associadas a fluxo de umidade de sul, nos meses de julho e agosto, e períodos secos de transição separando as duas estações. Os meses agrupados para o vento e temperaturas coincidiram, sugerindo uma relação estreita entre as variáveis. Esse resultado é razoável, já que efeitos térmicos em mesoescala induzem circulações locais, tais como as brisas marítima e terrestre e as circulações em áreas topográficas complexas.

Ronchail (1994) empregou a Técnica em Componentes Principais para investigar a existência de uma possível relação entre o El Niño-Oscilação do Sul, a precipitação e sua variabilidade no altiplano e vales da Bolívia. Os resultados encontrados mostraram que para os anos do evento ENOS, em média, os totais pluviométricos do verão são menores do que os do ano seguinte ao evento. A ACP aplicada às precipitações anuais mostrou que a primeira componente explica 45% da variância do conjunto de dados, o que o levou a concluir que a Oscilação do Sul não é a maior responsável pela variabilidade das chuvas nas partes altas da Bolívia.

Como parte de um projeto de longa duração visando estudar as características de curto período das precipitações nos trópicos, Jackson & Weinand (1994) aplicaram a análise em componentes principais e agrupamentos para fazer uma classificação preliminar das precipitações em várias áreas da região tropical. O procedimento adotado funcionou bem e

as classificações resultantes não poderiam ser antecipadas utilizando apenas variáveis anuais e sazonais. A interpretação das componentes permitiu descrever características importantes de cada grupo de estações. Apesar das estações não representarem todas as diversas regiões tropicais, a seleção dos grupos, que apresentaram ampla variedade de características, sugere que eles sejam indicativos aplicáveis das condições em várias localidades. Os dados utilizados parecem ser adequados ao estudo, apesar dos períodos e comprimentos das séries das diferentes localidades não serem os mesmos.

Gong & Richman (1995) aplicaram várias técnicas da análise de agrupamentos a um conjunto de dados de precipitação da região central e leste da América do Norte, objetivando fazer uma intercomparação entre os vários métodos de classificação. Foram testados os métodos de ligação simples, ligação completa, ligação média entre grupos, média dentro de um novo grupo, Ward, K "means", aglomeração dos núcleos e a análise em componentes principais rotacionadas. Foram testadas três medidas de similaridade e três métodos de partição inicial. Os resultados mostraram que os métodos não hierárquicos tiveram melhor desempenho do que os métodos hierárquicos. Os métodos da análise em componentes principais foram os mais precisos, o método aglomerativo em torno dos núcleos foi superior aos demais métodos não hierárquicos (partição inicial aleatória) e o método de Ward apresentou o melhor desempenho entre os métodos hierárquicos. Das três distâncias testadas, a Euclidiana foi a solução mais precisa. Dentre os métodos de partição inicial, destaca-se o método de K "means" pela seleção dos pontos espalhados. Dos vários métodos testados, o de Ward, K "means" e aglomeração em torno dos núcleos alcançaram um alto nível de precisão para pequenas amostras. O nível de precisão dos grupos obtidos pela análise em componentes principais rotacionadas comparado com o de outros métodos testados sugere que a aplicação de uma metodologia de agrupamento grosseira e sem superposição, a dados geofísicos pouco claros e que se superpõem, resulta numa substancial degradação da regionalização apresentada.

Ceballos & Braga (1995) utilizaram dados diários de radiação global para os meses de fevereiro e setembro de 1976 de 19 estações espacialmente distribuídas no estado da Paraíba e áreas limítrofes, objetivando regionalizar e simular séries de dados. A partir de regiões com características homogêneas, determinadas com auxílio de técnicas de agrupamento hierárquico, os autores propuseram recompor séries de dados faltosos de

estações existentes na região, com base em informações de estações circunvizinhas que apresentassem boa correlação. Para a simulação das séries, foi adotado um critério no qual estimadores dos componentes principais podem ser obtidos com base no método dos mínimos quadrados. Os resultados desse estudo foram altamente satisfatórios, já que apresentaram erros padrões menores que a metade do desvio padrão típico da série temporal.

Esteban-Parra et al. (1998) aplicaram a análise em componentes principais a totais anuais e sazonais de precipitação de 40 localidades da Espanha para o período de 1880 a 1992. Análise das funções ortogonais empíricas (FOE) foi usada para reduzir espacialmente os dados das precipitações e facilitar o entendimento do papel desempenhado pelos regimes de circulação dominantes na região. De maneira geral, os resultados obtidos para séries anuais e sazonais selecionaram as três primeiras FOE's mais significativas, com exceção do verão, para o qual foram selecionadas quatro (04). A primeira FOE está centrada principalmente em Andalusia e interior da Espanha. Nesta região, a precipitação está associada com a circulação de oeste (massa de ar tropical marítima). A segunda e terceira FOE's estão altamente relacionadas com os regimes de precipitação do Mediterrâneo e costa Cantábrica, dependendo da estação do ano. A análise espacial das FOE permitiu identificar três regiões coerentes na área estudada: a região sul e interior da Espanha, a costa leste do Mediterrâneo e a costa norte Cantábrica. Somente para o verão parece existir uma quarta região, como resultado da separação da primeira FOE em duas, associadas com a região sul e o interior da região norte, respectivamente. Este fato é uma consequência da intensificação e presença da alta dos Açores nesta estação do ano.

Sansigolo (1998) aplicou a análise dos fatores principais a 60 anos de dados mensais (1926-1985), de 26 estações meteorológicas distribuídas sobre a Amazônia brasileira, para derivar padrões temporais e espaciais da variabilidade das precipitações. O autor utiliza a análise espectral cruzada para determinar a coerência entre as séries temporais do Índice da Oscilação do Sul e das temperaturas da superfície do Atlântico e Pacífico e os fatores comuns mais significativos da precipitação. O propósito desse estudo foi fazer uma regionalização usando a análise fatorial para aprimorar o entendimento físico de alguns padrões de chuvas na região Amazônica.

Braga & de Melo (1999) aplicaram a Análise em Componentes Principais e Métodos dos Mínimos Quadrados à regiões homogêneas de precipitação no estado da Bahia,

objetivando simular séries climatológicas. As regiões homogêneas foram anteriormente determinadas por Braga et al. (1998), a partir das médias decendiais da precipitação para 140 estações meteorológicas. Os resultados obtidos da simulação mostraram erros percentuais elevados em alguns decêndios devido a variabilidade espacial e temporal da precipitação em algumas regiões homogêneas. No entanto, o método de simulação pode ser útil e recomendado para algumas regiões onde o regime pluviométrico é mais regular, a exemplo do litoral.

2.4 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

O IVDN é uma grandeza que caracteriza o vigor da vegetação, sendo obtida pela combinação dos dados remotos dos canais 1 e 2 do sistema de sensores AVHRR/NOAA. A partir da década de 80, os dados derivados do AVHRR vêm sendo usados para descrever a distribuição de grande escala e mudanças fenológicas da vegetação em diversas regiões do mundo. Seu sucesso deveu-se a grande variabilidade natural no tempo e espaço da vegetação. Estudos sobre áreas desérticas e florestas ou sobre regiões agrícolas com mudanças da cobertura vegetal de solo nu para solo com cobertura densa têm sido bem sucedidos devido a presença de grande mudança no sinal, o que resulta em mudança na razão sinal para ruído. A redução do ruído torna-se essencial para o monitoramento das mudanças da superfície ano a ano em áreas específicas, no mesmo período de tempo. A redução do ruído do Índice de Vegetação Global (GVI) é muito importante em modelos numéricos de previsão do tempo. Gutman et al. (1991) desenvolveram uma técnica para reduzir a variabilidade do IVDN, a qual era supostamente causada mais pelos efeitos geométricos da visada dos satélites do que pelas mudanças naturais ocorridas na superfície terrestre ao longo dos anos. Tais correções são mostradas para um conjunto de 30 dias de dados observados sobre a planície do Kansas (USA) e para um subconjunto de dados do Índice de Vegetação Global sobre uma região em Iowa.

Townshend et al. (1985) empregaram a análise em componentes principais para investigar a estrutura básica do IVDN na África e América do Norte, para várias épocas do ano, no período de abril de 82 a março de 83. Foram utilizadas imagens com composição temporal de 3 semanas para reduzir o efeito da cobertura de nuvens. As duas primeiras CP's explicaram aproximadamente 90% da variância para os dois continentes. A primeira componente está estreitamente relacionada com a variabilidade anual do IVDN e a segunda,

com a sazonalidade do IVDN. Os resultados mostraram similaridades notáveis na estrutura multivariada dos continentes. Os autores mostraram também a importância de imagens multitemporais obtidas adequadamente no decorrer de anos individuais para descrever o comportamento da cobertura vegetal.

Jackson et al. (1991) fizeram um estudo comparativo dos Índices de Vegetação (IV) baseados em dados obtidos de sensores localizados em terra e de sensores de alta resolução a bordo dos satélites LANDSAT-TM, SPOT-HRV e NOAA/AVHRR. Mostraram que, para um mesmo alvo (trigo), os valores do IV calculados com instrumentos diferentes, podem não ser os mesmos devido aos detectores e características dos filtros dos instrumentos. Os valores obtidos para o LANDSAT e SPOT foram similares, porém diferentes dos do AVHRR/NOAA. Os valores do IV/VIS do AVHRR/NOAA foram cerca de 20% menores. O propósito do trabalho foi mostrar as diferenças de magnitude ocorridas nos cálculos dos índices de vegetação, e apresentar sugestões e interpretações eficazes para o uso dos mesmos.

Santos et al. (1991) analisaram a relação de dados do AVHRR/NOAA e LANDSAT-TM no processo de avaliação e distribuição espacial do antropismo em áreas de contato floresta/savana na região central do Brasil. Na abordagem metodológica as imagens do AVHRR/NOAA são comparadas com as imagens do LANDSAT-TM, tendo como parâmetro avaliador a área estimada de ação antrópica em sub-parcelas determinadas pela grade de projeção para facilitar a análise da distribuição espacial. Os autores fizeram regressões lineares entre as imagens dos dois tipos de sensores. A análise comparativa dos dados dos sensores AVHRR e TM através da análise de regressão apresentou relação significativa entre as áreas antrópicas e floresta/savana.

Eastman & Fulk (1993) utilizaram séries mensais do IVDN obtidas do AVHRR/NOAA, no período de 1986-1988, para analisar condições ambientais espaciais na África, através da análise em componentes principais padronizadas. A primeira componente principal representa as características do IVDN independentemente da estação do ano. A segunda, terceira e quarta componentes principais relacionam as mudanças sazonais do IVDN. A quinta e sexta revelam flutuações nos valores do IVDN devidas ao sensor, provocadas por atrasos sucessivos no cruzamento equatorial do satélite NOAA-9. Os autores mostraram que a técnica é um indicador abrangente de mudanças em séries temporais cujos valores são influenciados por eventos periódicos e não periódicos.

Batista et al. (1993) estudaram a variação do IVDN, para vários tipos de vegetação de porte florestal na Amazônia legal brasileira, separando-as e verificando a variação fenológica dessa vegetação em função das estações do ano e eventos extremos marcantes (efeito El Niño). Comparações entre anos normais e anos com eventos ENOS indicaram a influência deste fenômeno na fenologia da vegetação de floresta. O resultado do IVDN para amostra cerrado foi sempre distinto da floresta densa. Contudo, a diferenciação foi mais pronunciada no período de seca. A caatinga apresentou grande variação do IVDN ao longo do ano, com valores médios menores durante a estação seca e os maiores sendo quase tão altos quanto os da floresta densa. Excetuando a caatinga e o cerrado, a fenologia da cobertura vegetal não varia muito durante o ano. Entretanto, para ano de El Niño como o de 1983, houve uma redução significativa nos valores do IVDN durante a estação seca, especialmente para a floresta de transição. Isto evidencia a importância de dados multitemporais para a caracterização de ecossistemas de floresta. Os resultados obtidos mostraram que os valores do IVDN são da ordem de 0,5 para a vegetação densa, 0,35, para a caatinga, enquanto que no cerrado o IVDN médio foi em torno de 0,3 com maior variação sazonal.

Ainda, Batista et al. (1997) utilizaram composições mensais e anuais dos dados do IVDN de 1981 a 1991 do sensor AVHRR/NOAA para investigar e identificar mudanças climáticas interanuais ocorridas nos diversos tipos de cobertura de vegetação sobre a região Amazônica. Os tipos de vegetação estudados foram floresta densa, aberta, transitiva, caatinga e dois tipos de cerrado. Os resultados evidenciaram que as composições usadas apresentaram forte sazonalidade no cerrado e caatinga, enquanto que para os demais tipos de cobertura florestal mostraram pouca variação no decorrer dos anos analisados. Como já visto em trabalhos anteriores (Batista et al., 1993), as composições anuais mostraram uma clara e significativa redução do IVDN nos anos de El Niño. Contudo, os autores alertam que estes dados devem ser usados com precaução tendo em vista possíveis interferências tais como contaminação por nuvens, erupções vulcânicas e calibração do sensor.

Um conjunto de dados mensais do IVDN com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude e longitude foi utilizado por Los et al. (1994) para comparar parâmetros biofísicos da dinâmica da vegetação com estudos climáticos prévios. Os dados compreendem o período de

1982-1990 e foram processados pelo GIMMS da NASA, com base em informações coletadas pelo sensor AVHRR/NOAA-7-9-11. Os autores mostraram exemplos da variação espacial e temporal das propriedades espectrais da vegetação contida nesses dados do IVDN e os compararam com a dinâmica dos parâmetros biofísicos derivados das classes de cobertura terrestre que foram usadas em estudos climáticos prévios. Concluíram que, mesmo com a diminuição na quantidade de dados do IVDN, parece haver um razoável relacionamento entre esses dados introduzidos nos Modelos de Circulação Global (GCMs) e as informações espaciais da dinâmica da vegetação.

Liu et al. (1994) utilizaram composições de 15 dias para produzir mapas do IVDN do sensor AVHRR/NOAA, objetivando avaliar a evolução da seca no continente americano. A resposta da vegetação seca é estudada pela análise da evolução temporal e espacial de mapas mensais de áreas secas, as quais são delimitadas pelos valores do IVDN menores do que 0,22. Essas informações foram usadas para discutir a relação do padrão seco no ano de El Niño de 82/83 e ano úmido de 84/85. A análise foi para o continente americano, dando maior ênfase à região Nordeste do Brasil, porque a área de cobertura relativamente seca demonstrou alta variabilidade interanual. Os resultados indicam o potencial do uso de imagens de satélites para monitorar ocorrência de secas, como também estudar a variabilidade climática em escala regional e continental.

Nicholson & Farrar (1994) fizeram um estudo na África para investigar a variabilidade espacial e temporal do IVDN para seis tipos de vegetação e solo, e suas relações com a variabilidade de chuvas e umidade do solo. O estudo mostrou uma relação linear entre chuva e IVDN desde que a chuva não ultrapasse 500 mm/ano ou 50-100 mm/mês. Acima desses limites, a resposta à vegetação acontece mas o IVDN cresce muito lentamente com a chuva. Estes valores críticos da precipitação se verificam mais na Botswana do que no oeste da África ou Sahel. Os resultados mostram que a razão entre IVDN e chuva em Botswana é muitas vezes maior do que em savanas nas outras duas regiões. A relação do uso eficiente da chuva e total de produtividade determinada pelo IVDN varia com a vegetação e tipo de solo. A produtividade e eficiência são maiores em solos ricos em argila e menores em solos arenosos. Em geral, o uso eficiente da chuva parece ser uma função mais ligada ao tipo de solo do que à formação da vegetação.

Huete et al. (1997) compararam vários Índices de Vegetação de um conjunto de dados globais imageando um pixel com resolução de 250 m do Thematic Mapper (TM) processados pelo EOS-MODIS. Foram comparadas as diferenças e similaridades nas condições de sensibilidade para vários tipos de vegetação entre vários índices espectrais. Todos os índices mostraram uma relação qualitativa para as várias vegetações. Entretanto, existe uma variação mais significativa dos Índices de Vegetação sobre o deserto, pastagem e floresta. O IVDN foi sensível e respondeu para a reflectância na banda vermelha que tem alta absorvidade; e os outros índices, tais como o SARVI responderam melhor às variações no infravermelho próximo. O IVDN seguiu as variações na reflectância no vermelho e saturou sobre regiões florestais enquanto o SARVI, pelo contraste, não saturou e seguiu as reflectâncias no infravermelho próximo. As diferenças de IVDN encontradas são úteis para melhorar o monitoramento da vegetação e sensibilidade da fração da radiação absorvida da radiação fotossinteticamente ativa (PAR); já o SARVI é mais sensível para parâmetros estruturais do dossel, tais como índice de área foliar e morfologia da folha.

Kogan (1997) utilizou os índices de condições de vegetação (VCI) e temperatura (TCI) para monitorar e avaliar a intensidade e duração das secas em diferentes ambientes ecológicos do mundo. Os dados do VCI foram derivados do IVDN (canais 1 e 2 do AVHRR) e o TCI derivado da radiância medida no canal termal do AVHRR (10,3-11,3 μ m), convertida para temperatura de brilho (TB). A aplicação do VCI e TCI foram ilustradas e validadas por medições "in situ". Os índices foram usados também para avaliar o impacto das secas na produção agrícola regional na América do Sul, Ásia, América do Norte e Europa. Os resultados apresentados neste estudo mostraram alto potencial do VCI e TCI para fazer a vigilância de secas a nível global.

O estudo realizado por Srivastava et al. (1997) trata da relação entre as variações sazonais do IVDN e totais sazonais da precipitação e transpiração em seis (06) localidades tropicais semi-áridas, susceptíveis a diferentes tipos de secas (muito severa, severa e moderada) no estado de Karnataka (Índia). Pela análise de regressão os autores concluíram que a relação entre o IVDN e a água utilizada pelas plantas para o seu desenvolvimento é mais significativa do que a relação entre o IVDN e os totais sazonais das precipitações em ecossistemas de terra seca.

Shimabukuro et al. (1997) fizeram a decomposição de seis imagens derivadas do AVHRR em imagens de frações de vegetação, solo e sombra como produto adicional para o mapeamento da cobertura da terra. Os resultados mostraram uma melhoria potencial no estudo global da cobertura da terra. Os valores da fração vegetação foram fortemente correlacionados com os valores do IVDN. As outras duas frações, solo e sombra, ajudam a entender melhor a resposta espectral da cobertura da terra e podem ser úteis para diferenciar áreas florestadas de áreas agrícolas.

Almeida (1997) aplicou a Análise em Componentes Principais (ACP) e agrupamentos aos índices sazonais de IVDN e chuva de 234 estações meteorológicas no cerrado brasileiro, objetivando determinar grupos homogêneos do IVDN. A região do cerrado foi dividida em dez grupos distintos com defasagens temporais individuais diferenciadas. Considerando todos os grupos do cerrado, a precipitação média máxima foi observada em janeiro e o IVDN médio máximo em fevereiro, ou seja, com uma defasagem fenológica positiva de um mês. Já a precipitação média mínima foi verificada em julho, enquanto o IVDN médio mínimo foi em setembro, proporcionando uma defasagem fenológica negativa de dois meses.

Barbosa (1998) utilizou dados do IVDN derivados das imagens AVHRR processadas pelo GIMMS/NOAA para determinar a resposta desse índice aos diversos tipos de vegetação em função da pluviometria, visando o monitoramento de eventos climáticos extremos na Região Nordeste do Brasil. A base de seu estudo foram os dados de IVDN e precipitação para o período de 1982 a 1985, no qual ocorreu um evento intenso de El Niño. O autor mostrou que o IVDN pode ser usado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva na região Nordeste do Brasil, tanto a nível local como regional.

Gutman & Ignatov (1998) fizeram uso de 5 anos de dados do IVDN derivados das informações do sensor AVHRR/NOAA para produzir dados mensais da fração vegetação (fg) para serem utilizados na entrada de modelos de previsão regional (ETA) e global de médio prazo (MRF) do National Center for Environmental Prediction (NCEP) e do National Weather Service (NWS). Foi usado um procedimento simples para analisar e derivar mapas globais mensais de fg, com resolução espacial de $0,15^\circ \times 0,15^\circ$, do conjunto de dados do

Índice de Vegetação Global (IVG) da NOAA. As estimativas de fg obtidas do AVHRR foram sub-determinadas, de forma que o problema da ambigüidade na estimação de fg foi resolvido pelos autores assumindo vegetação densa. Os resultados preliminares da incorporação dos mapas da fração vegetação (fg) nos modelos numéricos de previsão do tempo do NWS mostraram uma melhora significativa na previsão dos fluxos à superfície.

Gutman (1999) analisou o comportamento das séries temporais de ondas curtas do AVHRR para os últimos 12 anos, processadas usando a calibração de pós-lançamento, e investigou sua utilização nos processos de monitoramento global dos continentes. São verificadas as calibrações de pós-lançamento dos sensores AVHRR a bordo dos satélites NOAA-11 e NOAA-14. É assumido que a calibração e as mudanças nos efeitos de iluminação do NOAA-9 estão corretas e podem ser utilizadas na parametrização dos dados dos satélites NOAA-11 e 14. Os resultados da calibração para o NOAA-11 apresentaram pequenos resíduos enquanto que para o NOAA-14 produziram reflectância e índice de vegetação não realísticos no globo. O estudo chama atenção para os dados globais do AVHRR disponíveis e sugere formas de melhorá-los para estudos de variabilidade interanual.

Recentemente, Gutman et al. (2000) utilizaram um conjunto de dados do AVHRR/NOAA para mostrar sinais do impacto do El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) no sistema Terra-Atmosfera. Foram analisadas mudanças mês a mês das condições Terra-Atmosfera para o arquipélago da Indonésia, no período de julho de 1997 a junho de 1998. Os autores mostraram que o maior impacto do ENOS sobre a Indonésia foi um período seco prolongado com baixíssima nebulosidade, precipitação e vapor d'água, provocado por um aumento significativo na radiação absorvida e perda da radiação de ondas longas. É mostrado também um decréscimo na fração vegetação verde e albedo da superfície devido a queimadas intensas. Enfim, os autores mostraram como dados meteorológicos derivados de um único instrumento do AVHRR podem ser combinados para monitorar os impactos das dinâmicas espacial e temporal do ENOS. Este tipo de estudo, baseado em muitas variáveis meteorológicas, permite obter uma visão mais abrangente do estado do sistema Terra-Atmosfera e das relações entre os diferentes componentes desse sistema.

Inúmeros estudos têm sido desenvolvido utilizando dados de IVDN obtidos de sensores de alta resolução instalados a bordo de satélites meteorológicos, com diferentes finalidades. Algumas dessas aplicações do IVDN incluem monitoramento de cultivo agrícola

regional, desertificação, monitoramento de secas e resposta da vegetação às precipitações. O índice de vegetação é útil também no estudo temporal e interanual da vegetação, bem como no desenvolvimento de característica de resposta da superfície para o uso em modelos climáticos de previsão (Gutman & Ignatov, 1998).

Os trabalhos citados acima serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa. Os relacionados com a região Nordeste investigaram a variabilidade sazonal e interanual de IVDN e precipitação a partir de médias e correlações pontuais, a exemplo de Barbosa (1998). Neste estudo foram mostrados os padrões de variabilidade sazonal e interanual dessas variáveis em regiões homogêneas do Nordeste, que é um avanço significativo em relação aos estudos anteriores. Outra contribuição importante é a incorporação dos valores do IVDN em modelos numéricos de previsão de tempo e clima, visando melhorar os fluxos de superfície. Gutman & Ignatov (1998) em estudos preliminares mostraram que a incorporação dos mapas da fração vegetação em modelos de previsão do NCEP, teve uma melhora significativa nos resultados dos fluxos da superfície.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área de Estudo

A região do Nordeste brasileiro, situada entre as latitudes de 1° e 18° ao sul do Equador e as longitudes de 34° e 48° oeste, abrangendo extensão territorial de aproximadamente 1,6 milhão de quilômetros quadrados, é conhecida como uma região complexa do ponto de vista climático. Compreende nove estados da União: Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe, Alagoas, Bahia, Maranhão e Piauí. O Nordeste brasileiro apresenta topografia bastante irregular, composta por planaltos, serras e chapadas, depressões e vales (Figura 3.1). Na parte oriental encontra-se o Planalto Nordestino, bastante extenso, abrangendo o Planalto da Borborema, Serra do Araripe e Chapada Diamantina. Na parte ocidental estão os chapadões do Maranhão e Piauí. As maiores depressões encontram-se ao longo do Rio São Francisco.

A variabilidade da precipitação está intimamente relacionada aos sistemas atmosféricos pertencentes a várias escalas de tempo (vide seção 2.1) os quais, interagindo entre si, caracterizam a região por suas particularidades climáticas. A vegetação é muito diversificada em consequência da variabilidade espacial e temporal das chuvas. Como se pode observar na Figura 3.2, na faixa do litoral leste e norte do Maranhão, os totais médios anuais das alturas pluviométricas ultrapassam os 1900 mm, enquanto que em determinadas localidades do semi-árido, são inferiores a 500 mm anuais.

projeto de cooperação entre o INPE e a NASA/GSFC, dentro do programa EOS (Earth Observation System). Os dados do Índice de Vegetação processados pelo GIMMS (Global Inventory Monitoring Modelling Studies) da NASA, são organizados por continente e as informações referentes aos oceanos são omitidas. Esses dados são provenientes dos canais 1 e 2 (visível e infravermelho próximo) do sensor AVHRR e são convertidos em unidades de reflectância usando a calibração pré-vôo fornecida pela NOAA. Os dados são processados pelo GIMMS/NASA que produz as imagens do IVDN através do GAC (Global Area Coverage). Esses dados são remostrados, resultando em uma imagem de IVDN de resolução espacial de 7,6 km x 7,6 km. Valores do IVDN são composições mensais, geradas a partir dos máximos valores do mês atribuído a cada ponto. Foram utilizados dados em pontos de grade reduzidos para $0,90^\circ \times 0,90^\circ$ de latitude e longitude e $0,34^\circ \times 0,34^\circ$. A identificação dos pontos de IVDN nas duas grades estão ilustrados nas Figuras 3.3 e 3.4.

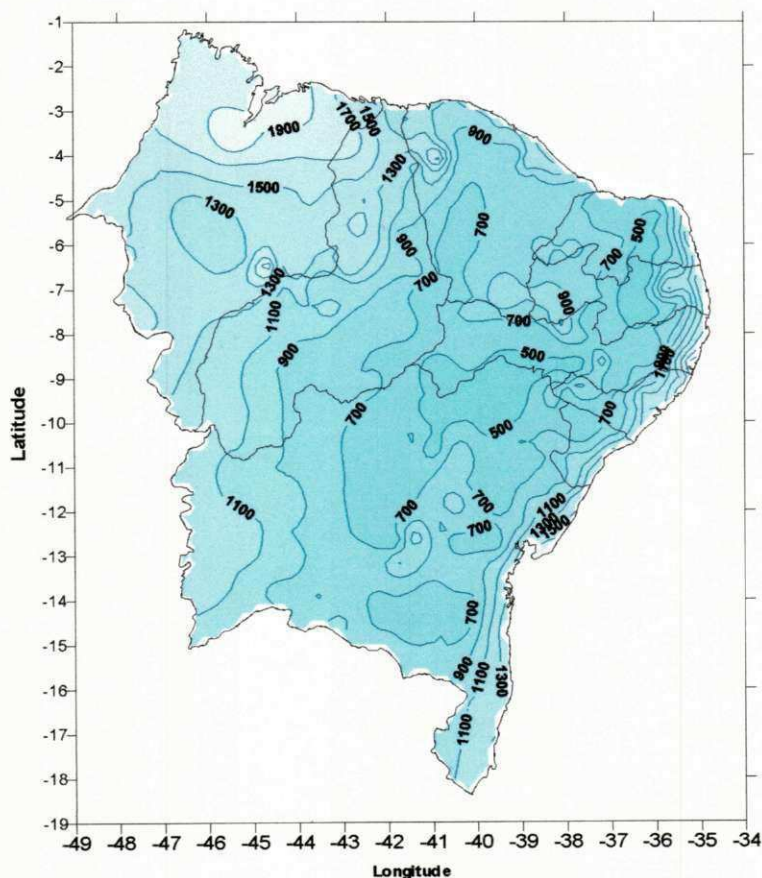


Figura 3.2 - Distribuição espacial das precipitações médias anuais no Nordeste do Brasil.

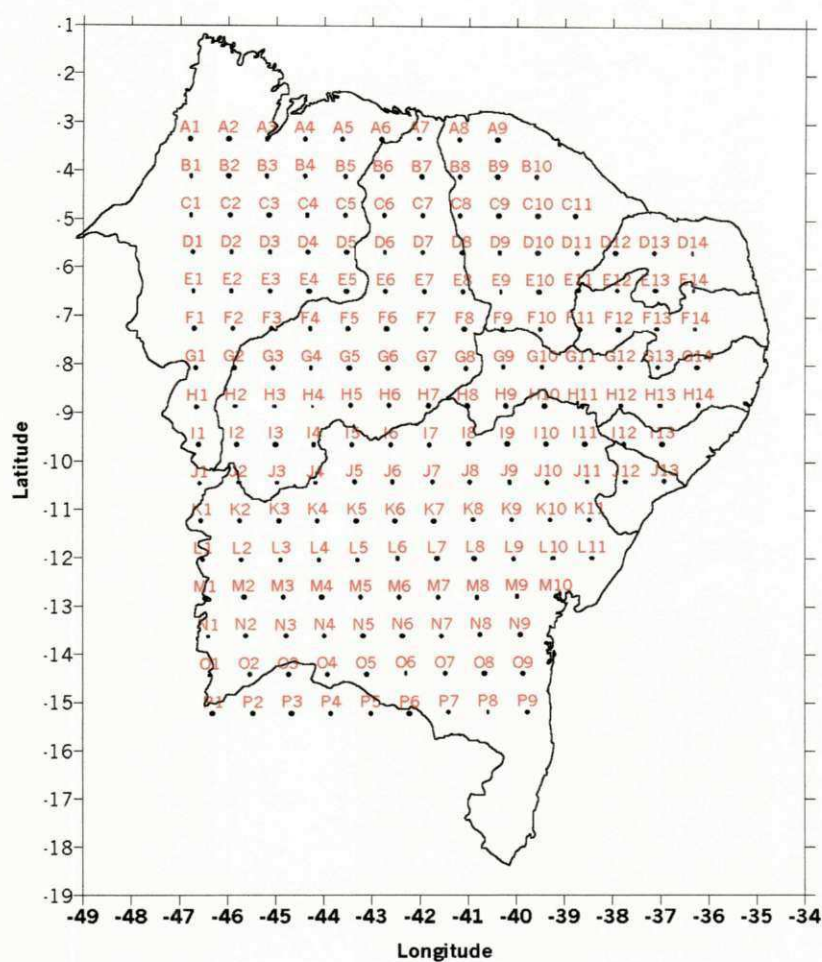


Figura 3.3 – Distribuição espacial e identificação dos 185 pontos de grade de IVDN reduzidos numa grade de 100 km x 100 km no Nordeste do Brasil.

3.1.3 Dados de Precipitação

Utilizou-se dados mensais das precipitações de estações bem distribuídas pela região Nordeste como mostrado na Tabela A.1 (anexo A). Esses dados são oriundos das estações climatológicas e postos pluviométricos, cujas séries disponham de longo período de registro (1969-1989). Esses dados se encontram disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, e foram cedidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

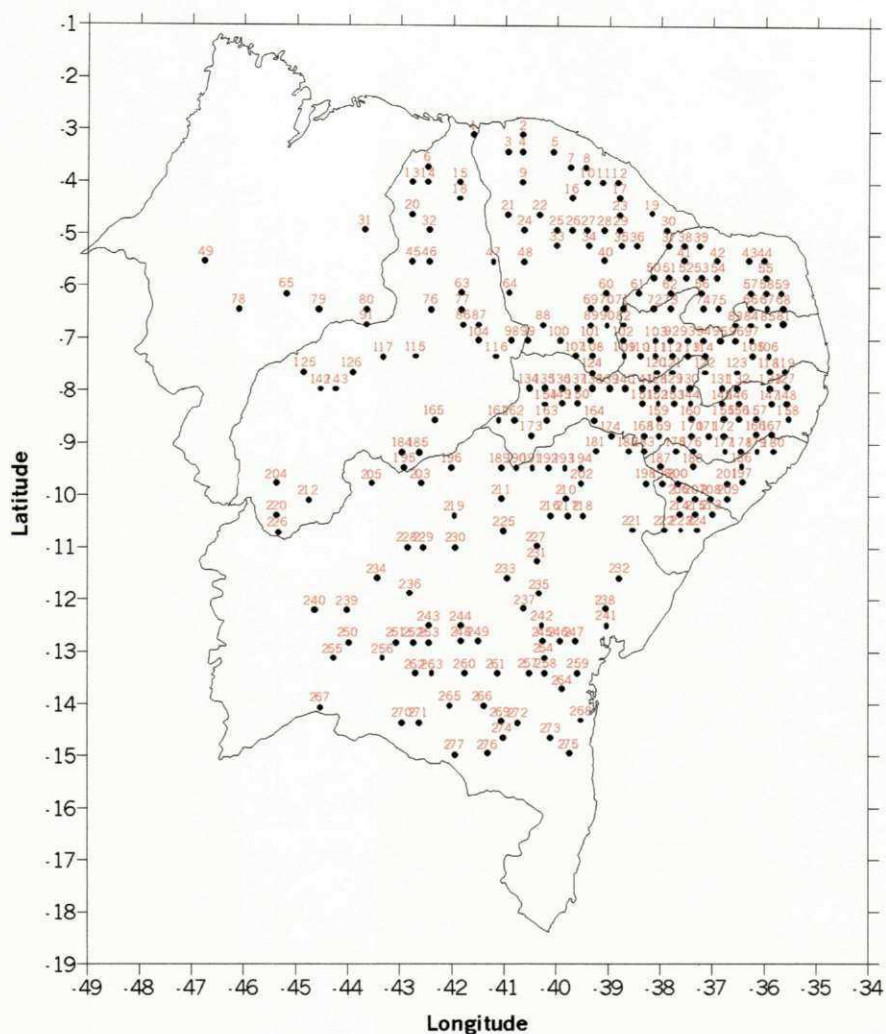


Figura 3.4 – Distribuição espacial dos 277 pontos de grade de 38 km x 38 km com dados de IVDN e de precipitação no Nordeste do Brasil.

3.1.4 Dados de Vegetação da Região Nordeste do Brasil

Elemento representativo da interação dos fatores naturais que agem em determinada região, o conhecimento da vegetação através de mapeamento é capaz de propiciar informações importantes, sobre seu potencial econômico. Este mapeamento é feito de acordo com a fisionomia vegetal que pode ser traduzido em tipos de vegetação ou formações. As suas diferentes formas compõem a cobertura vegetal de uma determinada região.

A identificação da cobertura da vegetação na região Nordeste do Brasil teve como base o mapa cartográfico da região Nordeste na escala de 1: 4.000.000 (IBGE, 1985). Na Figura 3.5 encontra-se o mapa de vegetação da região Nordeste obtido a partir da montagem das imagens do satélite LANDSAT. A identificação das coberturas vegetais mais características da região é descrita a seguir:

a) Mata Atlântica, estende-se do Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte, e prolonga-se paralelamente ao litoral até o sul da Bahia (hiléia baiana), com largura média de 200 Km, atingindo em alguns pontos 300- 350 Km.

b) Floresta estacional perenifólia, situada na extremidade ocidental do Nordeste que é um prolongamento da Região Fitogeográfica do Tocantins-Gurupi. Podem ser reconhecidos dois tipos principais da floresta estacional : a densa com dossel mais fechado, e a aberta que corresponde a chamada mata do cipó. Algumas áreas ainda conservam as espécies primitivas como seringueira, castanha-do-Pará, sapucaia, babaçu, etc.

c) Floresta estacional perenifólia com babaçu, no extremo norte do Maranhão. Esta formação difere pouco da anterior do ponto de vista florístico-estrutural, mas possui um maior número de indivíduos de babaçu, fato que proporciona uma modificação na sua fisionomia.

d) Floresta estacional semidecídua, encontrada no noroeste, nordeste do Maranhão e sudeste da Bahia, em áreas contínuas. Manchas de pequena extensão são encontradas no sul da Bahia em serras e chapadas. Do ponto de vista florístico este tipo florestal pouco diferencia da Floresta Pluvial Perenifólia.

e) Floresta estacional semidecídua com babaçu, são encontradas na região central norte do Maranhão. A presença de maior número de indivíduos de babaçu é marcante na paisagem conferindo-lhe fisionomia distinta.

f) Floresta decídua agreste e mata cipó, corresponde ao agreste e mata seca, que acompanha a Zona da Mata com largura variável, desde o norte do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia. Agreste é um tipo fitofisionômico associado a um clima mais úmido do que a caatinga, mas não o suficiente para manter uma floresta.

g) Caatinga é aplicado ao conjunto dos tipos de vegetação que caracteriza o semi-árido do Nordeste. É difícil caracterizar estrutura, altura e densidade dos seus estratos,

porque ela é muito variável em todos os aspectos. A Caatinga apresenta as seguintes variações:

- g1) Caatinga seca e agrupada é característica das margens do São Francisco, ao sul de Pernambuco, onde o relevo é pouco acidentado com altitude em torno de 300m;
- g2) Catinga seca e esparsa, ainda as margens do S. Francisco com arbustos e algumas árvores de altura média 2m, isoladas e bem distanciadas uma da outra. É também encontra entre a Paraíba e o interior do R. Grande do Norte;
- g3) Caatinga arbustiva densa, recobre a maior parte do nordeste semi-árido. Esse tipo parece corresponde à Caatinga da sub zona do Agreste e Sertão Central;
- g4) Caatinga das serras com maior número de árvores e densidade da cobertura herbácea de modo que o solo é quase inteiramente recoberto pelo manto vegetal. No período crítico de seca as espécies perdem as folhas;
- g5) Caatinga da chapada do Moxotó, seus solos arenosos muito profundos, areia solta, coloração violácea, permeáveis, são responsáveis pela vegetação baixa, arbustiva, destaca-se um estrato, mais ou menos esparsos, constituídos exclusivamente de facheiro;
- g6) Caatinga do litoral, encontrada no litoral do Ceará confundindo-se fisionomicamente com vegetação de praia, dunas e restinga;

h) Cerrado, ocupa grandes áreas contínuas no sul e leste do Maranhão, sudoeste do Piauí e oeste da Bahia. Elementos do cerrado são observados ainda na Bahia, Alagoas e Paraíba. São formações herbáceo-lenhosas, com predominância de herbáceas graminóides, no meio das quais se intercalam árvores de pequeno porte, de troncos e galhos retorcidos revestidos de casca espessa.

i) Cerradão, nas áreas de contato entre formações florestais úmidas e cerrado, bem como em manchas esparsas dentro da área de cerrado. É encontrado na Chapada do Araripe, Ceará, Maranhão, Piauí e extremo norte da Bahia, geralmente em razão de melhores condições edáficas. É um cerrado mais desenvolvido, mais alto e mais denso, com tamanho médio das árvores de 10 a 15m.

j) Campos Aluviais, são constituídos principalmente de gramíneas e ciperáceas, que ocupam várzeas de rios ou depressões próximas do litoral, sob a influência das marés.

k) Vegetação de praias dunas e restingas, são associações vegetais e suas variadas fisionomias que ocorrem nos litorais arenosos, incluindo as comunidades pioneiras das praias. São encontradas no litoral norte do Maranhão e Piauí. A flora da restinga, por vezes se mistura com o cerrado e a caatinga.

l) Mangues, tipos de vegetação halófila, ocorre em quase toda a extensão dos litorais tropicais do mundo e possui fisionomia homogênea graças à presença de espécies homólogas.

m) Rupestre, ocorre em terrenos pedregosos em altitude acima de 1000m. A ocorrência de campos rupestres é registrada principalmente na Chapada Diamantina.

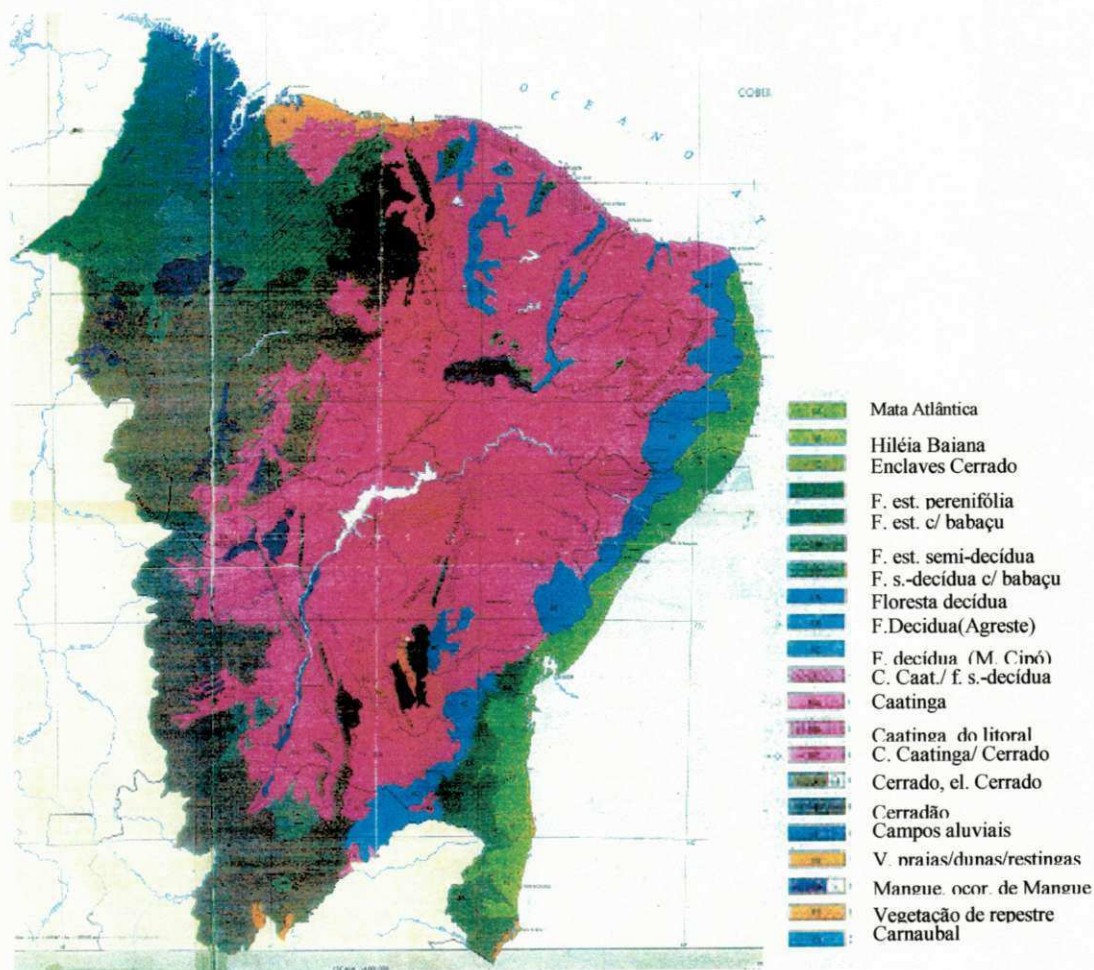


Figura 3.5 – Mapa dos principais tipos de vegetação no Nordeste do Brasil. Fonte IBGE (1985).

3.2 Métodos

3.2.1 Análise Fatorial em Componentes Principais (CP)

A metodologia fundamental deste estudo baseou-se nas técnicas de Análise Multivariada. Considerou-se a Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP) nos modos espacial e temporal para definir os padrões de variabilidade interanual e sazonal de IVDN e das precipitações na região Nordeste. Esta técnica, introduzida em meteorologia por Lorenz em 1956, que a denominou Funções Ortogonais Empíricas (FOE), tem sido amplamente empregada em ciências atmosféricas (Preisendorfer, 1988). Ambos os nomes CP e FOE são comumente usados, e referem-se ao mesmo conjunto de procedimentos (Wilks, 1995).

No início utilizou-se essa técnica como um método de redução de dados, tendo como vantagem o fato de que a máxima variância pode ser explicada pela classificação dos autovetores associados aos maiores autovalores da matriz de correlação, ou seja, a amostra de dados originais pode ser analisada a partir de um pequeno número de componentes significativas independentes entre si (ortogonais). Seja a matriz \mathbf{X}' (n, k) das anomalias (são seus valores subtraída a média).

$$\mathbf{X}' = \mathbf{X} - \frac{1}{n} \mathbf{X} \quad (3.0)$$

Multiplicando-se a transposta de \mathbf{X}' por (\mathbf{X}') e dividindo por (n-1), obtém-se a matriz de variância-covariância \mathbf{S} , ou seja:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{n-1} (\mathbf{X}')' (\mathbf{X}') \quad (3.1)$$

A matriz de variância-covariância (\mathbf{S}) é uma matriz simétrica (k x k) cujos elementos da diagonal são as variâncias da amostra das K variáveis. A matriz \mathbf{S} é também

conhecida como matriz de dispersão, porque descreve como as observações estão dispersas em torno da média no espaço k dimensional definido pelas k variáveis.

A matriz de correlação \mathbf{R} é equivalente à matriz de variância-covariância das variáveis padronizadas pelos desvios padrões σ ($\mathbf{Z} = \mathbf{X}'/\sigma$), logo:

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n-1}(\mathbf{Z})'(\mathbf{Z}) \quad (3.2)$$

Sendo \mathbf{R} uma matriz simétrica positiva de dimensão $(k \times k)$, ela é diagonalizável por uma matriz \mathbf{A} , de mudança de base, denominada de autovetores e por λ , o autovalor associado, dados por:

$$(\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I})\mathbf{A} = \mathbf{0} \quad (3.3)$$

$$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0 \quad (3.4)$$

onde \mathbf{I} é matriz identidade. Assim, para que \mathbf{A} tenha soluções não triviais o $\det|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$

O determinante produz uma matriz diagonal, cujos elementos são os autovalores λ_m correspondentes aos autovetores de a_m de cada coluna k de \mathbf{A} . Como \mathbf{R} é simétrica, o somatório dos elementos da sua diagonal principal (r_{ii}) é igual a soma dos autovalores, ou seja:

$$\sum_{i=1}^m r_{ii} = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (3.5)$$

O cálculo dos autovetores pode ser efetuado por:

$$\mathbf{D} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{R}\mathbf{A}; \quad \mathbf{A}\mathbf{R} = \mathbf{A}\mathbf{D} \quad (3.6)$$

onde \mathbf{D} é a matriz diagonal, cujos elementos λ_i são os autovalores de a_i . Por causa da ortogonalidade dos autovetores, a inversa de \mathbf{A} (\mathbf{A}^{-1}) é igual a sua transposta (\mathbf{A}'). Assim, as

componentes principais U_1, U_2, \dots, U_p são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A') e a matriz de observações (X), ou seja:

$$U = A' \cdot X \quad (3.7)$$

$$X = A \cdot U \quad (3.8)$$

Cada linha de U corresponde a uma componente principal que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de X do n -ésimo local podem ser calculados por:

$$X_i = a_{j1} \cdot U_1 + a_{j2} \cdot U_2 + \dots + a_{jk} \cdot U_k + a_{np} \cdot U_p \quad (3.9)$$

Cada componente principal tem uma porção da variância total dos dados, e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de a_k em A , onde:

$$U_k = \sum_{j=1}^m a_{j,k} \cdot X_j \quad (3.10)$$

3.2.2 Fatores Comuns

O método mais usado de Análise Fatorial (AF) é o das CP. Tomando F como funções lineares das variáveis observadas normalizadas (X), temos:

$$F = X \cdot B \quad (3.11)$$

onde, F é a matriz dos escores fatoriais, constituída de n valores para cada um dos fatores, e B é a matriz ($p \times p$) dos coeficientes dos escores dos fatores das CP's.

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{D}^{-1/2} \quad (3.12)$$

Multiplicando a matriz dos autovetores (**A**) pela raiz quadrada da matriz dos autovalores (**D**), temos a matriz **W** (p x p), das cargas fatoriais dada por

$$\mathbf{W} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{D}^{1/2} \quad (3.13)$$

Relacionando **F** e as CP's tem-se:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{D}^{-1/2} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{D}^{1/2} \quad (3.14)$$

onde, **F** são as cargas fatoriais para as CP's **Y**.

Normalmente é adotada uma transformação linear rotacionada que facilita a interpretação dos resultados (Richman, 1986). A rotação ortogonal VARIMAX, dada sob condição de máxima variância das cargas quadráticas, é obtida por:

$$\text{Var} = \sum_{j=1}^r (m \sum_{i=1}^m (a_{ij})^2 - (\sum_{i=1}^m a_{ij}^2)^2) / m^2 \quad (3.15)$$

Este método calcula novas componentes a partir do método de máxima variância, onde as componentes principais originais passarão a rotacionadas através da redistribuição dos pesos entre as componentes principais. O objetivo primordial da utilização de CP's rotacionadas prende-se a maior concentração dos dados originais da série temporal nas CP's pela máxima variância, e não à característica normalizada da série temporal como é feito nas CP's não rotacionadas.

3.2.3 Análise de Agrupamentos (Clusters)

As técnicas de Análise de Agrupamento consistem em reunir indivíduos semelhantes em uma mesma classe, formando grupos caracterizados por homogeneidade

interna e diferenciados, entre si. Vários autores vêm mostrando nos últimos anos a preocupação de definir uma classificação para as variedades técnicas de agrupamentos disponíveis. A classificação de Everitt (1993) sugere que dentre as existentes, as mais completas são: Técnicas de Hierarquização, Técnicas de Partição ou Otimização, Técnicas de Densidade e Técnicas de Agrupamento com Interseção. Neste estudo utilizou-se as técnicas de hierarquização por serem as de maior aplicação em estudos envolvendo variáveis meteorológicas (Fernau & Samson, 1990; Braga, 1992; Ceballos e Braga, 1995).

Nos métodos de análise de Agrupamentos aglomerativos todos os processos de hierarquização são similares. Este método é capaz de construir um seguimento de partições em $n, n-1, n-2, \dots$, classes embutidas uma nas outras com o auxílio de uma função (distância) e um critério de agrupamento, de maneira que as partições em k classes sejam obtidas agrupando-se duas das classes da partição em $k+1$. Esta seqüência de partições pode ser representada na forma de árvore de classificação ou dendrograma (Bouroche & 1983; Everitt, 1993).

A função de agrupamento utilizada para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos (estações) S_i e S_j foi a Euclidiana, dada por:

$$d(S_i, S_j) = \left[\sum_{q=1}^n P_i (S_{qi} - S_{qj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.16)$$

onde, S_{qi} representa os valores mensais dos locais S_i e S_j e P_i é o peso associado a cada indivíduo.

O método de agrupamento utilizado neste estudo foi o de Ward 1963, que utiliza como critério de agrupamento a inércia entre grupos, que é medida pela soma dos quadrados dos desvios (SQD) de cada ponto a média do grupo ao qual pertence.

Logo, para p indivíduos organizados em k grupos,

$$SQD = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \quad (3.17)$$

X_i é o número de indivíduos pertencente ao i -ésimo grupo.

3.2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

Os dados remotos do IVDN utilizados neste estudo são composições temporais mensais selecionadas para o Nordeste do Brasil, no período de 1981 a 1990, extraídas do AVHRR/NOAA, com resolução de 7,6 km, padrão Global Area Coverage (GAC) do arquivo GIMMES. Os dados GAC digitais foram previamente examinados para verificação de ocorrências de nuvens usando técnicas limiar de temperaturas (canal 5). Os níveis de cinza dos canais 1 e 2 do sensor AVHRR são convertidos em unidades de reflectância, usando a calibração de pré-vôo fornecida pela NOAA, sem considerar a degradação do sensor (Batista et al. 1993).

Os dados orbitais foram mapeados usando navegação do satélite, remontados na resolução espacial de 7,6 km x 7,6 km e compostos para intervalos de 1-3 dias para projeção estereográfica Hammer-Aitoff. Para minimizar os efeitos atmosféricos tais como: nuvens, vapor d'água, aerossóis que reduzem o contraste entre as reflectâncias visível e infravermelho próximo, são utilizadas as imagens mosaico, que contém o máximo valor do IVDN observado no mês (Gutman, 1991). Assim, o produto final objeto deste estudo contém o valor máximo mensal obtido a partir dos dados diários do IVDN. Foi desenvolvido o programa computacional para proceder a navegação, seleção da áreas de estudo e transformação do sistema de coordenadas do satélites (linhas e colunas) para pontos de latitude e longitude. A conversão dos "counts" para valores de IVDN é dada pela seguinte expressão:

$$DN = (IVDN \times 128) + 127$$

$$\begin{array}{ccc} DN = 0 & \text{-----} & 128 & \text{-----} & 255 \\ IVDN = -1 & & 0 & & 1 \end{array}$$

logo,

$$IVDN = (DN - 127) / 128$$

Na primeira parte do trabalho utilizaram-se os valores em ponto de grade mensais de 10 anos de dados (1981-1990), reduzidos para a resolução espacial de

aproximadamente 100 km (13 pontos de grade agrupados de 7,6 km). Os dados de cada mês foram organizados sob forma de matriz, onde as linhas são os pontos de IVDN e as colunas os meses do ano, perfazendo um total de 120 arquivos mensais, ou seja, 12 meses X 10 anos de dados. A redução dos pontos de IVDN foi efetuada pela média dos pontos de grade dentro do espaçamento de $0,90^\circ \times 0,90^\circ$. A seguir, efetuaram-se as correções para cada ano devidos à degradação do sensor, como sugerido por Kaufman e Holben (1993), para vários tipos de cobertura. Estes autores mostraram que as correções devido a deterioriação do sensor nos canais 1 e 2 alteram os valores do IVDN de 0,0 e 0,09. Por exemplo, considerando a vegetação densa, o Δ IVDN para 1981 é 0,03; em 1983 0,05; próximo de 0,00 em 1988 e 0,09 para 1990. No entanto, é sugerido que uma aproximação para IVDN corrigido é possível para a série histórica do índice, independente do tipo de cobertura, conforme mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Correção aplicada aos dados do IVDN devido à degradação do sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA-7,-9 e 11. Fonte Kaufman e Holben (1993).

IVDN	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Fator aditivo de correção	0,030	0,042	0,048	0,043	0,029	0,019	0,005	0,004	0,087	0,091

3.2.5 Análise Fatorial e de Agrupamento de IVDN nos Modos Temporal e Espacial.

A partir das médias mensais de IVDN para os 10 anos de dados (1981-1990) reduzidos, organizaram-se dois arquivos de trabalho dispostos sob forma de matriz. A matriz **M** ($n \times p$) para análise temporal, onde as **n** linhas são os 185 pontos de grade de IVDN e as **p** colunas correspondem às médias mensais para 12 meses do ano, e a segunda matriz **X** ($m \times k$)

para análise espacial, onde as m linhas correspondem aos valores anuais de 10 anos do IVDN e as n colunas correspondem os 185 pontos de grade de IVDN.

A partir das matrizes dos dados de IVDN, utilizou-se a Análise Fatorial em Componentes Principais para a obtenção dos fatores comuns espaciais e temporais do IVDN na região. A seguir, fizeram-se os mapas das distribuições espaciais dos escores da análise temporal e correlações da análise espacial, além de gráficos das correlações e componentes principais (escores) temporais dos fatores comuns mais significativas do IVDN, selecionados conforme critério sugerido por Kaiser (Garayalde et al. 1986). Os mapas foram confeccionados usando o método de interpolação kriging do software SURFER. Tal procedimento visou definir objetivamente os principais padrões de variabilidade espacial e temporal do IVDN na região Nordeste do Brasil.

3.2.6 Análise Fatorial e Agrupamento das Precipitações nos Modos Temporal e Espacial.

Para a análise temporal organizou-se uma matriz de dados \mathbf{M} ($m \times k$), onde as m linhas correspondem às 166 estações pluviométricas e as k colunas às 12 médias mensais dos 21 anos de observações. Para a análise espacial montou-se uma matriz de dados \mathbf{M} ($n \times p$), onde as n linhas têm dimensão 21, correspondendo aos anos (1969-1989) e as p colunas correspondem às 166 estações. Calcularam-se os fatores comuns nos modos temporal e espacial. Para ambas análises foram selecionados os fatores comuns mais significativos, segundo o critério de Kaiser. A seguir, foram elaborados os mapas das distribuições espaciais dos principais fatores comuns temporais e escores espaciais, assim como gráficos mensais das correlações temporais e CP's espaciais.

3.2.7 Correlações Cruzadas Interanuais entre CP's de IVDN e Precipitações

A partir das CP's de IVDN e CP's das precipitações, montou-se uma matriz \mathbf{M} ($n \times p$), onde as n linhas correspondem os anos de 1981 a 1990 e as p colunas correspondentes

às CP's de IVDN e precipitações, visando obter as correlações interanuais entre os principais padrões de variabilidade do IVDN e precipitações no Nordeste do Brasil.

3.2.8 Determinação e Características das Regiões Homogêneas de IVDN e Precipitações

A determinação das regiões homogêneas de IVDN e precipitações foram feitas com auxílio das técnicas objetivas de agrupamentos dos principais fatores comuns temporais e escores espaciais, obtidas através da Análise Fatorial em Componentes Principais.

Os fatores comuns espaciais (correlações) e escores temporais (CP's) dos dois parâmetros, foram dispostos sob forma de matrizes individuais $F_{n \times p}$, onde cada n linha da matriz corresponde ao número de pontos de grade ou estações, e as p colunas da matriz correspondem aos fatores comuns temporais e espaciais da matriz de dados F de cada parâmetro estudado.

Dos métodos hierárquicos aglomerativos de agrupamento testados, optou-se pelo de Ward (1963) que, na maioria dos casos, leva a melhores resultados. Este método aglomerativo utiliza como função de agrupamento a distância Euclidiana e como critério de agregação a soma dos quadrados dos erros (Everitt, 1974; Bouroche & Saporta, 1980).

O número de grupos homogêneos na região foi obtido pela análise da curva de inércia intra-classe e seus respectivos saltos seqüenciais, associados a sucessivos agrupamentos dos fatores comuns espaciais e escores temporais mais significativos do IVDN e precipitações. A formação dos grupos de IVDN é apresentada sob a forma de uma árvore de classificação chamada dendrograma. Determinou-se o número de classes ou grupos, a partir de cortes transversais no dendrograma, de acordo com o critério matemático de inércia (Ward, 1963) e subjetividade do pesquisador, de modo a permitir um número mais adequado de classes. A seguir, para cada grupo, foi feita a análise estatística descritiva, ou seja, calcularam-se as médias, os desvios padrões, os máximos e os mínimos absolutos das variáveis originais (IVDN e precipitações), visando avaliar as características climáticas e da vegetação de cada região ou grupo homogêneo.

3.2.9 Análise Fatorial Conjunta entre IVDN e Precipitações no Modo Temporal

Na segunda parte do estudo foi feita uma Análise Fatorial temporal conjunta do IVDN e precipitações, visando obter a resposta sazonal dos diferentes tipos de vegetação às precipitações. Elaborou-se um novo programa computacional para calcular o IVDN em ponto de estação existente na região (377 postos). Inicialmente, os dados foram reduzidos para pontos de grade espaçados de 38 km (grade de 5x5 pontos espaçados de 7,6 km) em latitude e longitude. Em seguida, calculou-se a precipitação média das estações dentro dessas áreas. Este procedimento visou encontrar médias pluviométricas das estações/postos meteorológicos dentro da grade de 38 km x 38 km, que melhor representasse a chuva e vegetação naquela área resumindo-as para 277. Montou-se uma matriz M ($m \times k$), onde as m linhas correspondem às 277 estações/pontos de IVDN e as k colunas correspondem às 24 variáveis ou seja, 12 médias mensais da precipitação e 12 médias mensais do IVDN de 1981-1990 e calcularam-se os fatores comuns temporais (correlações) conjuntas IVDN e precipitações mensais. A seguir, confeccionaram-se mapas das distribuições espaciais das CP's mais significativas, selecionadas de acordo com o critério de Kaiser (Garayalde et al. 1986). Finalmente, obtiveram-se as regiões homogêneas de IVDN e precipitações a partir dos principais fatores comuns temporais (scores). Após a identificação dos grupos (regiões) homogêneos baseada nos fatores comuns mais significativos do conjunto de variáveis (IVDN e precipitações), para cada grupo homogêneo de estações/IVDN, foram feitas as estatísticas descritivas (médias, desvios padrões, máximos e mínimos absolutos, etc.) das variáveis originais. Em seguida, para cada grupo fizeram-se gráficos médios mensais dos respectivos parâmetros, visando encontrar o tempo de resposta da vegetação às precipitações nas diferentes regiões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Padrões de Variabilidade Temporal e Espacial de IVDN no Nordeste Brasil

Nesta primeira parte do estudo são apresentados os resultados dos principais padrões temporais e espaciais de IVDN expressos pelos principais fatores comuns obtidos pela Análise Fatorial em Componentes Principais. Em seguida são mostradas as regiões (grupos) homogêneas de IVDN determinadas através da Análise de Agrupamentos desses principais fatores. Os modos e agrupamentos foram calculados a partir de séries temporais de IVDN mensal e anual em 185 pontos de grade distribuídos na região Nordeste no período de 1981-1990. As técnicas empregadas permitiram subdividir a região Nordeste em grupos homogêneos de IVDN e caracterizá-los em relação às variabilidades sazonais e interanuais.

4.1.1 Análise Temporal de IVDN

O primeiro fator comum temporal rotacionado do IVDN, que explica 52,8% da variância total das séries, apresenta correlações importantes, superiores a 0,9, nos meses de junho a setembro, e ainda significativas, superiores a 0,6, nos meses de maio e outubro (Figura 4.1). A distribuição espacial correspondente a este fator tem cargas fatoriais (escores) positivas, maiores que 1, no litoral leste, norte e noroeste do Maranhão. Na parte central, verifica-se um núcleo bem definido, onde as contribuições são inferiores a -1, ou seja, existe um contraste destes índices nos meses de junho a setembro entre interior e costa leste e noroeste da região (Figura 4.2a).

O segundo fator explicando 28,4% da variância, tem correlações positivas superiores 0,8, nos meses de novembro, dezembro e janeiro, e superiores a 0,6 em fevereiro e outubro. A configuração espacial associada a este segundo fator evidencia um importante contraste entre regiões. No sul da Bahia verificam-se contribuições maiores que 1, enquanto que na porção mais semi-árida (central-nordeste) do Nordeste, essas contribuições são inferiores a -1 (Figura 4.2b). Este padrão de IVDN pode estar associado à resposta da vegetação às precipitações provenientes de sistemas frontais e ZCAS que ocorrem de outubro a fevereiro no sul da Bahia (Kousky, 1979).

Finalmente, o terceiro fator apresenta altas correlações, superiores a 0,8 nos meses de março e abril, e valores significativos entre 0,6 e 0,8, em fevereiro e maio. A configuração espacial deste fator apresenta grande variabilidade espacial com contribuições menores que -1 no oeste da Bahia, extremo norte do Maranhão e litoral leste (do Rio Grande do Norte até as proximidades de Salvador). Na porção central do Maranhão, centro norte (cariris) do Nordeste e algumas regiões (paralelas a oeste) nas proximidades do S. Francisco, as contribuições são positivas superiores a 1, (Figura 4.2 c). Este terceiro fator pode estar relacionado à resposta da vegetação às precipitações oriundas da ZCIT, nos meses de março a maio, na parte central da região.

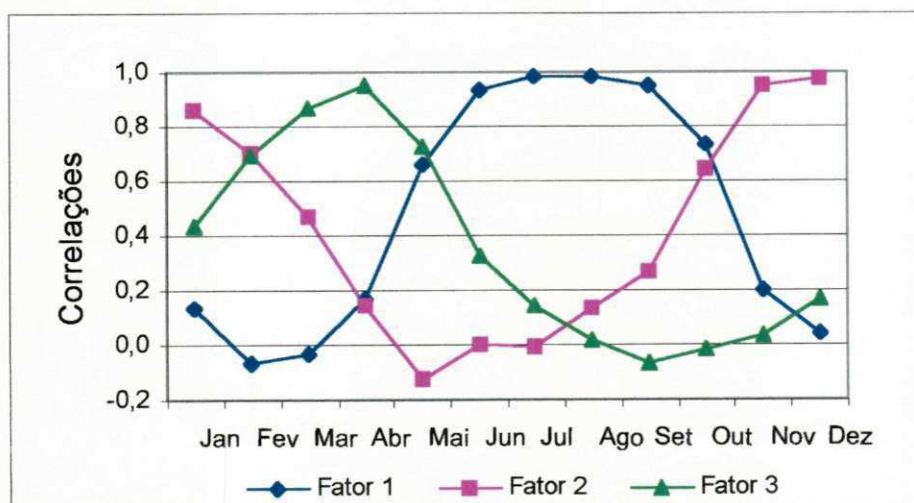


Figura 4.1 Cargas fatoriais (correlações) para os 3 fatores comuns temporais de IVDN que explicam 96,8% da variância total (52,8 + 28,4+15,6%) no Nordeste do Brasil (1981-90).

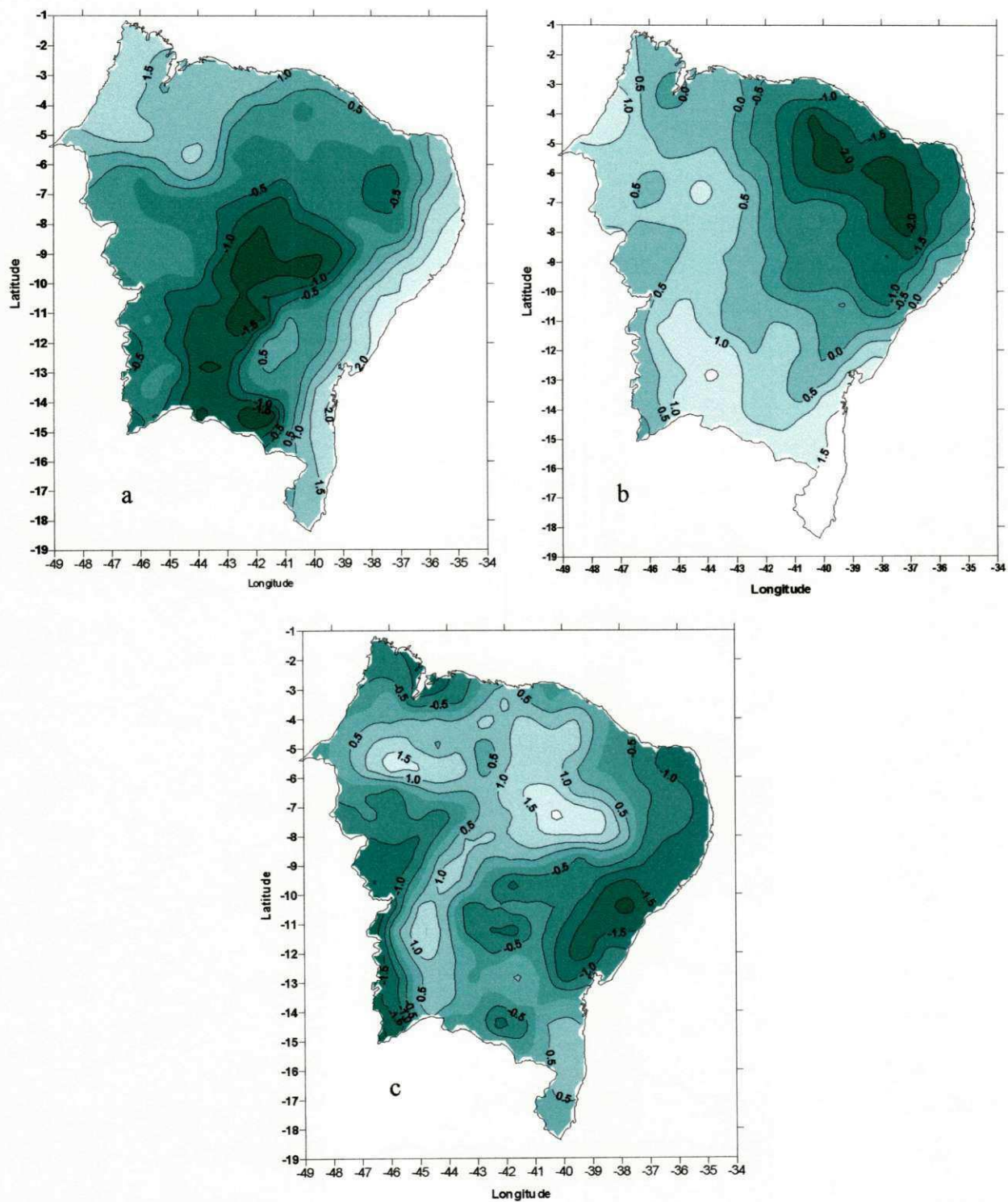


Figura 4.2 a, b, c. Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns (escores) de IVDN no Nordeste do Brasil (1981-90).

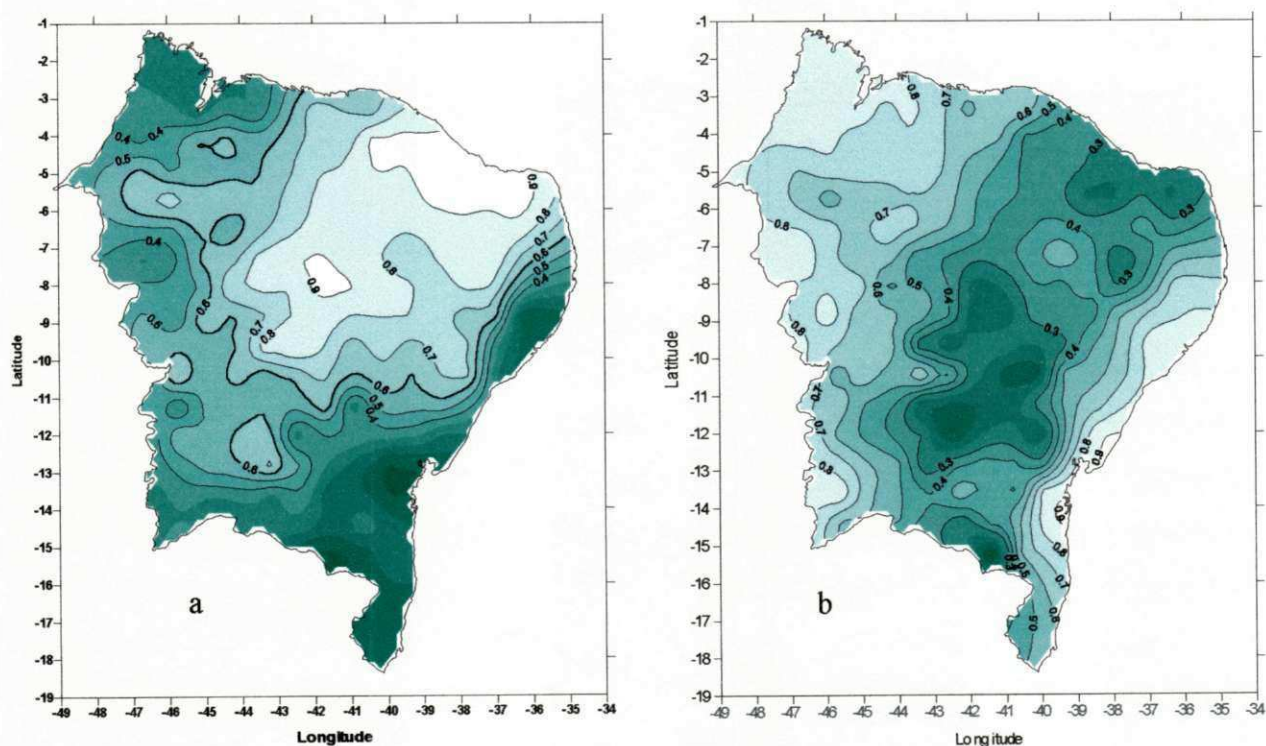
4.1.2 Análise Espacial do IVDN

O primeiro fator comum espacial rotacionado do IVDN que explica 75% da variância total dos dados, apresenta correlações positivas em quase toda a região. Observam-se correlações altas superiores a 0,8, no norte do Ceará e Rio Grande do Norte, oeste Paraíba, Pernambuco, extremo norte da Bahia e este do Piauí. No restante da região as correlações são menores mas ainda significativas, entre 0,4 e 0,6, com exceção do extremo norte do Maranhão, litoral este da região Nordeste (Pernambuco ao sul da Bahia), onde as correlações são inferiores a 0,3 (Figura 4.3a). A série temporal associada a este primeiro fator apresenta escores da ordem de -2,0 para o ano de 83 (Figura 4.4), significando que neste ano houve um decréscimo acentuado do IVDN, devido a redução das precipitações, provocada pelo forte evento de El Niño. Os valores mensais do IVDN no ano de 83, foram inferiores a 0,3 nas regiões mais semi-áridas da Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, central sul e sudeste da Bahia, (ver mapas das precipitações e IVDN para o ano de 1983 no anexo B.1). A redução acentuada no IVDN ocasiona mudanças significativas na cobertura da vegetação provocada pela longa estiagem. Os escores máximos do IVDN foram verificados nos anos de 85 e 86. No ano de 85 (muito chuvoso) os valores do IVDN para quase toda a região variaram entre 0,4 e 0,62, com valores mais altos no sul da Bahia (ver mapa das precipitações e IVDN para o ano de 1985 no anexo B.2).

O padrão espacial do segundo fator comum, explicando 8,5% da variância total dos dados, apresenta correlações positivas em toda a região com valores elevados ($r > 0,8$) na porção noroeste do Maranhão e na faixa do litoral este, do nordeste de Pernambuco até a Bahia (Figura 4.3b). Analisando a série temporal deste fator, observam-se escores mais elevados em 89 e 90 (Figura 4.4). A distribuição média anual de IVDN para o ano de 89 mostra que em quase 2/3 da região estes valores são inferiores a 0,5. Os valores mais baixos são encontrados na região central do Nordeste (que se estendem deste o Ceará até região centro sul da Bahia) e os mais altos ($>0,5$) são observados no Maranhão e sul da Bahia. No ano de 89, choveu em torno da média, a vegetação se desenvolveu bem, tornando-se mais vigorosa e, conseqüentemente, aumentando o IVDN. Em 90 choveu menos que no ano anterior, mas o IVDN praticamente não teve alterações significativas, principalmente naquelas

regiões mais favorecidas pela sua posição geográfica e tipo de vegetação (Floresta decídua agreste, Babaçu, etc.), que apresentam índices pluviométricos mais elevados em relação às demais regiões (ver mapa das precipitações e IVDN para o ano de 1989 no anexo B.3).

O padrão espacial do terceiro fator, que explica 6,7% da variância, é complexo, apresentando baixas correlações positivas em quase toda a região, exceto num núcleo com $r > 0,6$, na região central sul da Bahia (Figura 4.3c). Analisando a série temporal de anomalias desse terceiro fator, verifica-se que os IVDNs em 82, 84 e 87 foram baixos, mas não tanto quanto os de 83 (primeiro fator). As chuvas em 82 foram poucas e concentradas em poucos meses, diminuindo o desenvolvimento da vegetação e, em consequência, reduzindo sua reflectância espectral. No ano de 84, embora tenha chovido acima da média, o IVDN decresceu em algumas regiões mais secas, porque após dois anos secos consecutivos a vegetação levou algum tempo para se recuperar da estiagem prolongada, voltar a florescer e se desenvolver totalmente. Em 87 a diminuição do índice se justifica porque este ano choveu muito abaixo da média devido a atuação de um forte evento de El Niño.



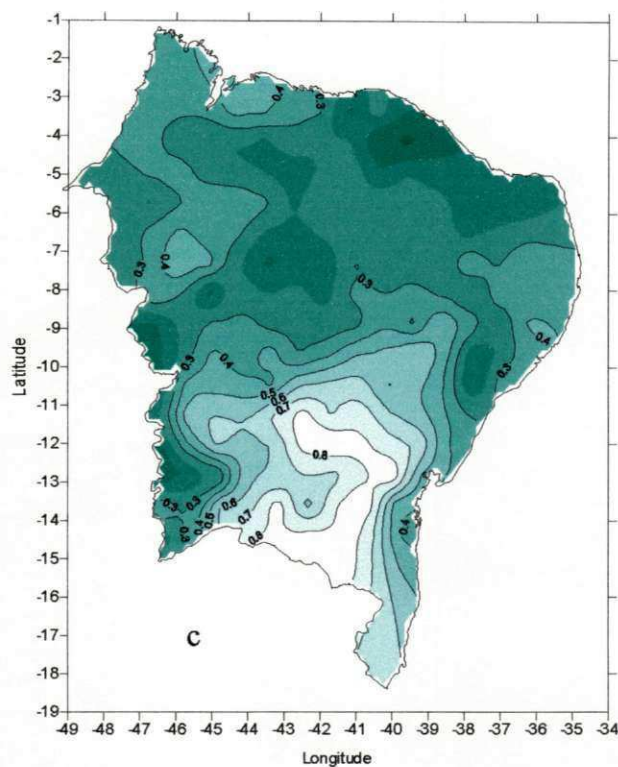


Figura 4.3a, b, c. Padrões espaciais (correlações) dos três principais fatores comuns espaciais de IVDN no Nordeste do Brasil (1981-90) que explicam 90,2 % da variância total.

A série temporal deste terceiro fator apresenta altos valores em 89 e 90. Após o ano chuvoso de 88, a vegetação se recuperou bem, favorecendo o aumento do IVDN em 89 (ver mapa das precipitações e IVDN para o ano de 1989 no anexo B.3). O ano de 90 foi seco, mas a vegetação continuou verde porque o período chuvoso do ano anterior começou mais tarde do que o normal na região Nordeste, contribuindo para que a vegetação no ano permanecesse verde, principalmente aquelas de grande porte tais como: floresta, mata decídua, babaçu, etc.

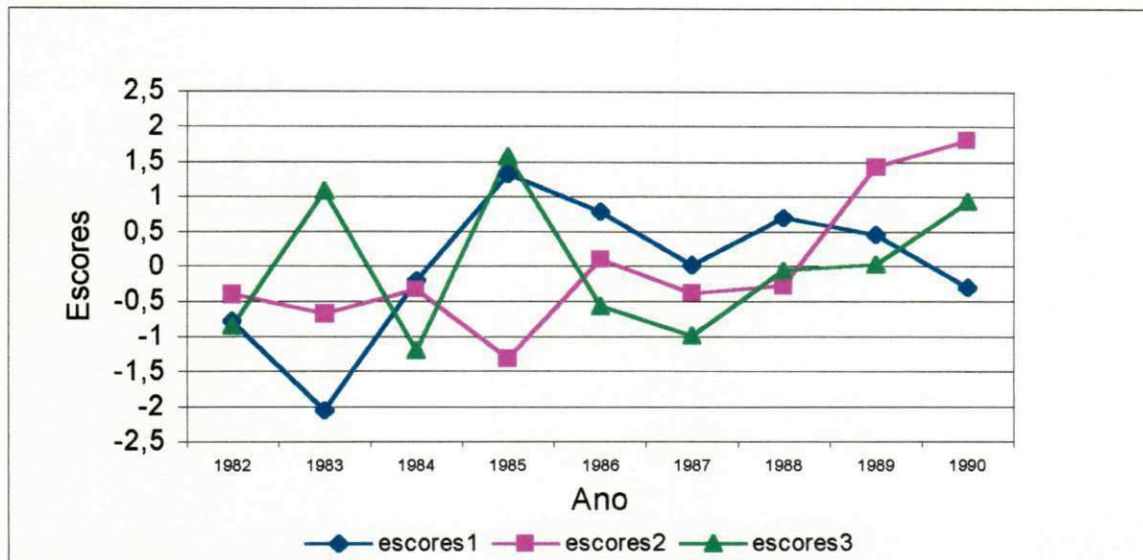


Figura 4.4 CP's dos três primeiros fatores comuns espaciais (escores) de IVDN, no Nordeste do Brasil.

4.1.3 Regiões Homogêneas do IVDN

A delimitação dos agrupamentos de IVDN em K classes ou grupos foi feita através de diferentes métodos de classificação, incluindo o de Ward, Centróide, Ligação Simples e Completa. Dentre os vários métodos testados para o agrupamento dos fatores comuns espaciais e escores temporais do IVDN mais significativos, foi escolhido o de Ward por apresentar melhor coerência espacial. Os resultados obtidos para o IVDN estão representados sob a forma de dendrograma (Figura 4.5), onde o conjunto de 185 pontos de IVDN (conforme Figura 3.2) é representado no eixo das abcissas e o nível de agregação dos parâmetros no eixo das ordenadas, facilitando desta forma a interpretação dos resultados. O corte no dendrograma foi efetuado de acordo com o critério de agregação de Ward e com informações importantes dos tipos de vegetação que nas suas diferentes formas compõem a cobertura da região Nordeste (Mapa de vegetação do IBGE, 1985).

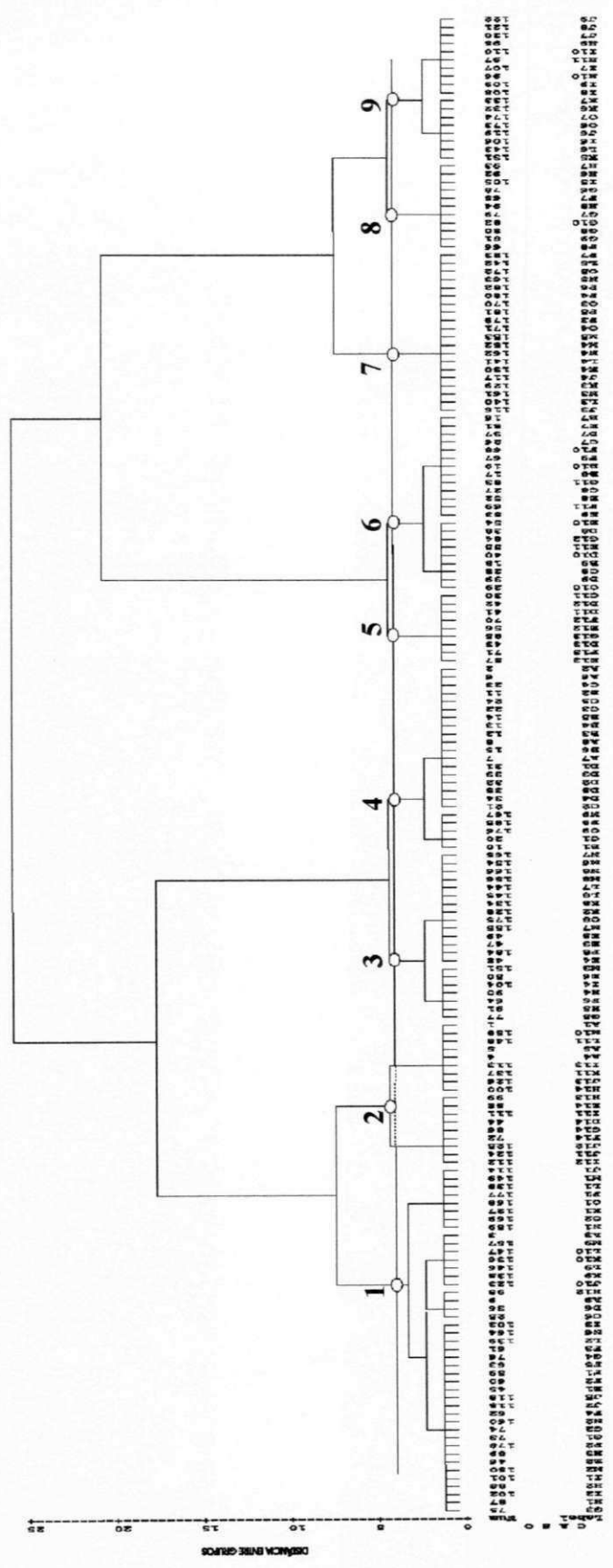


Figura 4.5 – Dendrograma resultante dos agrupamentos dos 185 pontos de IVDN usando o método aglomerativo hierárquico de Ward.

De acordo com método de Ward (1963) aplicado aos fatores temporais espaciais e escores temporais mais significativos (3 temporais e 3 espaciais), obtidos pela ACP, com dados da montagem das imagens mensais do IVDN para o período de 1981 a 1990 e conhecimento prévio sobre a cobertura da vegetação, nos permitiu dividir a região Nordeste em nove (09) sub-regiões homogêneas de IVDN, as quais estão ilustradas na Figura 4.6. A Tabela 4.1 sintetiza as principais características das 09 regiões homogêneas, as quais são descritas a seguir.

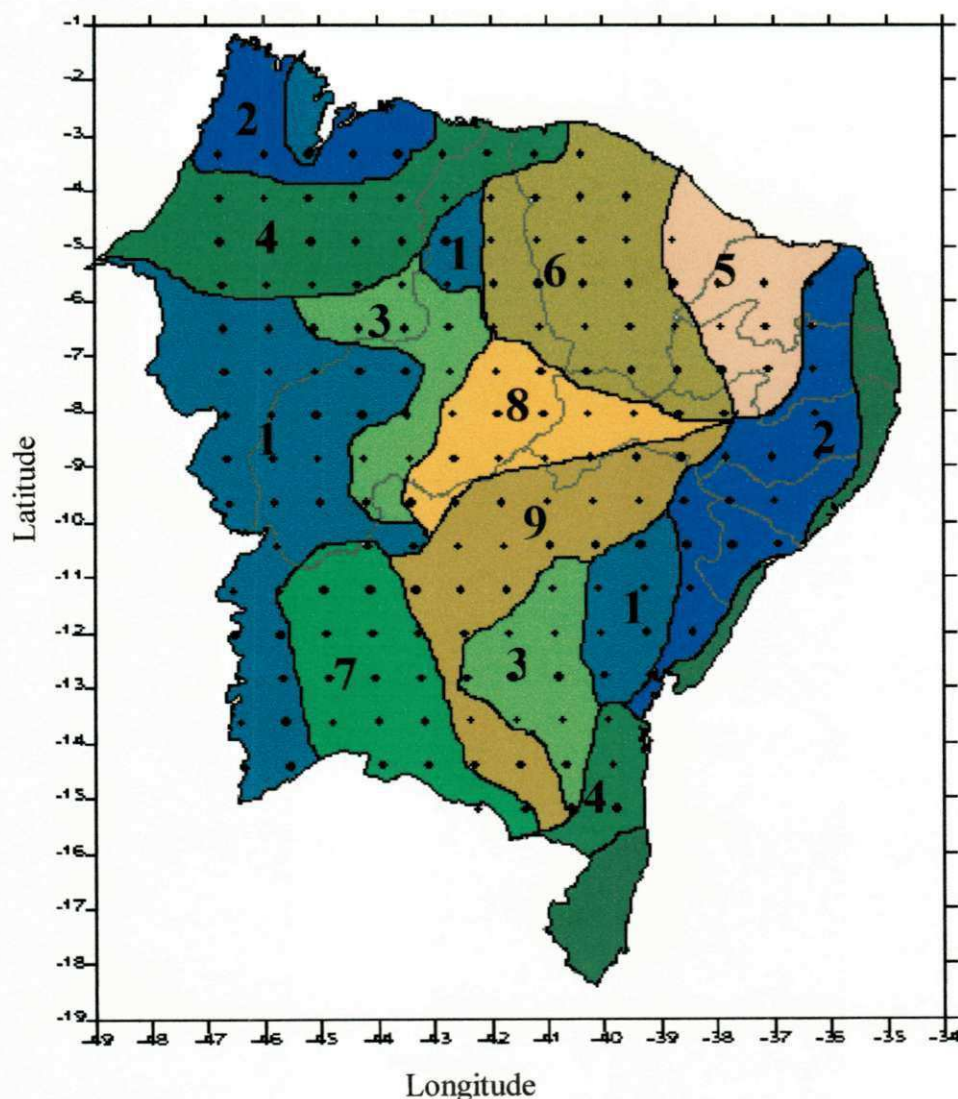


Figura 4.6 – Regiões homogêneas de IVDN obtidas a partir da análise de agrupamentos pelo método de Ward dos seus principais fatores comuns espaciais e escores temporais, no período de 1981-90. A faixa verde no litoral leste não foi selecionada.

Tabela 4.1 Síntese das principais características das nove regiões (grupos) homogêneas de IVDN no Nordeste do Brasil.

Regiões (Grupo) de IVDN	Área % Km ²	IVDN Médio Máximo Mínimo	Vegetação Predominante	Localização
1	19 302.500	0,38 0,43 0,31	Cerrado + elementos de cerrado	Maranhão, Piauí Oeste da Bahia
2	11,5 184.525	0,41 0,50 0,32	Floresta estacional agreste + estacional perenifólia	Leste R.G.Norte até a Bahia, Norte do Ma /Pi
3	9,6 154.275	0,45 0,52 0,35	Cerrado+cerradão + flo.estacional decídua+ semidecídua	Maranhão , Piauí Bahia
4	11,5 184.525	0,49 0,56 0,40	Floresta estacioanal perenifolia + babaçu	Maranhão, Piauí e Ceará
5	6 96.800	0,31 0,47 0,18	Caatinga seca e esparsa	Ceará R. G. do Norte, Paraíba e Pernambuco
6	11,7 187.550	0,38 0,54 0,22	Caatinga + floresta decídua +cerradão	Ceará, Piauí, Paraíba e Pernambuco
7	7,9 127050	0,42 0,55 0,25	Caatinga+caatinga/ cerrado+floresta semidecídua	Sul do Piauí e Bahia
8	6,4 102.850	0,37 0,53 0,21	Caatinga	Piauí e Pernambuco
9	9,4 151.250	0,33 0,43 0,21	Caatinga seca e esparsa +floresta semidecídua	Pernambuco e Bahia
Área não selecionada	5,7 90.750	-	-	Litoral leste até sul da Bahia

4.1.3.1 Características das Regiões Homogênea de IVDN

Região 1. Corresponde a aproximadamente 19% da área de estudo do Nordeste, situa-se geograficamente em três regiões distintas, uma no sul do Maranhão, sudoeste e centro norte do Piauí, oeste da Bahia, outra na região próxima ao este da Bahia e a terceira no norte do Piauí. Apresenta IVDN médio anual de 0,38. A Figura 4.7a ilustra o comportamento médio mensal do IVDN, com máximo observado de 0,43 que ocorre em abril/maio e mínimo de 0,31 em setembro. A vegetação predominante é do tipo cerrado e elementos de cerrado, com árvores e arbustos de raízes profundas, podendo atingir o lençol d'água a mais de 10 metros, permitindo que a maioria das espécies possa manter as folhas no período seco. Observa-se que, nesta região, as variações médias mensais do índice são pequenas, porque este tipo de vegetação, mesmo no período de estiagem, conserva boa parte da folhagem (IBGE, 1985)

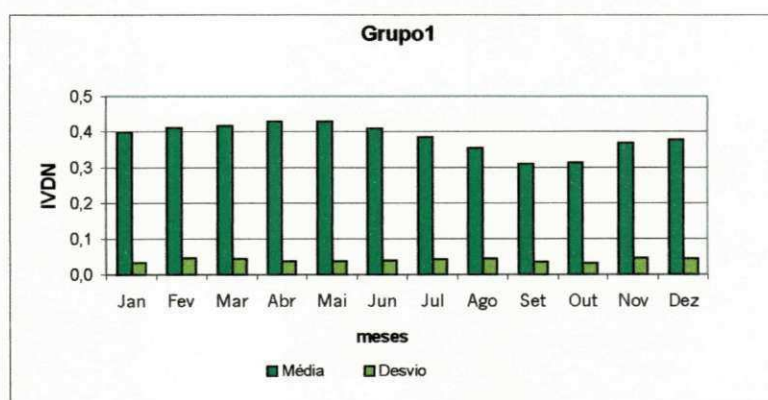


Figura 4.7 a – Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 1.

Região 2. Está localizada na faixa paralela a costa que se estende do Rio Grande do Norte acompanhando a zona da Mata com largura variável até a Bahia (13°S) e no norte do Maranhão, compreende 11,5% da área. Na porção este encontra-se vegetação do tipo floresta decídua agreste, e no norte a vegetação é floresta estacional perenifolia com babaçu. O IVDN médio anual é 0,41. Na Figura 4.7b, correspondente à variação mensal do IVDN, observam-se os valores máximo mensal de 0,50 que ocorre em julho e mínimo mensal de 0,32 em

dezembro. Neste grupo o índice de vegetação oscila pouco durante o ano, porque as chuvas são mais regulares e a vegetação permanece verde por mais tempo.

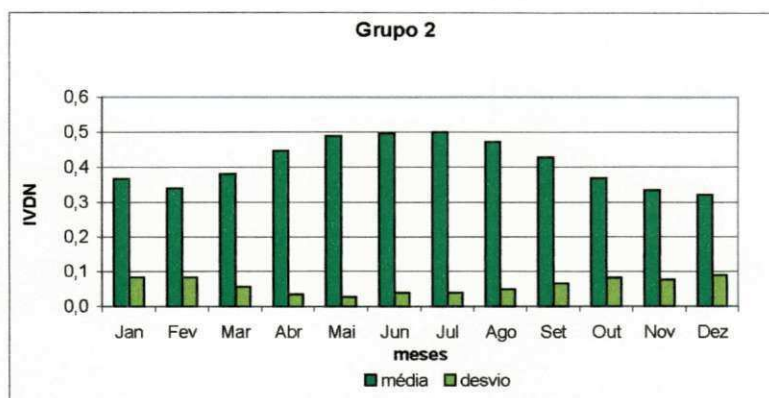


Figura 4.7 b – Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 2.

Região 3. Corresponde aproximadamente a 10% da área, compreendendo duas regiões geograficamente distantes, uma na região central do Piauí e leste do Maranhão e outra na área central da Bahia (Itaberaba, Lençóis). A vegetação predominante na primeira porção é o cerrado, elementos de cerrado e cerradão; já na Bahia a vegetação é destacada por um núcleo onde existe floresta decídua, floresta estacional semi-decídua, elementos de cerrado e vegetação rupestre. O IVDN médio anual é 0,45. A Figura 4.7c apresenta a variação média mensal do IVDN, o máximo médio dessa região é de 0,52 que ocorre em abril e o mínimo de 0,35, em setembro e outubro. As variações médias desse grupo de IVDN são semelhantes às da região (grupo) 2.

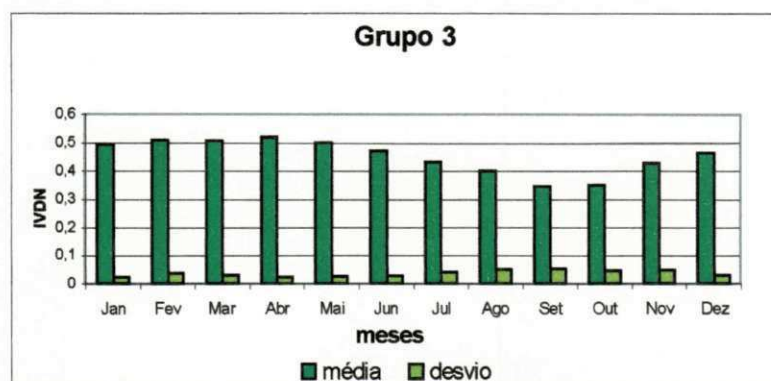


Figura 4.7c Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões para o período de 1981-90, para a região (grupo) 3.

Região 4 Compreende 11,5 % da área, localiza-se paralelamente à costa sul da Bahia (floresta estacional semi-decídua e Mata do Cipó), no Maranhão e norte do Piauí e Ceará (floresta semi-decídua, floresta estacional perenifólia, floresta com babaçu e vegetação de dunas e restinga). Apresenta IVDN médio anual de 0,49. A Figura 4.7d ilustra seu comportamento médio mensal e seus respectivos desvios padrões. O valor máximo de 0,55 ocorre em maio e o mínimo de 0,40 em outubro. Em todos os anos estudados, esta região foi a que apresentou maiores índices e menores variações sazonais, ou seja, os valores mensais são mais regulares porque as chuvas nesta região são mais regulares.

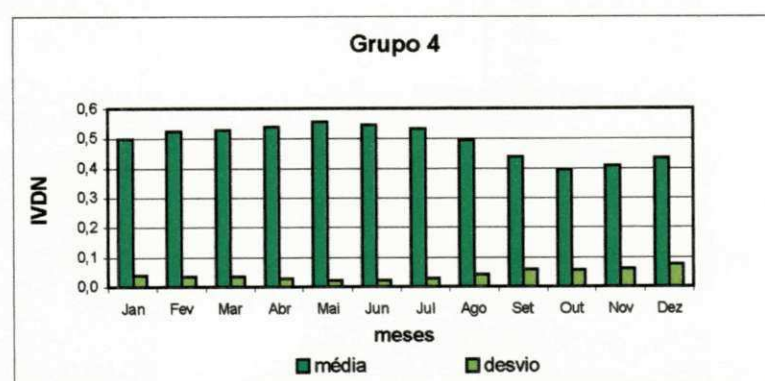


Figura 4.7d. Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 4.

Região 5. Corresponde a aproximadamente 6 % da área, compreende a região semi-árida do Nordeste situada no nordeste do Ceará, grande parte do Rio Grande do Norte, atravessando o Estado da Paraíba, até o centro norte de Pernambuco. Essas áreas são recobertas por vários tipos de vegetação caatinga, dentre elas destacam-se a caatinga seca e esparsa que são encontradas entre a Paraíba e o interior do Rio Grande do Norte. Nesta região observam-se os menores valores médios de IVDN da região Nordeste (0,31), que apresentam um ciclo anual bem definido, com máximo de 0,47 em maio e mínimo de 0,18 em novembro e dezembro (Figura 4.7e).

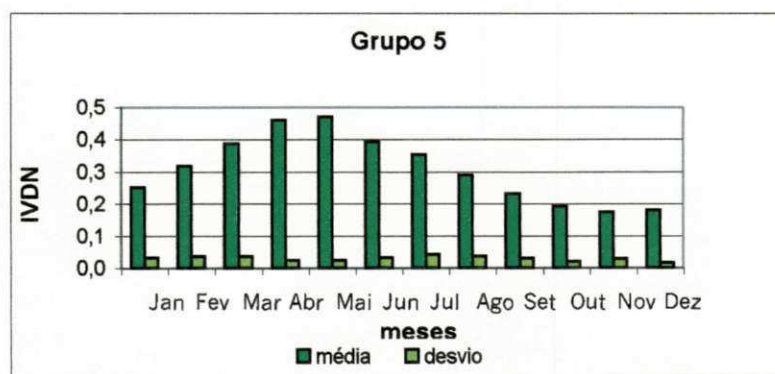


Figura 4.7e. Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 5.

Região 6 Corresponde a aproximadamente 12 % da área, abrangendo grande parte do Ceará, nordeste do Piauí, oeste da Paraíba (Alto Sertão), e noroeste de Pernambuco (região de Triunfo e Serra Pintada). A maior parte da vegetação que recobre a região é a caatinga, com exceção do sul do Ceará (Chapada do Araripe), na divisa com Pernambuco e Paraíba, onde encontram-se floresta decídua e cerrado. O índice de vegetação médio anual é 0,38. A Figura 4.7f ilustra a evolução mensal do IVDN e seus desvios padrões. Este grupo também apresenta um ciclo anual bem definido com máximo de 0,54 em maio e mínimo de 0,22 em novembro.

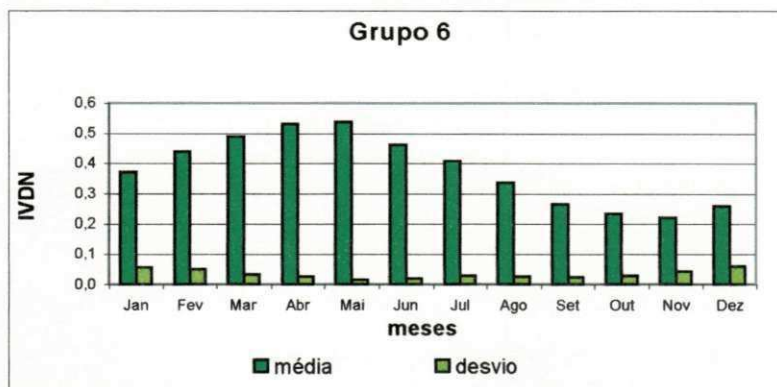


Figura 4.7f. Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 6.

Região 7. Compreende aproximadamente 6% da área e está situada na divisa sul do Piauí/Bahia e central sudoeste da Bahia, sendo caracterizada pela vegetação do tipo caatinga (centro sul da Bahia), contato caatinga/cerrado e floresta semi-decídua no oeste do Nordeste. A combinação dessas vegetações fornece um índice de vegetação médio anual de 0,42. A Figura 4.7g mostra o comportamento médio mensal do IVDN e seus desvios padrões. Neste grupo também observa-se um ciclo anual bem definido com máximo de 0,55 em fevereiro e mínimo de 0,25 em setembro.

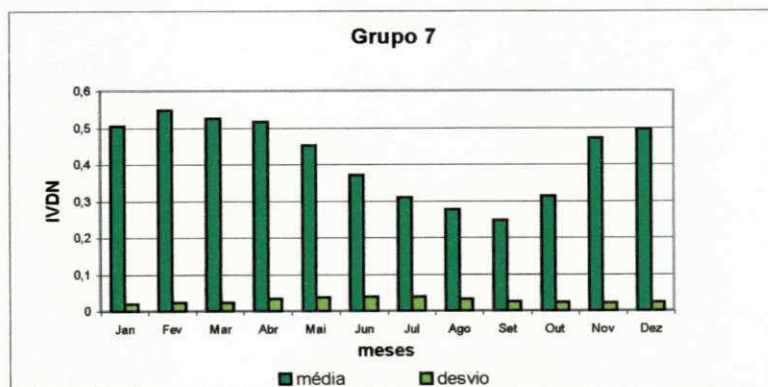


Figura 4.7g Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 7.

Região 8. Constitui 5,9% da área, situa-se no sudeste do Piauí, noroeste e oeste de Pernambuco. A vegetação predominante é a caatinga, com índice de vegetação médio anual de 0,36. Observa-se na Figura 4.7h um ciclo anual bem definido, com máximo de 0,53 em abril e mínimo de 0,21 em setembro.

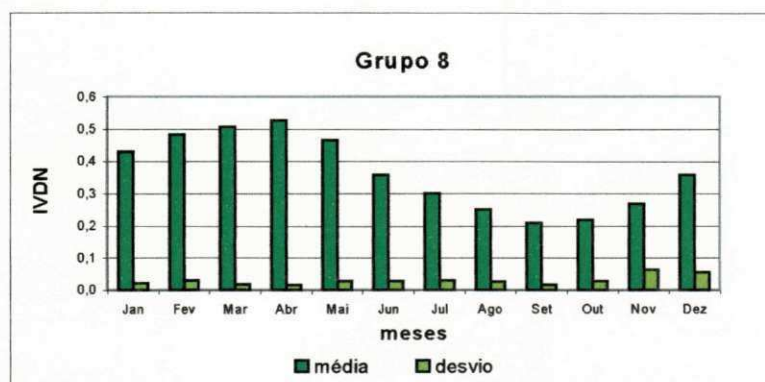


Figura 4.7h. Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90 para a região (grupo) 8.

Região 9. Corresponde a aproximadamente 9% da área, compreendendo a região do vale do S. Francisco em Pernambuco e se estende deste a região central norte da Bahia (região do S. Francisco e Chapada Diamantina) até o sul da Bahia. Em toda a região, às margens do S. Francisco encontra-se vegetação do tipo caatinga seca e esparsa, na parte oriental da Chapada observam-se alguns núcleos pequenos de floresta estacional semi-decídua, contato/caatinga e floresta semi-decídua nas proximidades de Jacobina e Morro do Chapéu. A região apresenta índice de vegetação médio anual de 0,33. A Figura 4.7i indica que o máximo é de 0,43 ocorre em março e abril e o mínimo de 0,21 em setembro e outubro. Pela descrição das regiões homogêneas de IVDN, observam-se que as variações da vegetação do tipo caatinga combinada com pequenos núcleos de vegetação do tipo floresta estacional semi-decídua, nas diferentes regiões, apresentam resposta do sensor muito próximas, dificultando a identificação dos diferentes tipos de vegetação. Nesta região, os baixos índices podem estar associados com a densidade da vegetação, regime pluviométrico e orografia.

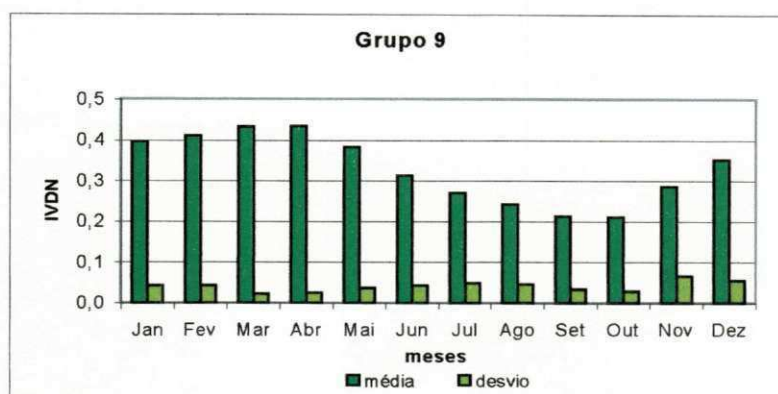


Figura 4.7i. Valores médios mensais de IVDN e seus respectivos desvios padrões no período de 1981-90, para a região (grupo) 9.

A síntese das principais características das nove regiões (grupos) homogêneas de IVDN da região Nordeste estão descritas na Tabela 4.1. Numa solução mais geral, as nove regiões (grupos) homogêneas de IVDN poderiam ser fundidas em duas grandes regiões (grupos). A primeira formada pela fusão das regiões 1, 2, 3 e 4 ocupando o setor leste, oeste do Nordeste e norte do Maranhão, com vegetação predominante cerrado, floresta estacional perenifólia e decídua e floresta com babaçu, respondendo bem ao ciclo anual das precipitações das regiões 4 e 5 (vide regiões das precipitações Figura 4.13), e que estão associadas aos sistemas frontais e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nos meses de novembro a janeiro. A segunda que ocupa a faixa central do Nordeste, obtido pela fusão das regiões 5, 6, 7, 8 e 9 cuja vegetação predominante é Caatinga, apresenta ciclo anual bem definido respondendo bem as precipitações das regiões 1, 2 e 3 associadas principalmente a ZCIT nos meses de fevereiro a abril. Os resultados obtido para vegetação predominante caatinga são coerentes com os obtidos por Nicholson & Farrar (1994) para regiões semi-árida da África e Barbosa (1998) para o Nordeste do Brasil. O IVDN que apresentou maior variação sazonal para o Nordeste, foi o da vegetação caatinga, enquanto que, estudos do IVDN feito na região Amazônica por Batista et al., (1993), mostraram que a maior variabilidade sazonal ocorreu no cerrado.

4.2 Padrões de Variabilidade Temporal e Espacial da Precipitação no Nordeste do Brasil.

Os resultados a seguir mostram os padrões temporais e espaciais das precipitações expressos pelos seus fatores comuns mais significativos, obtidos por análise fatorial em Componentes Principais. Os modos foram calculados a partir das séries temporais de precipitação mensal e anual em 166 estações meteorológicas no período de 1969-1989. Os resultados obtidos através desta técnica permitem revelar possíveis fenômenos atmosféricos que porventura, estejam associados a estes padrões temporais e espaciais de precipitação.

4.2.1 Análise Temporal das Precipitações.

Os três primeiros fatores comuns rotacionados, que explicam 95,8% da variância total da série, são mostrados na Figura 4.8. O primeiro fator comum explica 42,8% da variância total, com correlações positivas, superiores a 0,8, com ciclo anual bem definido predominando nos meses de maio a setembro, e com valores mínimos em dezembro e janeiro. O padrão espacial associado a este fator mostra contribuições (scores) baixas e negativas inferiores a -0,5 no litoral norte e na maior parte da região (Figura 4.9a). Os valores positivos aumentam gradativamente na direção do litoral leste, atingindo seus máximos superiores a 2,0 nas proximidades da costa do Nordeste. O padrão desse fator, com as maiores correlações de maio a setembro, está em fase com as maiores precipitações nesses meses na região leste. No restante da região (litoral norte e interior) as chuvas são poucas (correlações negativas de novembro a fevereiro). Possivelmente as chuvas associadas este padrão sejam provenientes dos sistemas meteorológicos oriundos de leste (brisa, ondas de leste, etc.) e frontais que, nesta época do ano, são mais importantes na região.

O segundo fator comum apresenta máximas correlações positivas de outubro a dezembro (superiores a 0,8) e mínimo em abril (em torno de -0,4). Este fator, explica 31% da variância total e tem ciclo anual bem definido. O padrão espacial desse fator, apresenta contribuições positivas (scores > 1), com máximos no oeste e sul do Nordeste, e valores negativos altos (< -1) no nordeste da região (Figura 4.9 b). Este segundo fator pode estar

associado a precipitações causado pela atuação dos sistemas frontais e ZCAS que predominam na região nos meses de outubro a janeiro.

O terceiro fator, explicando 22% da variância, revela um ciclo anual também bem definido, com correlações máximas predominando nos meses de fevereiro a abril ($r > 0,8$) e mínimos no inverno e primavera. O padrão espacial desse terceiro fator apresenta escores máximos no norte do Maranhão (superiores a 2,5), com valores também altos, da ordem de 1,5, na região oeste da Paraíba, Pernambuco e central sul do Ceará (Chapada do Araripe) (Figura 4.9c). Esta componente principal evidencia o regime de chuvas sazonais (verão e outono) na região devido à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

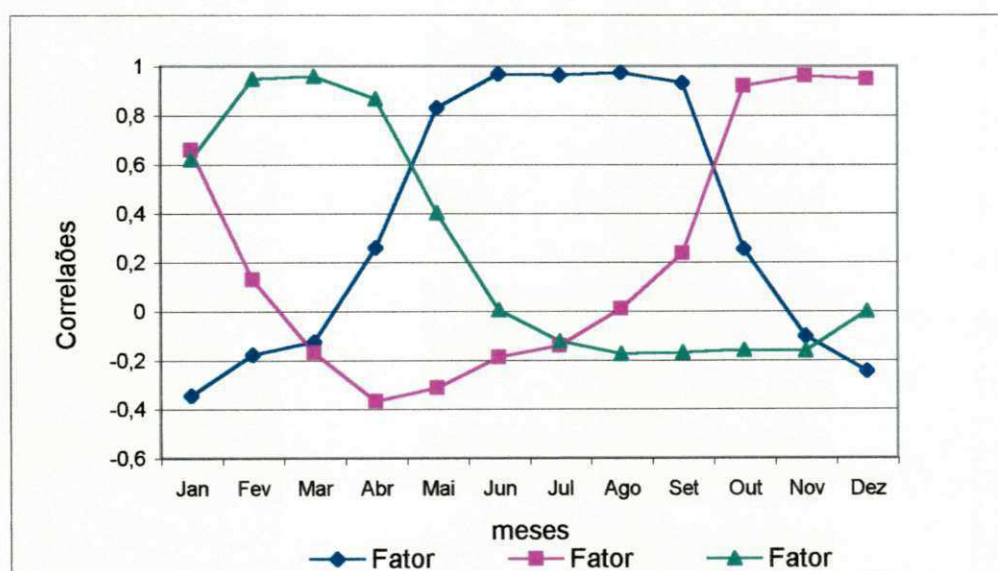


Figura 4.8. Cargas fatoriais (correlações) das precipitações que explicam 95,8% da variância total (42,8 + 31 + 22%) no Nordeste do Brasil (1969-89)

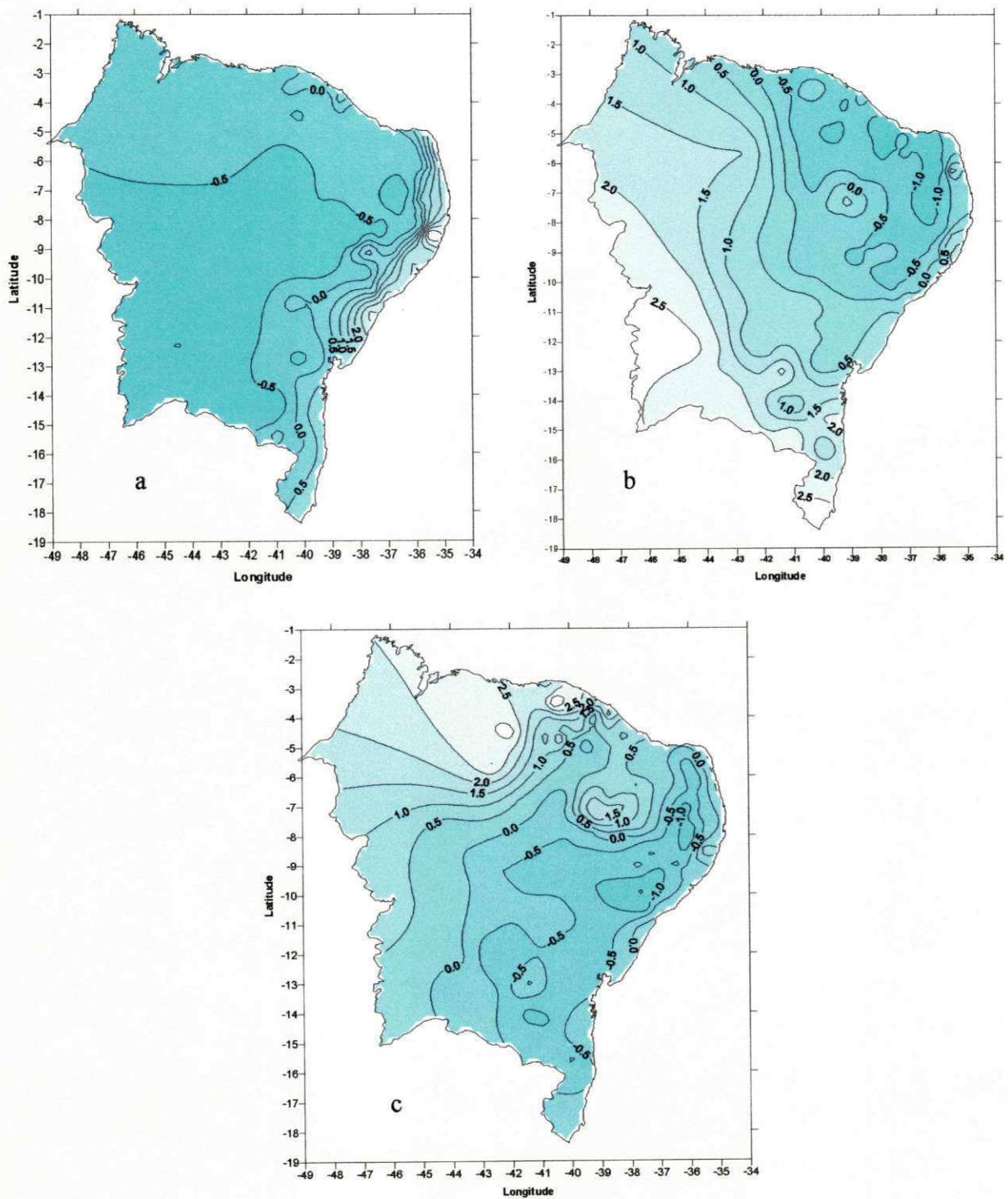


Figura 4.9a, b, c. Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns (escores) das precipitações no Nordeste do Brasil (1969-89).

4.2.2 Análise Espacial das Precipitações

Na análise espacial das precipitações foram considerados os 5 fatores comuns rotacionados mais significativos que explicam aproximadamente 80% da variância dos dados. Os padrões espaciais para os quatro primeiros fatores comuns das precipitações são mostrados na Figura 4.10 a, b, c, d. O primeiro padrão espacial (Figura 4.10a), representa a situação média da precipitação com 52,2% da variância explicada, isto é, este primeiro fator mostra um regime quase homogêneo da precipitação com correlações positivas e altas, superiores a 0,7, na região norte e pequeno núcleo no norte da Bahia. Correlações inferiores a 0,5 são observadas do litoral da Paraíba até sul da Bahia e norte de Sergipe. A série temporal (CP) associada a esse fator, mostrada na Figura 4.11 apresenta máximos nos anos de 74 e 85 considerados muito chuvosos, e mínimos em 70, 78 e 83 (anos secos). A componente principal desse primeiro fator comum evidencia as anomalias dos anos extremos (secos e chuvosos), que podem estar associados ao El Niño/La Niña.

O segundo modo espacial, explicando 12,1% da variância total, apresenta correlações positivas na maior parte da região, com valores superiores a 0,7 na região centro sul da Bahia. Correlações significativas entre 0,5 e 0,7 na região sudeste da Bahia e no restante da região, as correlações para este padrão são indiferentes. A série temporal (CP) desse fator apresenta mínimos em 76, 82, 84 e 86, significando que nesses anos houve secas na região sul da Bahia; por outro lado, nos anos de 78, 80 e 85 houve mais chuvas na região sul da Bahia (Figura 4.10b). O ano de 83 foi seco mas, choveu bem no sul da Bahia, chuvas oriundas dos sistemas frontais das latitudes médias (ver mapa das precipitações médias anuais no anexo B.1).

O padrão espacial do terceiro fator comum que explica 6,6 % da variância, apresenta máximos positivos ($r > 0,7$) em pequeno núcleo na região central leste de Sergipe. No restante da região o comportamento desse padrão é indiferente (Figura 4.10c). A série temporal deste modo, apresenta máximos em 75, 77, 78 e 89 significando anos chuvosos no leste de Sergipe e mínimos em 71, 80, 83 e 87, implicando em menos chuvas em todos os Estados.

Finalmente o quarto fator que explica 5% da variância, tem correlações baixas, inferiores a 0,3 em toda a região Nordeste, dispensando maiores comentários.

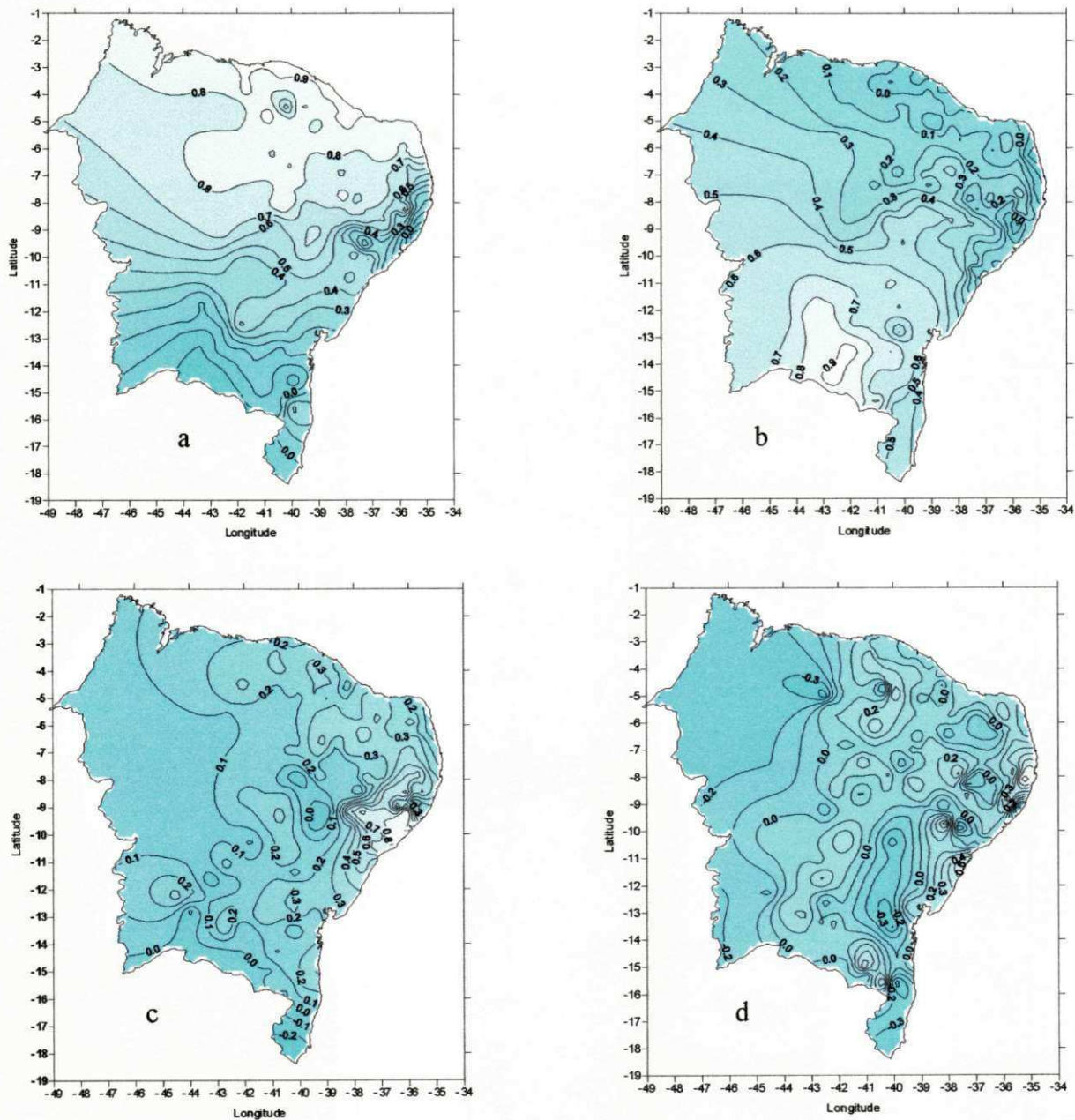


Figura 4.10a, b, c, d. Padrões espaciais (correlações) para os quatro primeiros fatores comuns anuais das precipitações na região Nordeste do Brasil que explicam 75,7% da variância total.

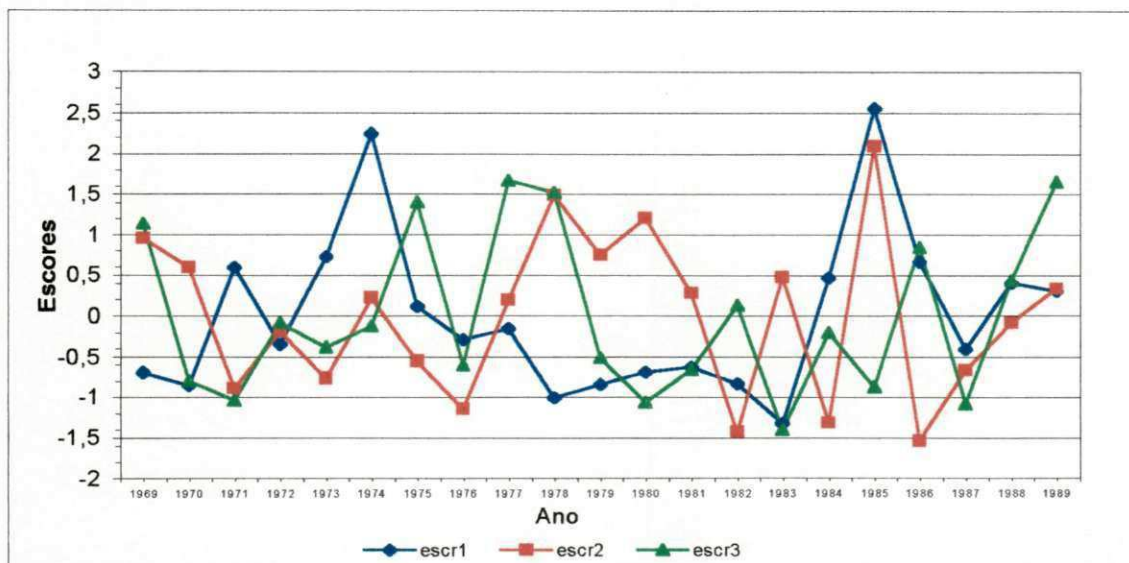


Figura 4.11 CP's dos três principais fatores comuns espaciais das precipitações.

4.2.3 Regiões Homogêneas de Precipitação na Região Nordeste

Para a determinação das regiões homogêneas da precipitação adotou-se o mesmo procedimento usado para o IVDN, ou seja, a classificação da região foi efetuada por diferentes métodos, dentre os quais optou-se pela técnica aglomerativa hierárquica de agrupamento ascendente, baseada no critério de inércia intra-classe proposto por Ward (1963). Tanto para o IVDN como para a precipitação, este método foi o que apresentou melhores resultados condizentes com os propósitos da pesquisa. A seqüência sucessiva de agrupamento encontra-se sob a forma de dendrograma, onde na abcissa estão as estações e a ordenada os níveis de agregação (distâncias) entre os grupos (Figura 4.12). O número de grupos homogêneos foi obtido através de cortes transversais no dendrograma, efetuado de acordo com o critério matemático de inércia e conhecimento prévio da climatologia da região Nordeste. Levando em consideração estes procedimentos, a região classificada em nove (09) sub-regiões pluviométricamente homogêneas em relação a variabilidade sazonal e interanual da precipitação. A delimitação das regiões homogêneas das precipitações estão ilustradas na Figura 4.13. Suas principais características estão sintetizadas na Tabela 4.2 e descrição mais detalhadas a seguir.

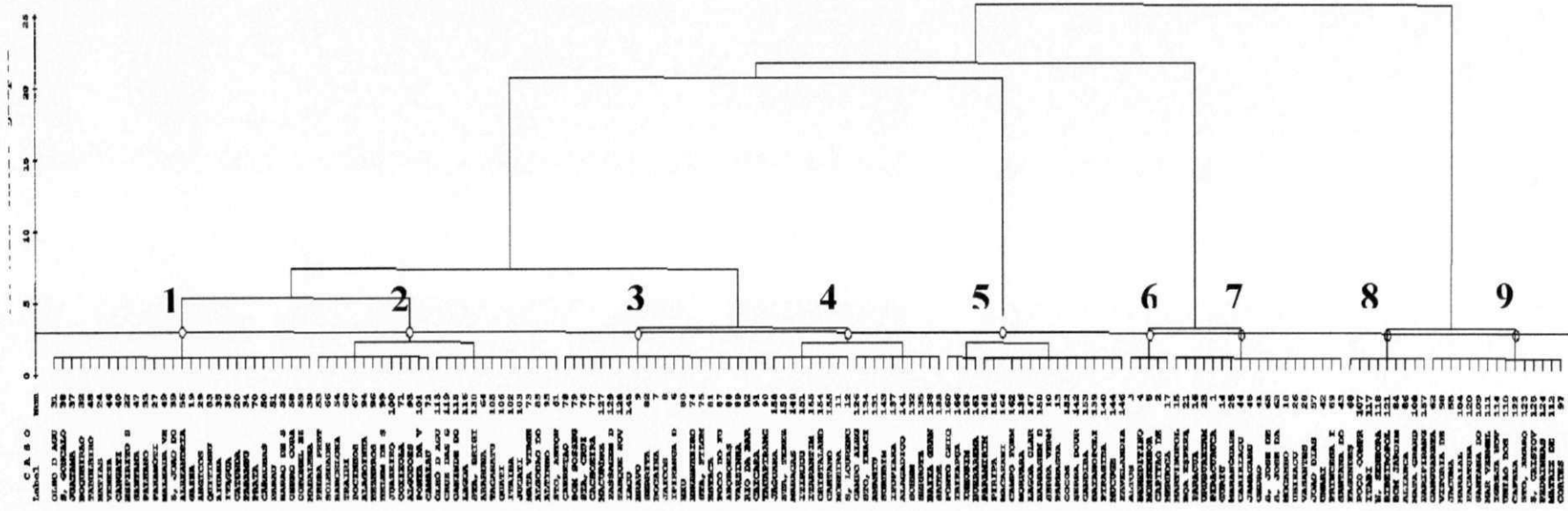


Figura 4.12 – Dendrograma resultante do agrupamento das 166 estações pluviométricas pelo o método aglomerativo hierárquico de Ward.

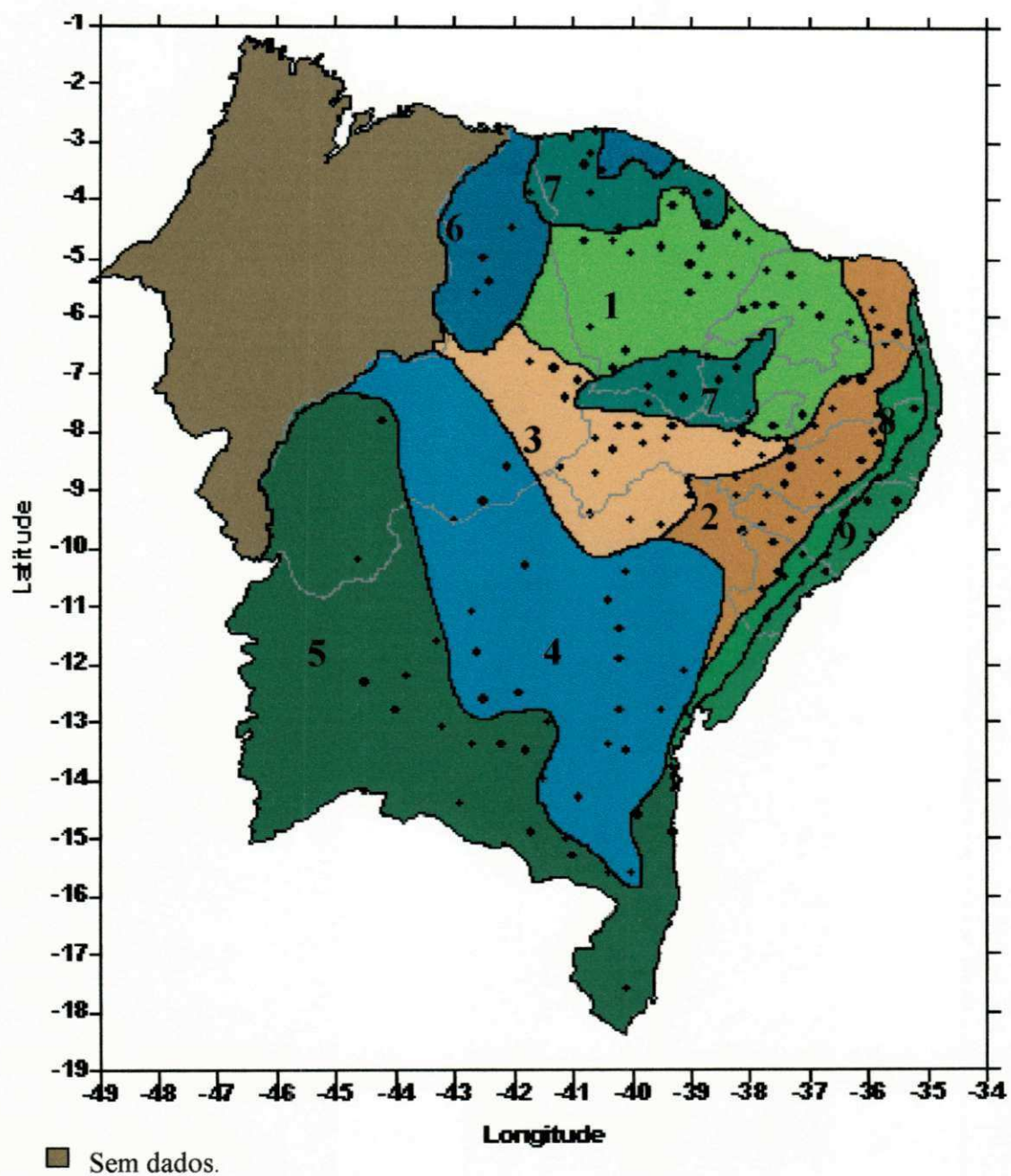


Figura 4.13. Regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual das precipitações, obtidas a partir de uma análise de agrupamentos dos seus principais fatores comuns espaciais e escores temporais no período de 1969-89.

Tabela 4.2 – Síntese das principais características das nove (09) regiões (grupos) homogêneas das precipitações no Nordeste do Brasil

Região (grupo) de precipitações	Área (%) Km ²	Localização	Prec.média (mm)	Trim + Chuv. % média (mm)	Vegetação Predominante
1	* 8,5 163350	Ceará (central) PB, RN, PE	788	FMA 62 491	Caatinga + floresta decídua
2	6,1 96800	Faixa paralela Ao agreste do RN até BA	608	MAM 44,9 273	Caatinga
3	7,0 111925	Oeste de PB, central do PI, norte da BA	616	FMA 54,5 616	Caatinga
4	18,5 296450	Centro norte da BA e sudeste do PI	545	DJF 35,8 195	Caatinga + Floresta decídua+ semidecídua
5	22,7 365000	Oeste da Bahia	712	DJF 49,6 354	Cerrado+elem cerrado + flo. est. Semidecí. Dua.
6	4,1 65037,5	Norte do Piauí	1207	FMA 63,5 767	Cerrado + ele. de cerrado + Flo. estacional semidecídua
7	5,1 81675	Norte do CE e S. do Araripe (CE)	1105	FMA 62 684	Flo.estacional Decídua + semidecídua
8	2,1 33.275	Agreste (faixa paralela ao litoral leste)	993	MJJ 44,5 442	Mata Atlântica
9	2,6 42350	Litoral leste (do RN até a sul da BA).	1421	MJJ 45,2 642	Flo. decídua agreste
Sem dados no período	19,8 317.625	Maranhão	-	-	Flo.est.pereni- fólia+babacu+ f.semidecídua +babaçu

4.2.3.1 Características das Regiões Homogêneas das Precipitações

Região 1. Corresponde a aproximadamente 9 % da área do Nordeste (163.350 km²) e localiza-se na região centro e norte do Ceará, norte do Rio Grande do Norte, centro oeste da Paraíba, e centro norte de Pernambuco (serra dos Cariris). Apresenta precipitação média anual de 788 mm. A Figura 4.14a ilustra o ciclo médio mensal da precipitação e seus respectivos desvios padrões nesta sub-região. Nota-se que a máxima de 195 mm com desvio padrão de 26,8 mm ocorre em março e a mínima de 4,3 com desvio padrão de 2,5 mm em setembro. As chuvas nessa região, com maiores índices no trimestre fevereiro, março e abril, estão associados à ZCIT.

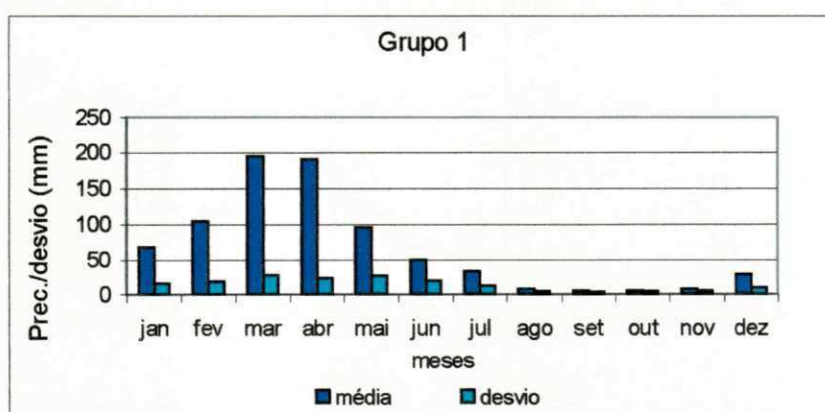


Figura 4.14a – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 1.

Região 2. Se estende deste o norte do Rio Grande do Norte do até o raso da Catarina (Bahia e Pernambuco) e é caracterizada como semi-árida do Nordeste, ocupando 6% da área. A precipitação média anual do grupo é da ordem de 607 mm, destacando-se em algumas localidades da Bahia e Paraíba totais médios inferiores a 500 mm. A Figura 4.14b, ilustra a variação média mensal da precipitação e seus respectivos desvios padrões. Em média a máxima precipitação ocorre em março e a mínima em outubro. Observa-se nesta região, que embora a precipitação seja baixa na maioria dos meses, não chega a ser zero em nenhum deles. Também nesta região as precipitações estão associadas à sistemas frontais e à ZCIT.

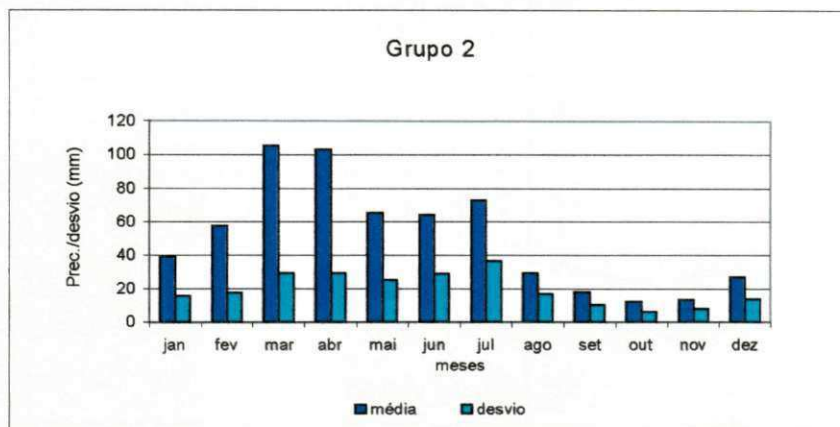


Figura 4.14b – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89 para as estações da região (grupo) 2.

Região 3. Corresponde a 7% da área e situa-se no vale do S. Francisco (sudoeste de Pernambuco), em parte do norte da Bahia e sudeste do Piauí, onde os índices pluviométricos se assemelham aos da região 2, com totais médios anuais de 616 mm. A Figura 4.14c mostra o ciclo anual da precipitações no grupo 3. O máximo mensal é 150 mm em março e mínimo de 3,7 em agosto. Tanto a região 2 como a 3 são classificadas como as mais semi-áridas do Nordeste. As precipitações estão relacionadas à sistemas frontais e ZCIT.

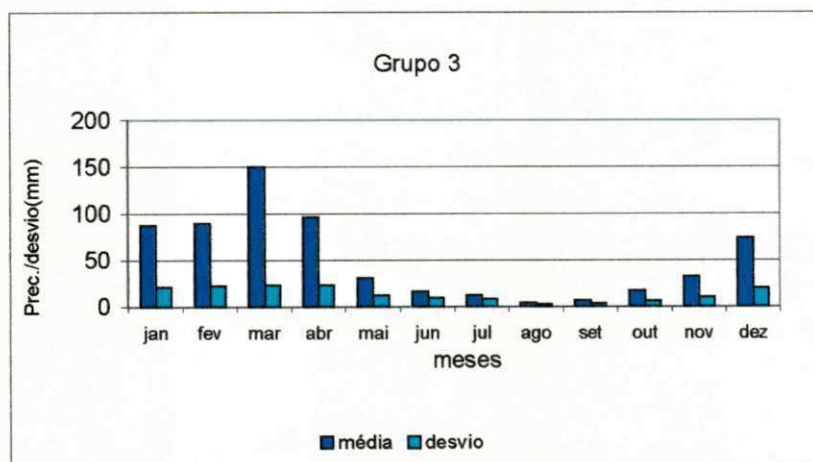


Figura 4.14c – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89 para as estações da região (grupo) 3.

Região 4. Constitui 18,5 % da área e domina a parte central do estado da Bahia (vale do S. Francisco), estendendo-se pela região central sul do Piauí (em torno de 7,0° Sul). Apresenta total médio anual de 708 mm. Na figura 4.14d, observa-se que o máximo da precipitação de 116mm ocorre em dezembro e mínimo em agosto. As precipitações nesta região estão associadas a sistemas de leste, frontais e ZCAS.

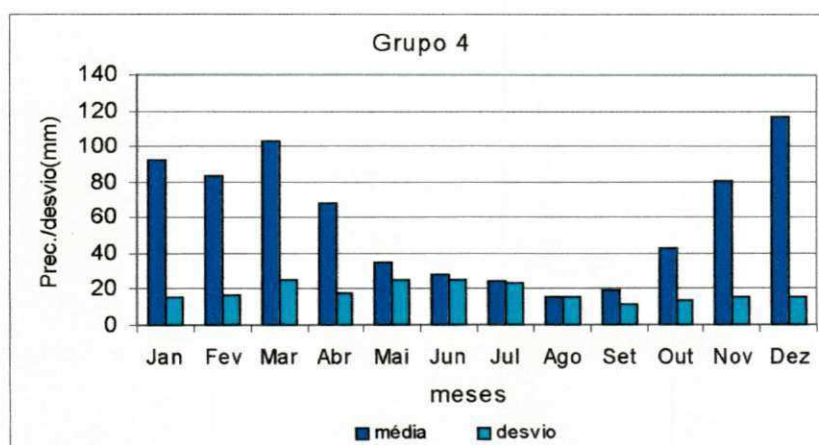


Figura 4.14 d. Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89, para as estações da região (grupo) 4.

Região 5. Compreende 22,7% da área e está posicionada no oeste e extremo sul da Bahia (região do cacau), e parte oeste do Piauí. Esta região apresenta total médio anual de 926 mm. A Figura 4.14e, mostra o comportamento médio mensal da precipitação e seus respectivos desvios padrões. Nota-se que o período com os maiores índices pluviométricos se verificam em novembro, dezembro e janeiro e mínimos em junho, julho e agosto. As precipitações desta região estão relacionados às instabilidade proveniente do planalto central, efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e sistemas frontais.

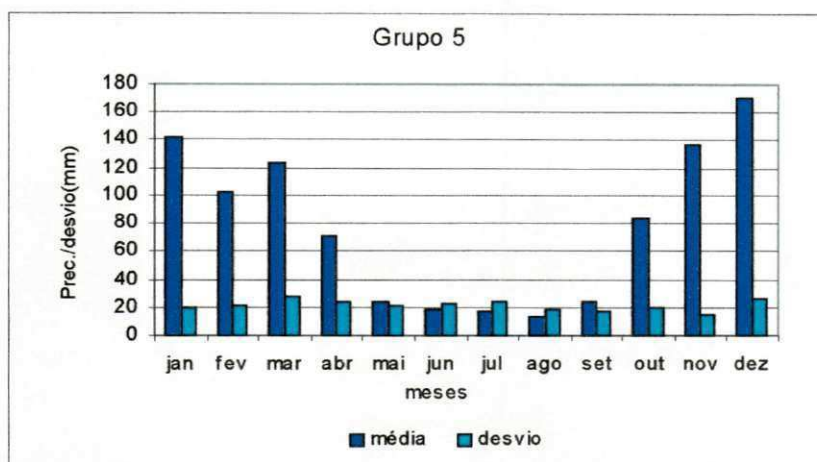


Figura 4.14e – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-1989 para as estações da região (grupo) 5.

Região 6. Ocupa 4,2 % da área e compreende simplesmente a região norte do Piauí com total médio anual da precipitação de 1458 mm. A figura 4.14f, ilustra a distribuição média mensal da precipitação. Pode-se observar que as médias mais elevadas ocorrem no trimestre fevereiro-março-abril, com máximo de 355 mm em março e mínima de 7,4 mm em agosto. A precipitação desta região está relacionada ao posicionamento da ZCIT nesta época do ano, na porção norte do Nordeste.

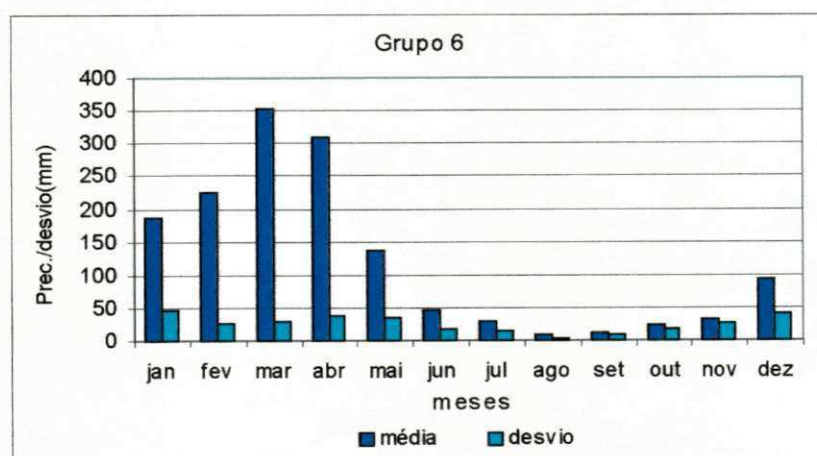


Figura 4.14f – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89 para as estações da região (grupo) 6.

Região 7. Compreende 5,1 % da área e localiza-se na região da chapada do Araripe no Ceará, e parte do oeste da Paraíba (sertão) e na divisa com o norte de Pernambuco, com precipitação média anual do grupo de 1105 mm. A Figura 4.14g, mostra o comportamento médio mensal da precipitação, com maiores valores no trimestre fevereiro, março e abril e mínimo em agosto. Como a região 6, a precipitação nesta região está relacionada com a ZCIT e orografia.

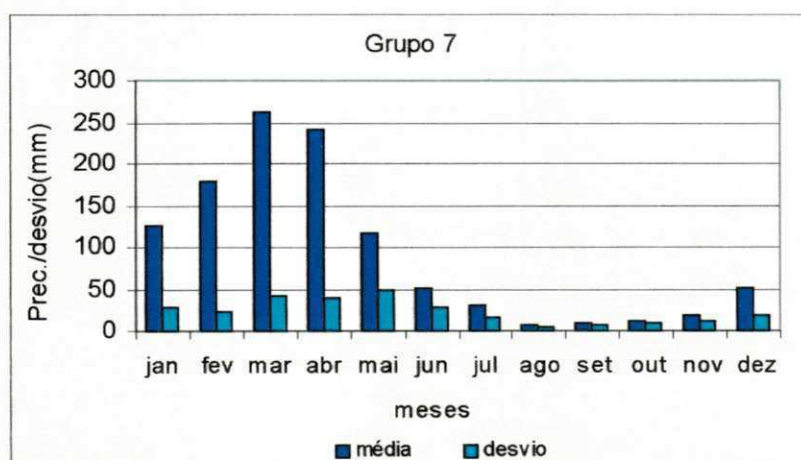


Figura 4.14 g. Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89 para as estações da região (grupo) 7.

Região 8. Ocupa aproximadamente 2% da área, e situa-se na Zona da Mata e Agreste, região paralela ao litoral, que se estende da Paraíba até a Bahia (em torno de 12,0° sul) apresenta total médio anual de 993,2 mm. A figura 4.14h, mostra o ciclo sazonal da precipitação com trimestre mais chuvoso em maio, junho e julho. As precipitações nesta região estão associadas aos mesmos sistemas que atuam na região 9, porém com menos intensidade devido a orografia e a distância do oceano.

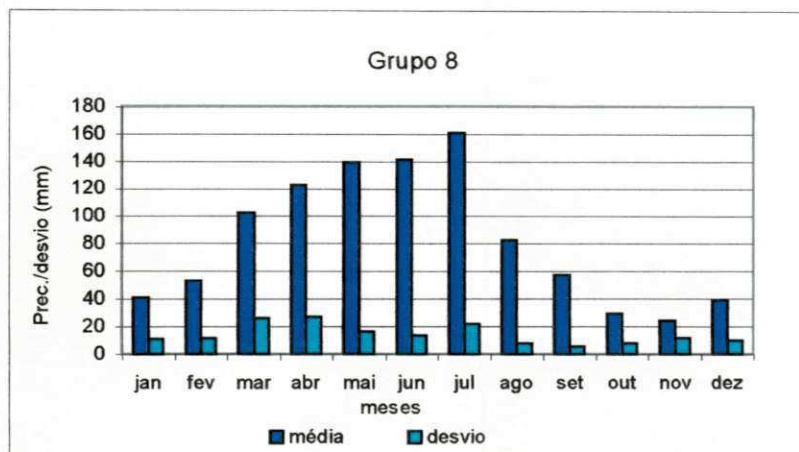


Figura 4.14 h. Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-69 para as estações da região grupos 8.

Região 9. Corresponde a 2,6 % da área, ocupando a região do litoral deste o Cabo de Roque no Rio Grande do Norte, até 12,0° Sul da Bahia. As precipitações nesta região são as mais elevadas do Nordeste, com total médio de 1421 mm. Pela Figura 4.14i, observa-se que os valores mais elevados se encontram em maio, junho e julho. Observa-se ainda que as precipitações nesta região são maiores e regulares do que as da região 8, devido a atuação mais intensa dos sistemas de meso e escala sinótica (brisas, ondas de leste, vórtices ciclônicos e sistemas frontais).

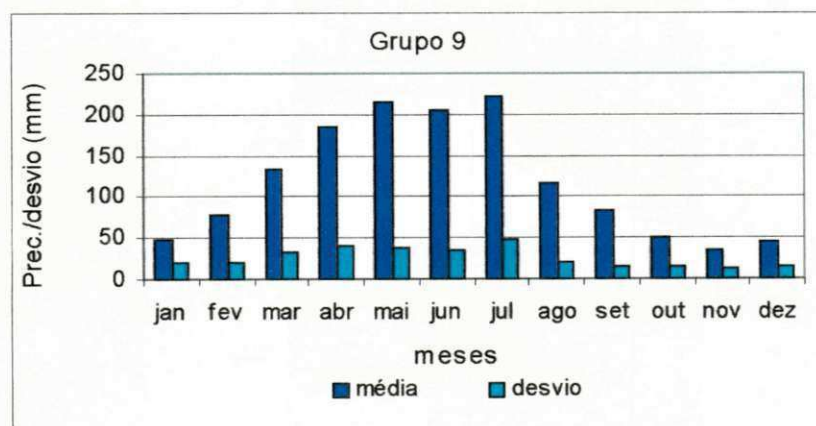


Figura 4.14i. Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1969-89 para as estações da região grupos 9.

A sobreposição dos grupos de IVDN e precipitações mostram o grau de associação entre os diferentes tipos de vegetação e os diversos regimes pluviométricos na região Nordeste, ou seja:

- a) as regiões 1 e 7 de IVDN, onde predominam as vegetações do tipo cerrado e elementos de cerrado, contato caatinga/cerrado, estão relacionadas com o regime pluviométrico da região 5, cujas precipitações são oriundas de instabilidade no planalto central, ZCAS e sistemas frontais com maior frequência nos meses de novembro, dezembro e janeiro;
- b) a região 2 de IVDN, cuja vegetação natural predominante é floresta decídua agreste, floresta decídua perenifólia está relacionada com as regiões 8 e 9 das precipitações com regime pluviométrico associado aos sistemas de leste;
- c) as regiões 1, 3 e 9 de IVDN, formado por diferentes tipos de vegetações (cerrado, elementos de cerrado, floresta estacional decídua e semi-decídua, caatinga esparsa e densa) estão inserido no grupo 4 das precipitações cujo regime pluviométrico está associado à diferentes sistemas meteorológicos (sistemas frontais, ZCAS e sistemas de leste);
- d) as regiões 5 e 6 de IVDN cuja vegetação predominante é caatinga com alguns núcleos de cerrado e floresta estacional semi-decídua e decídua, fazem parte das regiões 1, 2 e 7 das precipitações que tem regimes pluviométricos associados à ZCIT, vórtices ciclônicos e orografia.

Observa-se que a resposta do IVDN às precipitações nas diversas regiões varia conforme os padrões morfológicos da cobertura vegetal, pois um mesmo tipo de vegetação em regiões diferentes, pode responder diferentemente às precipitações, apresentando valores distintos do IVDN. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Barbosa (1998), para algumas áreas teste em diferentes regiões do Nordeste do Brasil.

4.3 Correlações Cruzadas entre IVDN e Precipitação

A Tabela 4.3 ilustra a matriz de correlações cruzadas anuais entre as CP's das precipitações e IVDN no período de 1981-90. A série temporal do primeiro fator que explica 75% da variância no IVDN tem correlação alta e positiva com o primeiro de precipitação ($r=0,86$), que explica 52% da variância. A análise cruzada destes fatores mostrou que as anomalias para anos extremos estão em fase, ou seja, quando um ano é muito seco o IVDN decresce significativamente e vice-versa em toda região Nordeste. A série temporal do segundo fator de IVDN tem correlação mais significativa com o terceiro fator da precipitação ($r=0,83$). Este fator espacial associa os baixos valores de IVDN na porção mais semi-árida com os baixos índices pluviométricos da região Nordeste.

A série temporal do terceiro fator comum de IVDN foi a que apresentou correlação mais elevada com a segunda de precipitação ($r= 0,91$). Este fator pode estar associado com a penetração dos sistemas frontais no sul da Bahia, que tem maior frequência nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, significando que nesta região a resposta da vegetação às precipitações estão diretamente correlacionadas. Ainda observam-se correlações significativas menos importantes entre a primeira CP de IVDN e a quarta da precipitação e a segunda de IVDN e quinta da precipitação.

Tabela 4.3. Matriz das correlações entre as CP's de IVDN x Precipitação (IVDN1...IVDN3 Prec1...Prec5).

	Ndvi1	Ndvi2	Ndvi3	Prec1	Prec2	Prec3	Prec4	Prec5
Ndvi1	1,00							
Ndvi2	0,10	1,00						
Ndvi3	0,04	-0,35	1,00					
Prec1	0,86	-0,21	0,36	1,00				
Prec2	0,23	-0,29	0,91	0,50	1,00			
Prec3	0,44	0,83	-0,30	0,14	-0,29	1,00		
Prec4	0,65	0,00	-0,06	0,50	-0,18	0,33	1,00	
Prec5	-0,05	0,67	0,08	-0,26	0,26	0,37	-0,46	1,00

Resumindo, a série temporal do primeiro fator do IVDN que explica 75% da variância tem alta correlação (de 0,86) com o primeiro da precipitação que explica 52% da variância, e esta associado com as anomalias dos anos extremos. O segundo que explica 8,5% da variância tem correlação significativa de 0,83 com o terceiro da precipitação que explica 6,1% da variância, distinguindo a porção mais semi-árida das demais. E o terceiro do IVDN que explica 6,6% esta altamente correlacionado com o segundo da precipitação que explica 12,1% da variância, evidenciado a região sul da Bahia e atuação mais intensa dos sistemas frontais na região.

4.4 Análise Conjunta da Variabilidade Temporal do IVDN e Precipitações

Nesta segunda parte do estudo analisou-se a resposta da vegetação às variabilidades sazonais das precipitações nas diferentes regiões, utilizando os mesmos procedimentos estatísticos descritos nas seções 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3.

Obtiveram-se os fatores comuns temporais através do método das componentes principais aplicado às médias mensais de IVDN nos 6925 pontos de grade agrupados em 25 e precipitações nas 277 estações distribuídas na região Nordeste, exceto numa estreita faixa do litoral, devido à redução na escala escolhida ($38 \times 38 \text{ km}^2$). Foram retidos os quatro primeiros fatores, que explicaram aproximadamente 90% de variância total.

O primeiro fator comum de IVDN e precipitações, que explica 34% da variância conjunta dos dados, tem altas correlações positivas com as precipitações nos meses de maio a setembro, enquanto que as maiores correlações deste fator com o IVDN são observadas de agosto a outubro (Figura 4.15). O padrão espacial deste primeiro fator tem escores positivos superiores a 1, na faixa litorânea, que se estende do Rio Grande do Norte até Bahia e escores negativos inferiores a 1, na porção semi-árida, na região central do Nordeste (Figura 4.16a). Este fator relaciona as chuvas de maio a setembro com índice mais elevado de julho a outubro, mostrando o comportamento anual do IVDN em relação às precipitações. O primeiro fator delimita leste do Nordeste, onde chove mais no período de maio a setembro, devido a atuação dos sistemas de leste.

O segundo fator comum que explica 30% da variância total, tem altas correlações com a precipitação de outubro a dezembro e com IVDN de novembro a janeiro. O padrão espacial associado a este fator apresenta valores mais elevados na porção oeste e sul do Nordeste com contribuições superiores a 2,0 no sudoeste da Bahia e no restante da região é indiferente (Figura 4.16.b). Esta componente pode estar associada às chuvas provenientes da atuação dos sistemas frontais, com maiores correlações entre chuva e IVDN nos trimestres OND e NDJ respectivamente.

O terceiro fator comum, que explica 18,4 % da variância, está fortemente correlacionado com as precipitações de fevereiro a abril. Este padrão tem pouca relação com o IVDN durante todo o ano. O padrão espacial deste fator (escores), apresenta altas contribuições superiores a 2,0 no setor noroeste do Nordeste, no Maranhão e Piauí (Figura 4.16c). As chuvas nestes meses podem estar associadas com a atuação mais intensa da ZCIT nesta região.

Finalmente, o quarto fator comum, que explica 6,9% da variância, apresenta altas correlações ($r \approx 0,8$) com o IVDN em abril e maio. Entretanto, observa-se que este fator não tem correlações sazonais significativas com as chuvas. O padrão espacial correspondente a este fator é complexo, com cargas fatoriais negativas inferiores a $-1,0$ na região do vale do S. Francisco e Rio Grande do Norte. No restante da região as contribuições são insignificantes, exceto sudeste da Bahia e sul do Ceará (Chapada do Araripe) onde se verificam contribuições da ordem 2,0 (Figura 4.16d). Este padrão embora não esteja bem correlacionado com a chuva, evidencia que na vegetação destas áreas específicas não ocorreram mudanças significativas na sua fenologia.

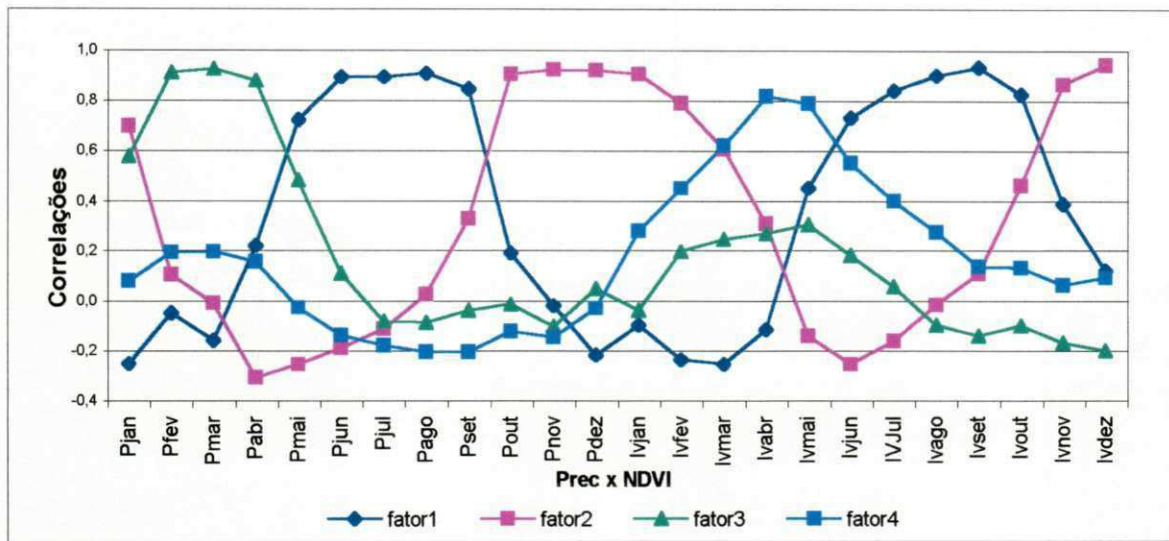
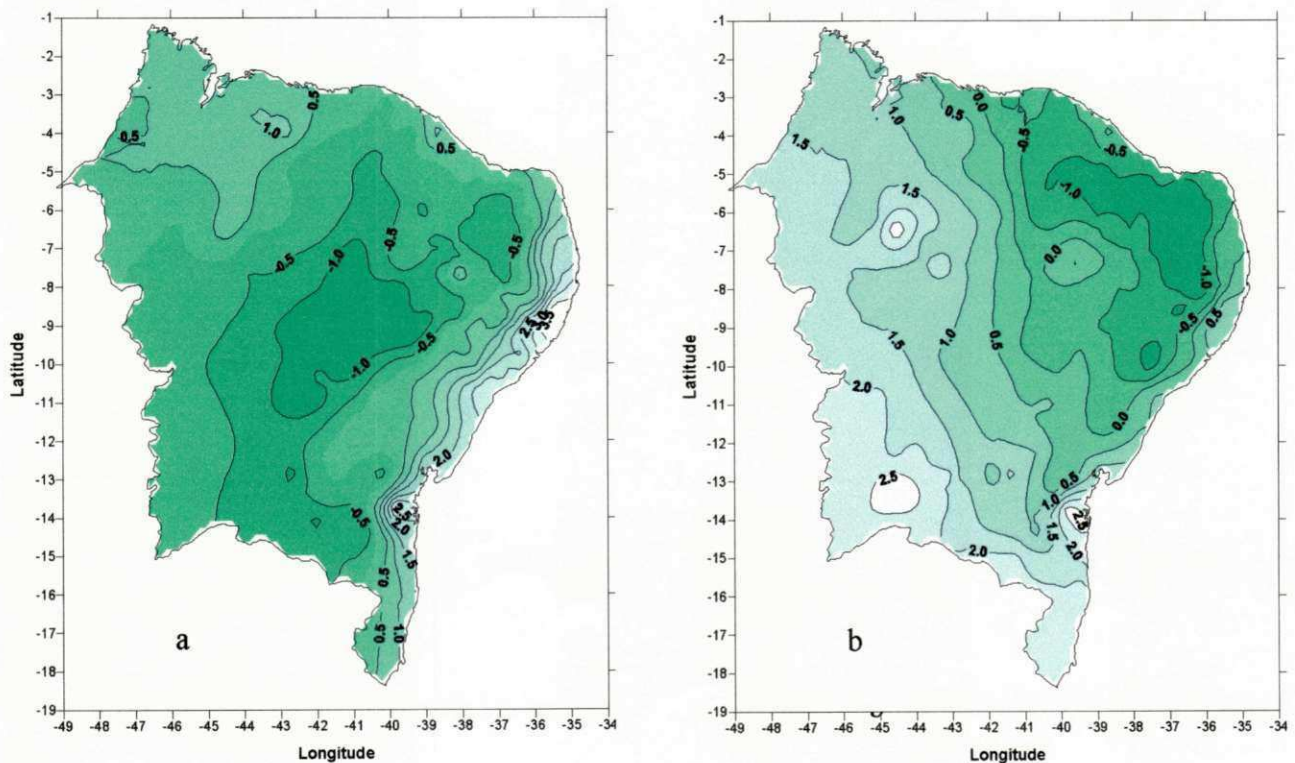


Figura 4.15 – Cargas fatoriais (correlações) para os quatro primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,6% (34,3+30+18,4+6,9 %) da variância conjunta do IVDN e das precipitações na região Nordeste do Brasil.



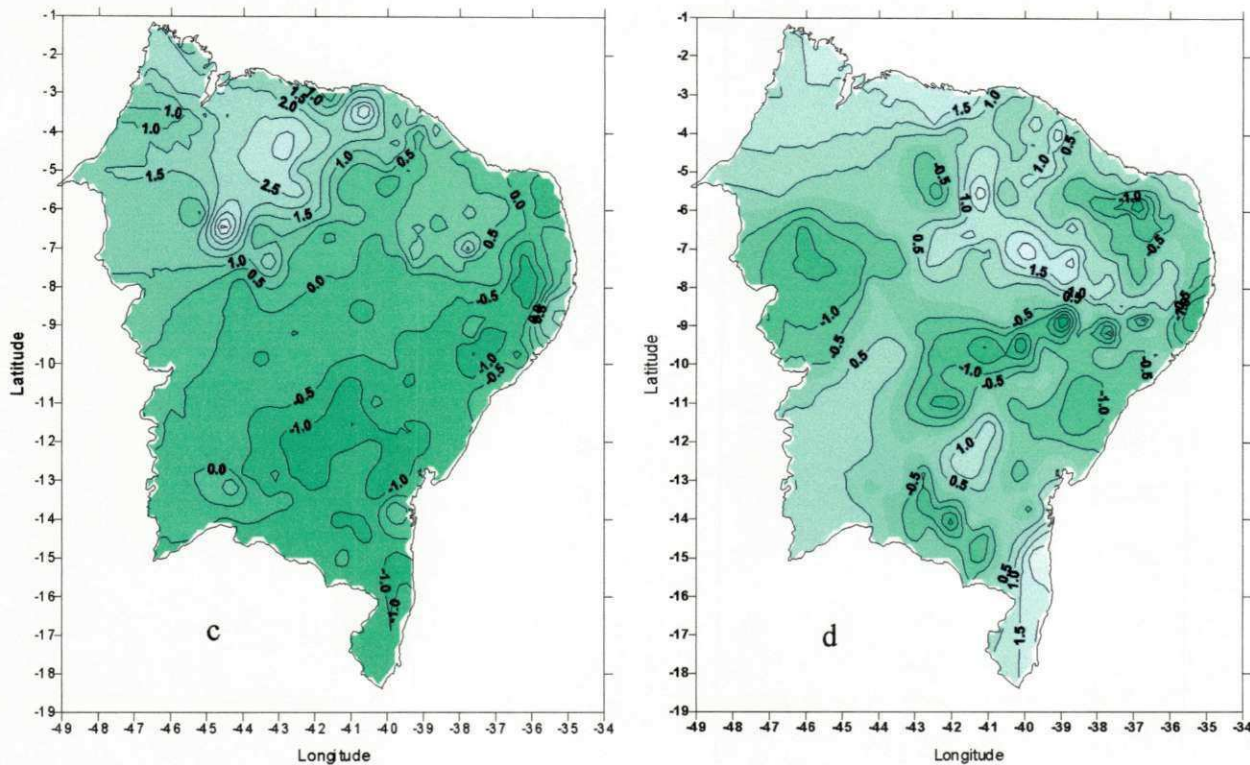


Figura 4.16a, b, c, d. Padrões espaciais para os quarto primeiros fatores comuns (escores) de IVDN e das precipitações no Nordeste do Brasil (1981-90)

4.4.1 Análise de Agrupamento em Função da Resposta do IVDN às Precipitações

A análise de agrupamento conjunta dos principais fatores comuns do IVDN e precipitações teve como objetivo fazer uma partição simultânea das estações pluviométricas e índices de vegetação, para determinar grupos distintos das 277 estações pluviométricas e (277x5x5) pontos de grade de IVDN distribuídos no bioma da região Nordeste conforme metodologia descrita no item 3.2. Os grupos foram determinados a partir dos 4 primeiros fatores comuns temporais mais significativos. O número ótimo de grupos foi obtido pelo critério de inércia e corte visual no dendrograma, em função da resposta dos diferentes tipos de vegetação, representados pelo IVDN, às precipitações mensais (Figura 4.17). Foram efetuadas várias partições, mais optou-se dividir a região em 8 classes distintas, porque esta combinação foi a que melhor se ajustou às tendências e características climáticas da região. A distribuição espacial das 08 regiões homogêneas conjunta de IVDN e das precipitações estão ilustradas na Figura 4.18. A Tabela 4.4 apresenta uma síntese das principais características dessas regiões. A descrição detalhada de cada região homogênea estão a seguir.

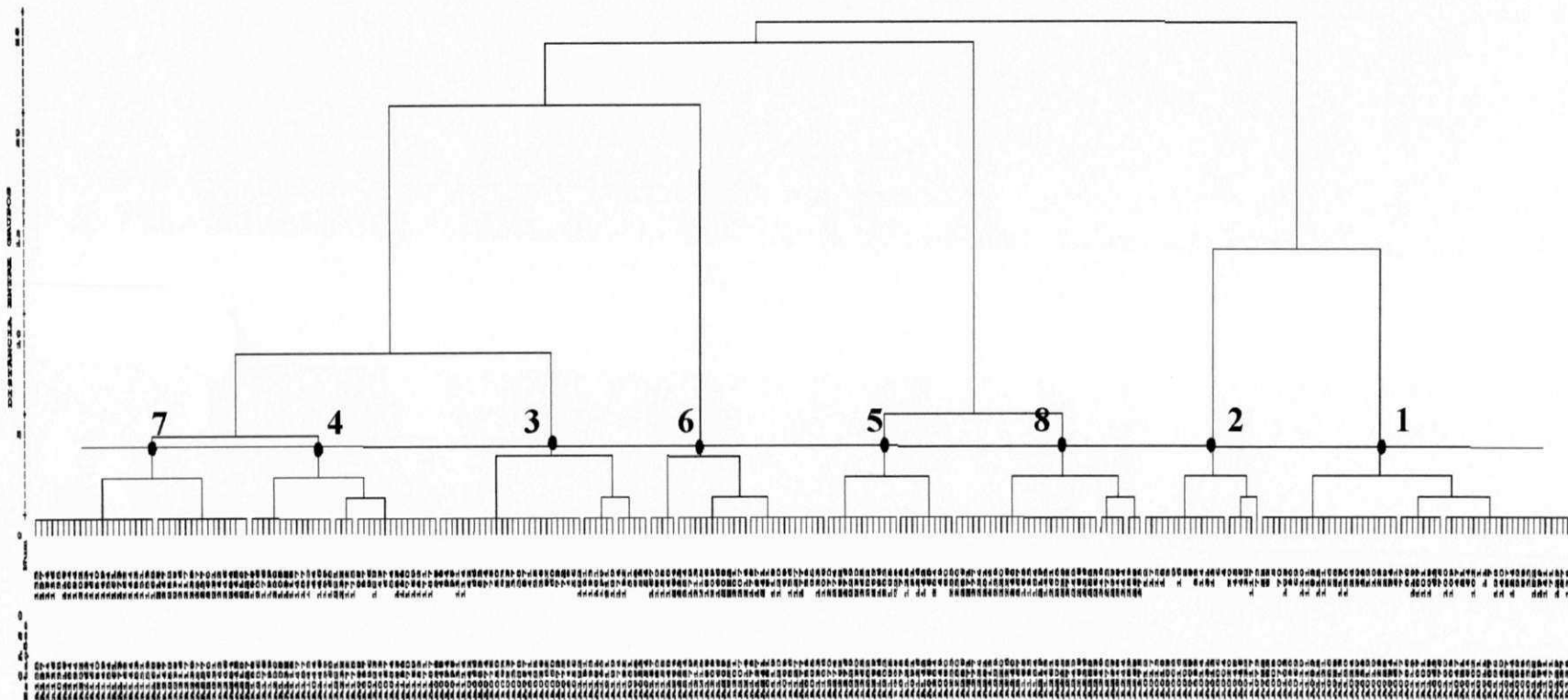


Figura 4.17 – Dendrograma resultante dos agrupamentos das 277 estações pluviométricas/IVDN pelo o método hierárquico aglomerativo de Ward.

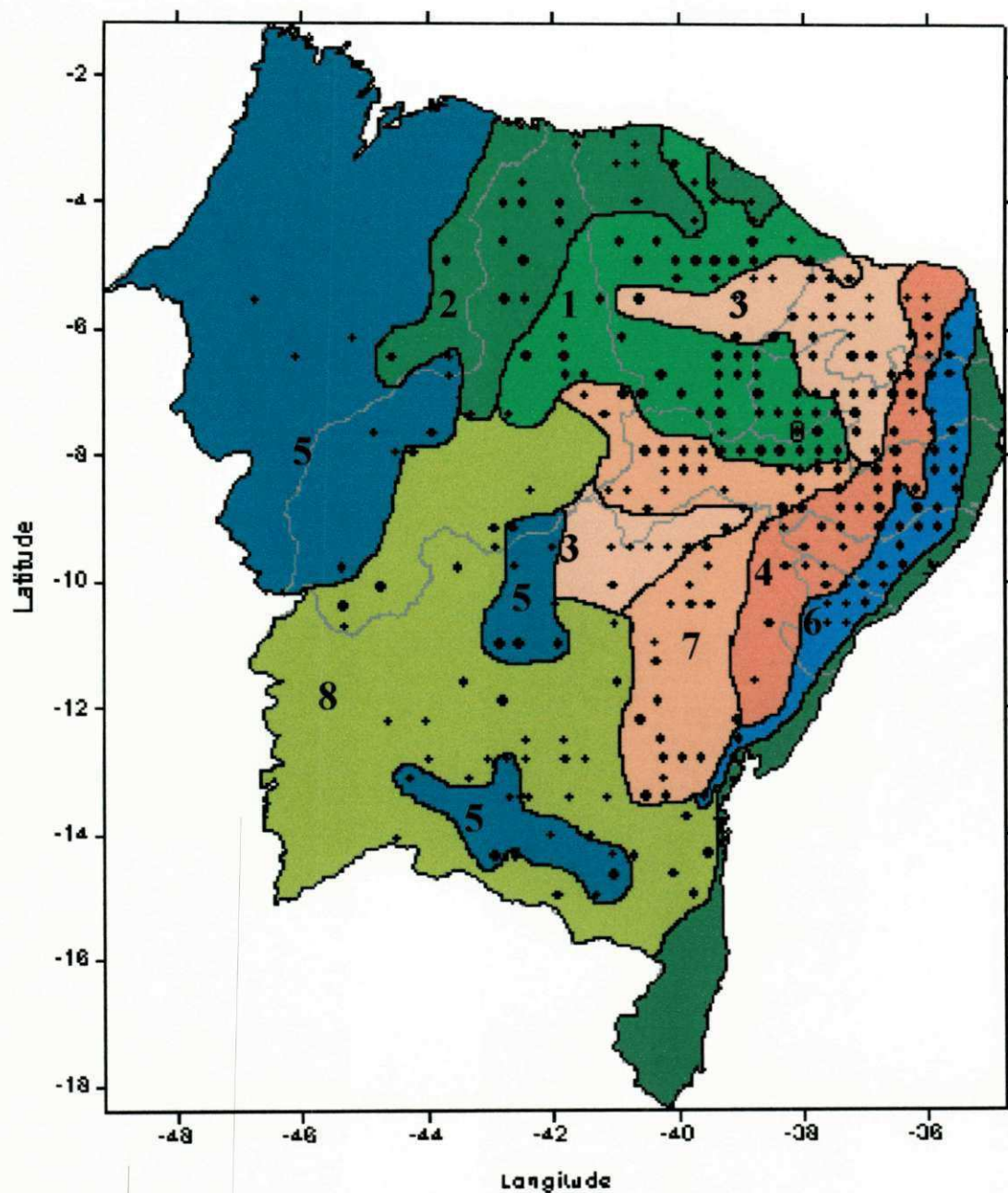


Figura 4.18 – Regiões homogêneas da resposta do IVDN às precipitações, obtidas a partir dos seus principais fatores comuns temporais (escores) para o período de 1981-90. A faixa verde litoral leste área não selecionada.

Tabela 4.4. Síntese das principais características das oito regiões (grupos) homogêneas da resposta do NDVI às precipitações no Nordeste do Brasil.

Região (Grupo)	Área (%) (km ²)	Localização	NDVI (médio) máx/mes	Prec.anual (mm) máx/mes	Vegetação Predominante	Tempo de Resposta (meses)
1	10,3 163.616	Ceará / PB PE / PI	0,39 0,53/abr	874 223/mar	Caatinga + F..estacional semidecídua	1
2	8,2 131.404	Norte do PI/ este MA e norte do CE	0,41 0,52/mai	1560 376/mar	F. estacional + babaçú + Praias/ dunas + restinga	2
3	7,3 117.686	Oeste RN, este PB, PE, norte da BA	0,29 0,44/mai	725 190/abr	Caatinga	1
4	5,4 86.400	Faixa paralela ao agreste (RN até Bahia)	0,36 0,48/mai	582 116/abr	Caatinga	1
5	26,3 421648	Oeste Pi , sul Ma , sul da Ba (vale Francisco)	0,47 0,47/fev	873 159/dez	Cerrado+ contato/caat. / cerrado	2
6	3,9 62.092	Faixa paralela litoral leste do Nordeste	0,44 0,54/jun	1128 181/jul	Floresta estac.decídua (agreste)	2
7	8,5 135.736	Oeste de Pe, leste do Pi, este da Ba	0,37 0,47/abr	634 140/mar	Caatinga	1
8	24,3 388.436	Oeste e centro sul da Ba e sul do Pi	0,43 0,53/fev	785 168/dez	Cerrado+ele. decerrado+F Estacional S.decídua	2
Não selecionada	4,6 73.644	Litoral leste	-	-	Mata Atlântica	-

4.4.2 Características das Regiões Homogêneas em Relação à Resposta de IVDN às Precipitações

Região 1. Compreende 10,3 % da área (164.616 km²), ocupando cerca de 2/3 do Ceará, uma pequena área no oeste da Paraíba, norte de Pernambuco e leste do Piauí. A precipitação média anual é da ordem de 874 mm o IVDN médio é de 0,39. A Figura 4.19a apresenta a resposta do IVDN às precipitações na região 1. Observa-se nesta região que o IVDN médio mensal mais elevado de 0,53 ocorreu em abril e maio, respondendo à maior precipitação média mensal de 223 mm em março ou seja de um a dois meses após as chuvas. Logo, o resultado encontrado mostra que para este grupo a defasagem foi de um mês. A vegetação característica predominante nesta região é a caatinga, excetuando a região sul do Ceará na divisa com Pernambuco (Serra do Araripe) onde se encontra floresta estacional semi-decídua com predominância de espécies arbustivas da caatinga.

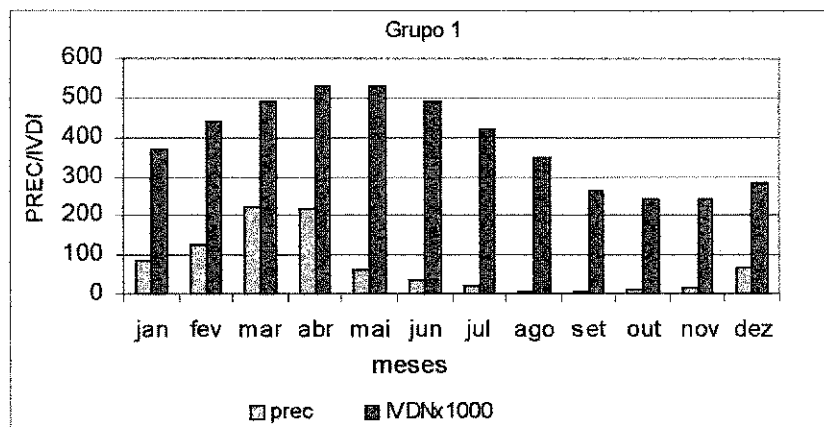


Figura 4.19a- Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 1 no Nordeste do Brasil (1981-90).

Região 2. Corresponde a 8,2% da área (131.404 km²) e compreende o norte do Piauí, leste do Maranhão e noroeste do Ceará. A precipitação média anual é aproximadamente 1560 mm e o IVDN 0,41. Na Figura 4.19b são mostradas as variações sazonais médias do IVDN e das precipitações neste grupo. Observa-se que em média o maior valor do índice médio mensal (0,52) ocorre em maio, enquanto que a maior precipitação média de mensal de 376 mm em

março, ou seja há uma defasagem de dois meses na resposta da vegetação às precipitações. Os tipos de vegetação predominantes na região são: floresta estacional perenifólia com babaçu, florestas semi-decídua com babaçu, floresta semi-decíduas e vegetação de praias, dunas e restingas.

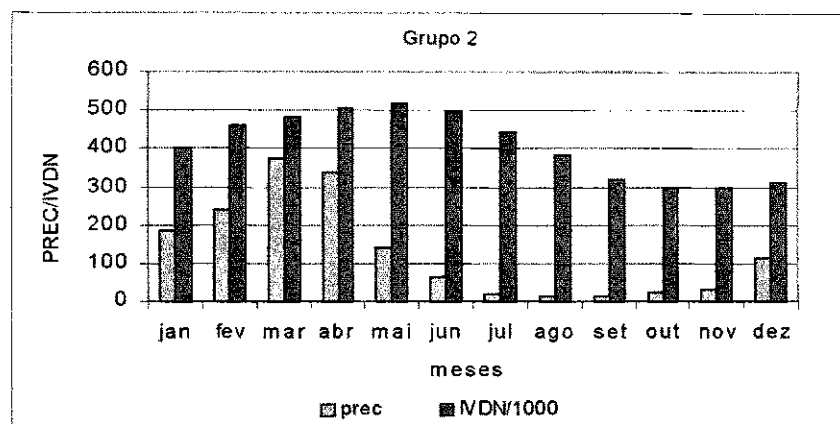


Figura 4.19b- Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 2 no Nordeste do Brasil (1981-90).

Região 3. Compreende 7,3% da área, com aproximadamente 117.686 km² e está posicionada geograficamente em duas regiões distintas: uma compreendendo o oeste do Rio Grande do Norte, leste do Ceará e centro da Paraíba e a outra no sul de Pernambuco e norte da Bahia (região do vale do S. Francisco). A precipitação média anual é 725 mm, com máximo em abril e mínimo em setembro. O IVDN médio é 0,29, com máximo em maio e mínimo em novembro. Observa-se na Figura 4.29c que variação sazonal média do IVDN e precipitação apresenta defasagem de um mês na resposta da vegetação às precipitações. A vegetação predominante neste grupo é a caatinga.

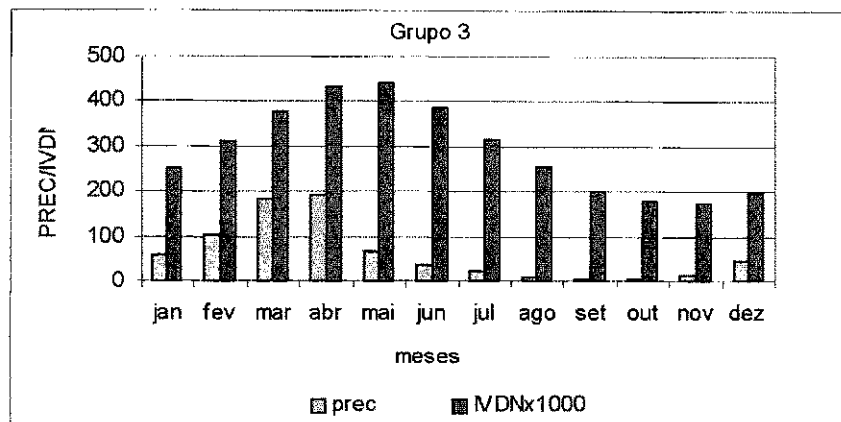


Figura 4.19 c- Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 3 no Nordeste do Brasil (1981-90).

Região 4. Corresponde a 5,4% da área (86.640 km²), e situa-se na faixa paralela ao litoral leste que se estende deste o Rio Grande do Norte até norte da Bahia e destaca-se por apresentar os menores índices pluviométricos, com média anual de 582 mm, máximo em abril e mínimo em outubro. O IVDN médio é 0,36, com máximos em maio e junho e mínimo em dezembro. A Figura 4.19d ilustra máximos de 0,48 em maio e junho, e a precipitação mais elevada, de 116 mm em abril, apresentando uma defasagem de um mês em relação ao IVDN. A vegetação predominante neste grupo é a caatinga.

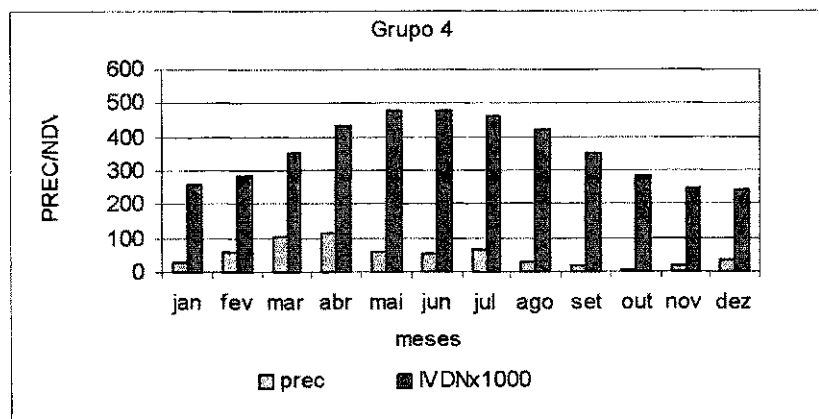


Figura 4.19d. Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 4 no Nordeste (1981-90) predominante neste grupo é a caatinga.

Região 5. Compreende 26,3% da área (421.648 km²) e é formada por 3 regiões geograficamente distintas: uma área no oeste do Piauí e quase todo Maranhão, outra nas proximidades do Rio S. Francisco, norte da Bahia a última no centro sul da Bahia. A precipitação média anual é de 873 mm, com máximo mensal de 159 mm no mês de dezembro e mínimo em julho. O índice de vegetação médio anual é 0,47, com máximo em fevereiro e mínimo em setembro. A Figura 4.19e mostra a o ciclo anual do IVDN e das precipitações. Neste grupo, a defasagem entre a máxima precipitação, que ocorreu em dezembro e o máximo de IVDN que ocorre em fevereiro é de 2 meses. Os tipos de vegetação encontrados nesta região são floresta estacional perenifolia mais babaçu, floresta estacional semidecídua, cerrado na Serra do Espinhaço e cerrado/elementos de cerrado.

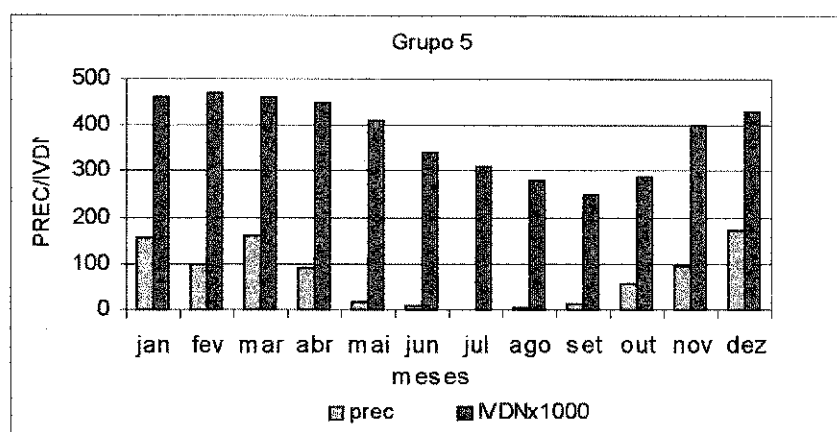


Figura 4.19e. Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 5 no Nordeste do Brasil (1981-90).

Região 6. Corresponde 3,9 % da área (62.092 km²) e está localizada na faixa paralela ao litoral conhecida como agreste, que se estende deste do Cabo de São Roque no Rio Grande do Norte até aproximadamente a latitude de 11° Sul da Bahia. Nesta região, é observado um total médio anual de 1128 mm, com máximo de 181mm em julho e mínimo em outubro. O IVDN médio é 0,44; o máximo (0,54) ocorre nos meses de junho, julho e agosto e o mínimo de 0,32 em dezembro e janeiro. A Figura 4.19f ilustra o ciclo médio anual do IVDN e das precipitações, nesta região, onde as chuvas são mais regulares do que nas demais e

consequentemente, o índice é mais homogêneo. A resposta da vegetação às chuvas é de dois meses. A vegetação predominante nesta região é floresta estacional decídua (agreste).

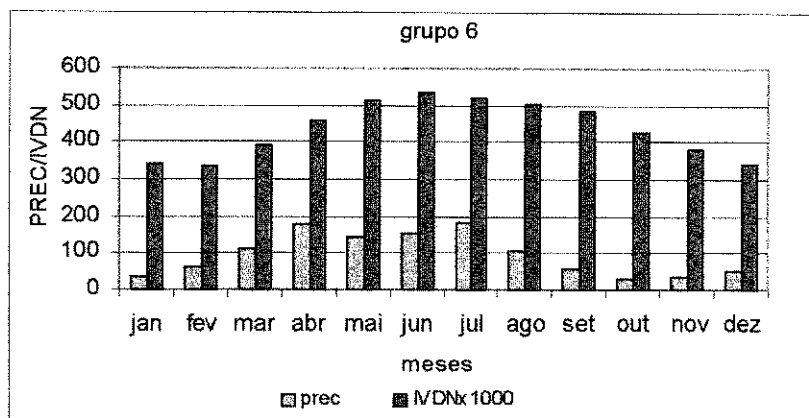


Figura 4.19f. Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 6 no Nordeste do Brasil (1981-90).

Região 7. Compreende 8,5 % da área (135.736 km²), está localizada no oeste de Pernambuco, numa pequena área no leste do Piauí e porção do Estado da Bahia, que se estende pela Chapada Diamantina até a aproximadamente 13° S. A precipitação média mensal é da ordem de 634 mm, com máximo de 140 mm em março e mínimo em setembro. O IVDN médio na região é 0,37, com máximo de 0,45 em abril e mínimo de 0,24 em outubro. A Figura 4.19g ilustra a evolução do ciclo anual da vegetação e das precipitações neste grupo, evidenciando uma defasagem de um mês. A vegetação predominante é a caatinga e núcleos pequenos de floresta decídua, floresta estacional, cerrado e elemento de cerrado no centro este da Bahia.

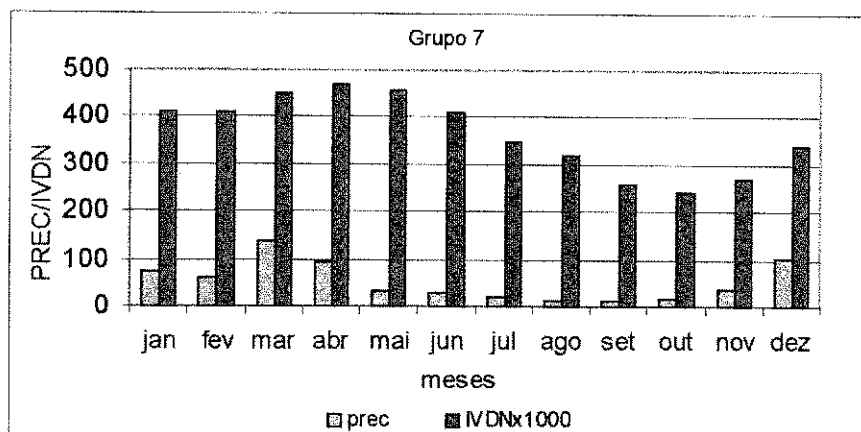


Figura 4.19g. Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 7 no Nordeste do Brasil (1981-90)

Região 8. Corresponde a 24,3% da área (388.436 km²) e está situada no oeste da Bahia (denominado além do São Francisco), sudeste do Piauí e região centro sul da Bahia, com precipitação média anual de 785 mm, máximo de 168 mm em dezembro e mínimo em julho. O IVDN médio do grupo é 0,43, com máximo em fevereiro e mínimo em setembro. A Figura 4.19h indica a evolução temporal do IVDN e das precipitações neste grupo. Observa-se que nesta região a resposta da vegetação às chuvas ocorre dois meses consecutivos após a máxima precipitação. A vegetação predominante é o cerrado, elementos de cerrado, floresta decídua, e floresta estacional semi-decídua.

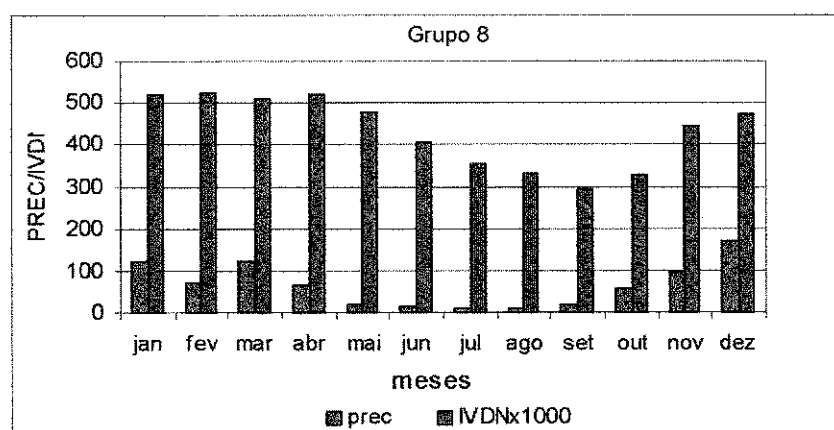


Figura 4.19h. Distribuição das médias mensais de IVDN e precipitações para a região (grupo) 8 no Nordeste do Brasil (1981-90)

A análise quantitativa conjunta dos campos mensais do IVDN e das precipitações na região Nordeste indica uma forte dependência do IVDN com relação às variações da precipitação. A evolução média mensal de IVDN mostra a sazonalidade na fenologia da vegetação nas diferentes regiões. O aumento desse índice com as chuvas, corresponde o início do ciclo fenológico da vegetação. A medida que as chuvas vão diminuindo durante os meses do ano, os valores de IVDN decrescem em função da resposta da cobertura ao estresse hídrico. Na época chuvosa as pequenas variações de IVDN têm respostas espectrais uniformes do sensor, dificultando a discriminação das diferentes topologias numa mesma região segundo estudos feitos por Barbosa (1998).

O estudo comparativo das regiões (grupos) homogêneas indica que na maioria delas o tempo de resposta as chuvas mais fortes ocorre com defasagem de um a dois meses. Os resultados encontrados neste estudo para algumas das regiões homogêneas, concordam em parte, com os obtidos por Almeida (1997) no cerrado brasileiro e Barbosa (1998) para dez áreas teste no nordeste do Brasil. As Tabelas C3 e C4 (Anexo C) apresentam um resumo das estatísticas descritivas mensais para o IVDN e precipitações para as oito (08) regiões (grupos) homogêneas.

5. CONCLUSÕES

O IVDN obtido a partir das imagens do AVHRR permitiu extrair informações espaciais importantes sobre a vegetação natural. A análise fatorial das séries temporais e espaciais do IVDN e das precipitações possibilitaram um melhor entendimento e explicação, dos mecanismos físicos responsáveis pela maior parte dos padrões de variabilidade desses parâmetros.

No que diz respeito à resposta do IVDN à variabilidade interanual das precipitações, o primeiro fator comum das precipitações tem correlação de 0,86 com primeiro do IVDN, evidenciando anos extremos (secos, chuvosos). O segundo fator comum do IVDN apresenta correlação de 0,83 com o terceiro das precipitações e está associado aos sistemas de leste. O terceiro fator do IVDN tem correlação de 0,91 com o segundo fator das precipitações, evidenciando os sistemas frontais no sul da Bahia.

Considerando a resposta do IVDN à variabilidade sazonal das precipitações, o primeiro fator comum tem altas correlações com as precipitações de maio a setembro, e com os IVDNs de julho a setembro, e está associado às precipitações do leste. O segundo, tem correlações elevadas com as precipitações de outubro a dezembro e IVDNs de novembro a janeiro, e associa-se aos sistemas frontais. O terceiro, está bem correlacionado com as precipitações de fevereiro a abril, e está relacionado com as precipitações oriundas da ZCIT.

Foram identificadas e caracterizadas 09 regiões homogêneas em relação às variabilidades sazonal e interanual do IVDN e das precipitações e, 08 em relação a resposta da vegetação à variabilidade sazonal das precipitações.

As regiões semi-áridas com menores índices pluviométricos, cuja vegetação predominante é a caatinga, apresentaram defasagem temporal de um mês após precipitações, as demais regiões de dois meses.

Finalmente, observa-se que tanto nas análises individuais do IVDN e precipitações como na conjunta IVDN versus precipitações, o índice de vegetação está diretamente associado aos regimes pluviométricos da Região Nordeste do Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S.A.O. **Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica.** Brasília, 1997. 316p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília.
- BARBOSA, A.H. **Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-1985.** São José dos Campos, 1998, 163p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto de Pesquisas Espaciais.
- BATISTA, G.T, SHIMABUKURO, Y.E, LAWRENCE, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1993. Curitiba **Anais...**, v.2, p.30-37, 1993.
- BATISTA, G.T; SHIMABUKURO, Y.E.,LAWRENCE, W.T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.15, p.3195-3210, 1997.
- BOUROCHE, J. M., SAPOTA, G. **L'analyse des Données.** Paris, Presses Universitaires de France, 2, edição,1983. 127p.
- BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação média decenal no Estado da Paraíba. In: I CONGRESSO IBEROAMERICANO, V CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1992, Madrid. **Anais ...**, v.1, p.292-298, 1992.

- BRAGA, C.C., MELO de, M.L.D., MELO, E.C.S. Análise de agrupamentos aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1998, Brasília. **Anais....**, Brasília, 1998.
- BRAGA, C.C., MELO de, M.L.D. Aplicação da análise em componentes principais na simulação de séries climatológicas. **Iniciados**. Editora universitária, João Pessoa, v.4, p.391-407, 1999.
- CEBALLOS, J.C., BRAGA, C.C. Missing data assesement in a solarimetric network. **International Journal of Climatology**, v.15, p. 325-340, 1995.
- CHU, P.S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.111, p.1655-1664, 1983.
- EASTMAN, J.R., FULK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.9 p.1307-1312, 1993.
- EHRlich, D., ESTES, J.E., SINGH, A. Applications of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. **International Journal Remote Sensing**, v. 15, n. 1, p. 145-161. 1994.
- ESTEBAN-PARRA, M.J., RODRIGO, F.S., CASTRO-DIEZ, Y. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. **International Journal of Climatology**, v.18, p.1557-1574, 1998.
- EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, London, 3 edição 170p., 1993.
- FERNAU, M.E., SAMSON, P.J. Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry in Easter North America. Pat I: transport patterns. **Journal of Applied Meteorology**, v. 29, p.735-50, 1990.
- GAN, M.A., KOUSKY, V.E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, n.1, p.19-28, 1986.
- GARAYALDE, E.J.G., da SILVA, M.G.A., TAVARES, A. de SÁ. Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In:

- CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1986, Brasília. **Anais...**, v.1, p.119-124, 1986.
- GAN, A. M., KOUSKY, E. V. Vórtice ciclônico da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, n.1, p.19-28, 1986.
- GONG, X., RICHMAN, M.R. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. **Journal of Climate**, v.8, p.897-924, 1995.
- GREEN, M.C., FLOCCHINI, R.G., MYRUP, L.O. Use of temporal principal component analysis to determine seasonal periods. **Journal of Applied Meteorology**, v.32, p.986-995, 1993.
- GUTMAN, G. Vegetation indices from AVHRR. An update and future prospects. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.121-136, 1991.
- GUTMAN, G., IGNATOV, A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.8, p.1533-1543, 1998.
- GUTMAN, G.G. On the use of long-term global data of land reflectances and vegetation indices derived from the advanced very high resolution radiometer. **Journal of Geophysical Research**, v.104, n.D6, p.6241-6255, 1999.
- GUTMAN, G., CSISZAR, I., ROMANOV, P. Using NOAA/AVHRR products to monitor El Niño impacts: focus on Indonesia in 1997-1998. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.81, n.6, p.1189-1205, 2000.
- HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brasil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p.77-92, 1977.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment** v.25, p.295-309, 1988.
- HUETE, A. R., JUSTICE, C., LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v.49, p.224-234, 1994.

- HUETE, A.R., LIU, H.Q., BATCHILY, K. van LEEUWEN. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environmet**, v.59, p.440-451, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **ATLAS NACIONAL DO BRASIL (REGIÃO NORDESTE)**. Rio de Janeiro, 1985. (sem paginação)
- JACKSON, R. D., HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, v. 11, p.185-200, 1991.
- JACKSON, I.J., WEINAND, H. Toward a classification of tropical rainfall stations. **International Journal of Climatology**, v. 14, p.263-286, 1994.
- KASSAR, E. **Monitoramento bioclimático utilizando o satélite NOAA**. São Paulo, 1995. 195p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Astronômico e Geofísico.
- KAUFMAN, Y. J., HOLBEN, B. N. Calibration of the visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, n.1, p.21-52, 1993.
- KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the Reflectance of visible and Near-Infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.1, p.155-159, 1970.
- KOGAN, F.N. Global drought watch from space. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n.4, p.621-636, 1997.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brasil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variations in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n.4, p.488-498, 1980.
- KOUSKY, V.E., GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, p.538-551, 1981.
- KOUSKY, V.E. Pentad outgoing longwaave radiation climatology for the South American

- sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.3, p.217-231. 1988.
- LACAVA, C.I.V. **Influência de zonas de convergência na organização na convecção tropical sobre o Nordeste do Brasil**. Campina Grande, 1995. 117p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba.
- LIU, W.T.H., MASSAMBANI, O., NOBRE, C. A. Satellite recorded vegetation response to drought in Brasil. **International Journal of Climatology**, v.14, p.342-354, 1994.
- LORENZ, E.N. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Sci. Rep. nº 1, Cambridge Massachusetts (EUA), Statistical Forecasting Project Department of Meteorology, MIT, 49p. 1956.
- LOS, S. O; JUSTICE, C.O. TUCKER, C. J. A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.17, p.3493-3518, 1994.
- NICHOLSON, S.E., FARRAR, T.J. The influence of soil type or the relationships between NDVI, rainfall and soil moisture in semi-arid Bostswana. **Remote Sensing of Environmet**, v.50, p.107-120, 1994.
- NOBRE. C., CAVALCANTI, I.F.A., NOBRE, P. KAYANO, M.T. Aspecto da climatologia dinâmica do Brasil. **Climanálise**, Instituto de Pesquisas Espaciais, n. especial, 125p, 1986.
- PARKINSON, C. L. **Earth from above**. University Sciences Books, Sansalito. Lund University, p.107-111, 1997.
- PANDIZIC, K., KISEGI, M. Principal component analysis of precipitation in the fields within the global circulation. **Beitraling Physics and Atmosphere.**, v.63, n.2, p.101-106, 1990.
- PREISENDORFER, R. **Principal component analysis in meteorology and oceanography**. Elsevier, Amsterdan, 425p, 1988.
- RANGA, B. M., RAMAKRISHNA, R.N., STEVEN, W.R. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.35, n.6, p.1380-1393.

- RAO, V.B., LIMA de, M.C., FRANQUITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brasil. **Journal of Climate**, v.6, p.1723-1754, 1993
- RICHMAN, M. B. Review article on rotation of principal components. **Journal of Climatology**, v.6, p.293-335, 1986.
- RONCHAIL, J. La variabilidad de las precipitaciones en los Andes de Bolivia y El Niño-Southern Oscillation. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, VIII, e II CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 1994, Belo Horizonte. **Anais...**, v.1, p.188-191, 1994.
- SANSIGOLO, C. A. Cluster and factor analysis of Amazonia rainfall. **Preprints 14th AMS Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences**. Phoenix, Arizona, p.111-114, 1998.
- SANSIGOLO, C. A. Seasonal rainfall forecasting in the North-East Region of Brazil. **Grosswetter**, v.30, n.1, p.33-42, 1991.
- SANSIGOLO, C.A., NERY, J.T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões sudeste e sul do Brasil. X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1998, Brasília. **Anais...** Cdrom. Brasília, v.1.
- SANTOS dos, J.R., LEE, D.C.L., SHIMABUKURO, Y.E . Análise relacional de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT na avaliação do antropismo em região de contato floresta/savana. MEMORIAS DEL 5º SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA. 1991, Cusco. **Editores, SELPER**. Peru.
- SILVA da, S.T. A. **Influência do El Niño-Oscilação sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba**. Campina Grande, 1996, 63p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba.
- SILVA DIAS, Marton, E. Energética ZCPS/ZCAS. IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1994, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, v.1, p.783-786, 1994.
- SHIMABUKURO, Y.E., CARVALHO, V.C., RUDORFF, B.F.T. NOAA-AVHRR data processing for the mapping of vegetation cover. **International Journal of Remote**

- Sensing**, v. 18, n.3, p. 671-677, 1997.
- SIMIELLI, M.E. **Geotlas**. São Paulo: Editora Ática, 1991.
- SOUZA, A. I. **Influencia da variabilidade climática no avanço e recuo dos processos de desertificação no estado do Rio Grande do Norte**. Campina Grande, 1997. 94p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba.
- SRIVASTAVA, S.K., JAYRAMAN, V., NAGESWARA RAO, P.P., MANIKIAM, B., CHANDRASEKHAR, M. G. Interlinkages of NOAA/AVHRR derived integrated NDVI to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.14, p. 2931-2952, 1997.
- STRANG, D.M.G. Análise climatológica pluviométrica do Nordeste brasileiro. **Relatório IAE-M-02/72**, Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, 70p. 1972.
- TANAKA, M., TSUCHIYA, A., NISHIZAWA, T. The empirical orthogonal function in Brazil. **Latin American Studies**, v.10, p. 27-45, 1988.
- TERRÓN, M.E.P. Aplicación de los componentes principales al análisis de los campos meteorológicos. **Revista Cubana de Meteorología**, v.3, 70-75, 1990.
- TOWNSHEND, J.R.G., GOFF, T.E., TUCKER, C.J. Multitemporal dimensional images of normalized difference vegetation index at continental scales. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.23, n.6, p.888-895, 1985.
- UVO, C.R.B. **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste do Brasil**. São José dos Campos, 1989. 82p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of American Statistical Association**, v.58, p. 236-244, 1963.
- WHITE D., RICHMAN, M., YARNAL B. Climate regionalization and rotation of principal components. **International Journal of Climatology**. v.11, p.1-25, 1991.
- WILKS, S.D. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. London, Academic Press. 464p. 1995.

Anexo A1 – Relação das estações/postos pluviométricos utilizados no estudo, para o período de 1969 a 1989.

Ordem	CODIGO	NOME	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (m)
1	2766574	BOM PRINCIPIO	-3.10	-41.59	50
2	2768466	MARTINOPOLE	-3.10	-40.64	85
3	2768745	PARACUA	-3.41	-40.94	80
4	2769904	MERUOCA	-3.41	-40.64	450
5	2870109	MIRAIMA	-3.41	-40.03	70
6	2774492	MATIAS OLIMPIO	-3.71	-42.47	50
7	2870386	ITAPAGE	-3.71	-39.71	280
8	2871202	URUBURETAMA	-3.71	-39.41	330
9	2778854	MOCAMBO	-4.01	-40.63	150
10	2881152	PARAMOTI	-4.01	-39.40	160
11	2871889	MATIAS	-4.01	-39.09	100
12	2882076	GUAIBUA	-4.01	-38.79	59
13	2774857	PORTO	-4.02	-42.77	32
14	2784195	MATO GRANDE	-4.02	-42.46	130
15	2776859	PIRACURUCA	-4.02	-41.85	70
16	2880871	UBIRACU	-4.31	-39.70	300
17	2882648	ANTONIO DIOGO	-4.31	-38.78	171
18	2786912	CAP. DE CAMPOS	-4.32	-41.85	120
19	2893165	BOQ. DO CESARIO	-4.61	-38.16	150
20	2794129	UNIAO	-4.62	-42.76	50
21	2798353	GAZEA	-4.62	-40.92	370
22	2799444	BOA ESPERANCA	-4.62	-40.31	410
23	2892531	OLHO D AGUA	-4.62	-38.77	150
24	2798896	SUCCESSO	-4.92	-40.60	323
25	2799895	ESPIRITO SANTO	-4.92	-39.99	310
26	2890691	MADALENA	-4.92	-39.68	250
27	2891726	MONTE ALEGRE	-4.92	-39.38	300
28	3801196	JUATAMA	-4.92	-39.07	93
29	2892679	BOA AGUA	-4.92	-38.76	120
30	2894643	JAGUARUANA	-4.92	-37.84	15
31	3702056	PEDRAS	-4.93	-43.67	190
32	3705009	ALTOS	-4.93	-42.44	160
33	3800406	SALGADO	-5.22	-39.98	400
34	3801442	QUIXERAMOBIM	-5.22	-39.37	187
35	3802656	S. GONCALO	-5.22	-38.75	120
36	3803224	MORADA NOVA	-5.22	-38.45	50
37	3804468	VENEZA	-5.22	-37.83	105
38	3804685	S. FRANCISCO	-5.22	-37.52	20
39	3805643	SANTANA	-5.22	-37.22	115
40	3812108	CANGATI	-5.52	-39.05	180
41	3804998	GOV. D. S. ROSADO	-5.52	-37.52	36
42	3816216	MENDUBIM	-5.52	-36.90	73
43	3817025	PEDRO AVELINO	-5.52	-36.28	97
44	3818301	JARDIM DE ANGICOS	-5.52	-35.98	150

Continuação

45	3714179	MONSENHOR GIL	-5.53	-42.74	120
46	3705927	BENEDITINOS	-5.53	-42.43	80
47	3707981	ALIVIO	-5.53	-41.20	730
48	3718099	TRANQUEIRAS	-5.53	-40.59	280
49	3616148	AMARANTE DO MARANHAO	-5.54	-46.72	300
50	3814606	ITAU	-5.82	-38.12	130
51	3814519	MALHADA VERMELHA	-5.82	-37.81	72
52	3814589	CARAUBAS	-5.82	-37.50	146
53	3815583	PARAU	-5.82	-37.20	38
54	3816933	BARAO DE SERRA BRANCA	-5.82	-36.89	305
55	3818914	BARCELONA	-5.82	-35.97	149
56	3825374	OITICICA	-6.12	-37.19	80
57	3827353	SERRA DO DOUTOR	-6.12	-36.26	520
58	3828443	TARA	-6.12	-35.95	130
59	3828384	JANUARIO CICCIO	-6.12	-35.65	90
60	3821385	MARACAJA	-6.13	-39.03	210
61	3823448	S PAU DOS FERROS	-6.13	-38.42	195
62	3824542	JOAO DIAS	-6.13	-37.80	310
63	3726245	AROASES	-6.14	-41.80	400
64	3728459	PARAMBU	-6.14	-40.88	470
65	3629559	RESPLANDES	-6.15	-45.17	320
66	3827759	CORONEL EZEQUIEL	-6.42	-36.25	610
67	3828915	JAPI	-6.42	-35.94	400
68	3838055	ARARUNA	-6.42	-35.63	580
69	3821924	BARRO ALTO	-6.43	-39.33	220
70	3831287	CEDRO	-6.43	-39.02	246
71	3832074	ICOZINHO	-6.43	-38.71	490
72	3823898	ALEXANDRIA	-6.43	-38.10	315
73	3834137	JERICO	-6.43	-37.79	215
74	3825766	S. FERNANDO	-6.43	-37.17	135
75	3826845	CRUZETA	-6.43	-36.87	140
76	3735158	VARZEA GRANDE	-6.44	-42.40	270
77	3726778	OITIS	-6.44	-41.79	270
78	3627693	FORMOSA	-6.45	-46.09	250
79	3730075	IBIPIRA	-6.45	-44.55	280
80	3732061	S. JOAO DOS PATOS	-6.45	-43.63	350
81	3838575	BANANEIRAS	-6.72	-35.62	552
82	3832361	UMARI	-6.73	-38.70	350
83	3836369	PARELHAS	-6.73	-36.55	325
84	3837552	SOSSEGO	-6.73	-36.24	600
85	3838246	CACIMBA DE DENTRO	-6.73	-35.93	460
86	3736655	IPIRANGA DO PIAUI	-6.74	-41.78	490
87	3737837	BOCAINA	-6.74	-41.47	250
88	3739279	AJUABA	-6.74	-40.24	350
89	3831239	CAIPU	-6.74	-39.32	310

Continuação

90	3832511	LAVRAS DA MANGABEIRA	-6.74	-39.01	247
91	3733602	VEADOS	-6.75	-43.62	85
92	3844448	OLHO D AGUA	-7.03	-37.77	275
93	3845113	STA. TERESINHA	-7.03	-37.46	380
94	3835882	S. MAMEDE	-7.03	-37.15	270
95	3846231	SALGADINHO	-7.03	-36.84	410
96	3847128	SOLEDADE	-7.03	-36.53	560
97	3837953	OLIVEDOS	-7.03	-36.23	545
98	3748223	BRAVO	-7.04	-40.84	490
99	3739931	ITAGUA	-7.04	-40.54	540
100	3840356	SANTANA DO CARIRI	-7.04	-39.92	480
101	3841046	CARIRIACU	-7.04	-39.31	710
102	3842185	ARAPUA	-7.04	-38.69	500
103	3833869	S.J.LAGOA TAPADA	-7.04	-38.07	260
104	3747109	PICOS	-7.05	-41.46	195
105	3857044	CABACEIRAS	-7.33	-36.21	390
106	3848428	CAMPINA GRANDE	-7.33	-35.90	508
107	3850058	EXU	-7.34	-39.60	510
108	3841639	BARBALHA	-7.34	-39.29	405
109	3842859	QUIXABINHA	-7.34	-38.68	390
110	3843857	S. FRANCISCO	-7.34	-38.37	300
111	3844703	GARROTES	-7.34	-38.06	305
112	3854072	AGUA BRANCA	-7.34	-37.75	710
113	3845703	IMACULADA	-7.34	-37.45	750
114	3845765	ITAPETIM	-7.34	-37.14	630
115	4825062	S. FRANCISCO DO PIAUI	-7.35	-42.68	20
116	3747775	JAICOS	-7.35	-41.14	255
117	3743865	PIRIPIRIZINHO	-7.36	-43.29	230
118	3858439	MATA VIRGEM	-7.63	-35.89	645
119	3858399	MACHADOS	-7.63	-35.58	320
120	3853499	PRINCESA ISABEL	-7.64	-38.05	660
121	3854036	JURU	-7.64	-37.74	470
122	3855383	PRATA	-7.64	-37.12	600
123	3856278	COXIXOLA	-7.64	-36.51	465
124	3851435	CEDRO	-7.65	-39.28	610
125	3750158	SANGUE	-7.66	-44.82	170
126	3752213	BERTOLINIA	-7.66	-43.90	320
127	3869125	APOTI	-7.93	-35.57	240
128	3863076	VARZINHA	-7.94	-38.03	480
129	3854957	FATIMA	-7.94	-37.73	620
130	3854898	IRAJAI	-7.94	-37.42	585
131	3856828	CAMALAU	-7.94	-36.80	565
132	3857918	SALGADO	-7.94	-36.49	500

Continuação

133	3858925	ALGODAO DO MANSO	-7.94	-35.87	380
134	3759613	NASCENTE	-7.95	-40.50	600
135	3759772	ENGENHEIRO CAMACHO	-7.95	-40.19	440
136	3850917	ESTACA	-7.95	-39.88	472
137	3861115	ABOBORAS	-7.95	-39.58	427
138	3851839	SERRITA	-7.95	-39.27	425
139	3852805	VERDEJANTE	-7.95	-38.96	455
140	3852976	BOM NOME	-7.95	-38.65	450
141	3863116	QUIXABA	-7.95	-38.34	370
142	3761107	BARRA DO PRATA	-7.97	-44.50	270
143	3751767	SERRA VERMELHA	-7.97	-44.20	360
144	3865632	ALGODOES	-8.24	-37.40	507
145	3866731	CIMBRES	-8.24	-36.79	850
146	3867642	TACAIMBO	-8.24	-36.48	570
147	3868453	BEZERRO	-8.24	-35.86	471
148	3869713	AMARAGI	-8.24	-35.55	295
149	3860352	POCO DO FUMO	-8.25	-39.87	350
150	3861811	MACAMBIRA	-8.25	-39.56	380
151	3863736	STA. PAULA	-8.25	-38.33	380
152	3863596	BETANIA	-8.25	-38.02	431
153	3864751	CAICARA	-8.25	-37.71	500
154	3769552	STA. CRUZ	-8.26	-40.18	489
155	3866939	ALAGOINHA	-8.54	-36.77	762
156	3877411	JUCATI	-8.54	-36.46	821
157	3867986	ALTINHO	-8.54	-36.15	470
158	3868992	CORTES	-8.54	-35.53	340
159	3874328	POCO ALEXANDRE	-8.55	-38.01	610
160	3875139	PONTA DA VARGEM	-8.55	-37.39	680
161	3777273	CACHOEIRA DO ROBERTO	-8.56	-41.09	630
162	3778477	CARRETAO	-8.56	-40.78	410
163	3779384	S. BENTO	-8.56	-40.17	350
164	3871037	CABROBO	-8.56	-39.24	350
165	3775275	MOREIRA	-8.57	-42.32	250
166	3877878	PAQUEVIRA	-8.84	-36.14	623
167	3878634	MARIAL	-8.84	-35.83	360
168	3873569	JUAZEIRO	-8.85	-38.30	390
169	3874506	JUAZEIRO DOS CANDIDOS	-8.85	-37.99	420
170	3875531	TUPANATINGA	-8.85	-37.37	709
171	3876708	JAPECANGA	-8.85	-37.06	475
172	3876967	SALOA	-8.85	-36.75	850
173	3779901	URUAS	-8.86	-40.46	390
174	3872508	BELEM DE S. FRANCISCO	-8.86	-38.92	305
175	3884256	MATA GRANDE	-9.15	-37.67	633
176	3885151	CRAIBAS	-9.15	-37.36	450
177	3886248	QUATI	-9.15	-36.74	487

Continuação

178	3887019	POCO COMPRIDO	-9.15	-36.43	624
179	3887392	UNIAO DOS PALMARES	-9.15	-36.12	155
180	3888559	FLECHEIRAS	-9.15	-35.81	70
181	3881391	MACURURE	-9.16	-39.21	357
182	3882664	SALGADO	-9.16	-38.59	430
183	3883271	TACARATU	-9.16	-38.28	550
184	3784304	ANISIO DE ABREU	-9.18	-42.92	460
185	3784393	S. LOURENCO	-9.18	-42.61	480
186	3887924	MAR VERMELHO	-9.45	-36.41	620
187	3884706	DELMIRO GOUVEIA	-9.46	-37.96	256
188	3885908	RIACHO GRANDE	-9.46	-37.34	210
189	3787874	CASA NOVA	-9.47	-41.05	380
190	3788858	BOM SOSSEGO	-9.47	-40.74	380
191	3789703	PETROLINA	-9.47	-40.43	376
192	3890012	TANQUE NOVO	-9.47	-40.12	390
193	3880846	BARRO VERMELHO	-9.47	-39.81	400
194	3891102	PASSAGEM DO GADO	-9.47	-39.50	420
195	3793099	CAMPO ALEGRE DE LOURDE	-9.48	-42.90	510
196	3785995	LAGOA DA ONCA	-9.48	-41.98	400
197	3897501	LIMOEIRO DE ANADIA	-9.75	-36.39	150
198	3893539	COLONIA AGRICOLA	-9.76	-38.25	400
199	3894533	BELO HORIZONTE	-9.76	-37.94	200
200	3894783	LAGOA	-9.76	-37.63	200
201	3896656	LAGOA DA CANOA	-9.76	-36.70	235
202	3891606	UAUA	-9.77	-39.49	439
203	3794892	CAMPO GRANDE	-9.78	-42.58	450
204	4717496	BELA VISTA	-9.79	-45.36	510
205	3793431	BANDEIRA	-9.79	-43.51	490
206	4804268	LAGOA DA SERRADINHA	-10.06	-37.61	80
207	4805418	N. SENHORA DA GLORIA	-10.06	-37.31	290
208	4805282	ITABI	-10.06	-37.00	187
209	4806272	IGREJA NOVA	-10.06	-36.69	17
210	4800161	BOA VISTA	-10.07	-39.78	450
211	4708308	LAJE DOS PRETOS	-10.08	-41.02	570
212	4700475	PARNAGUA	-10.10	-44.73	316
213	4815087	CAPELA	-10.36	-36.98	148
214	4805904	CRUZ DAS GRACAS	-10.37	-37.60	259
215	4815057	N. SENHORA DAS DORES	-10.37	-37.29	200
216	4709786	SOHEM	-10.38	-40.08	460
217	4800737	ANDORINHA	-10.38	-39.77	400
218	4801701	PEDRA VERMELHA	-10.38	-39.46	500
219	4706639	AMANIU	-10.39	-41.93	380
220	4609971	CORRENTE	-10.40	-45.33	434

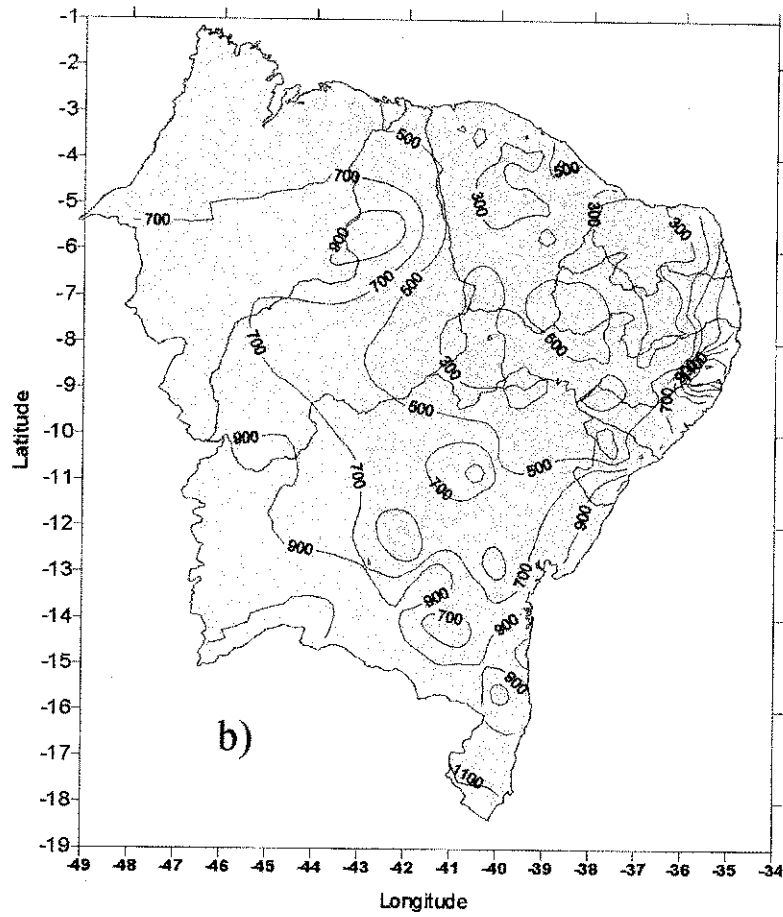
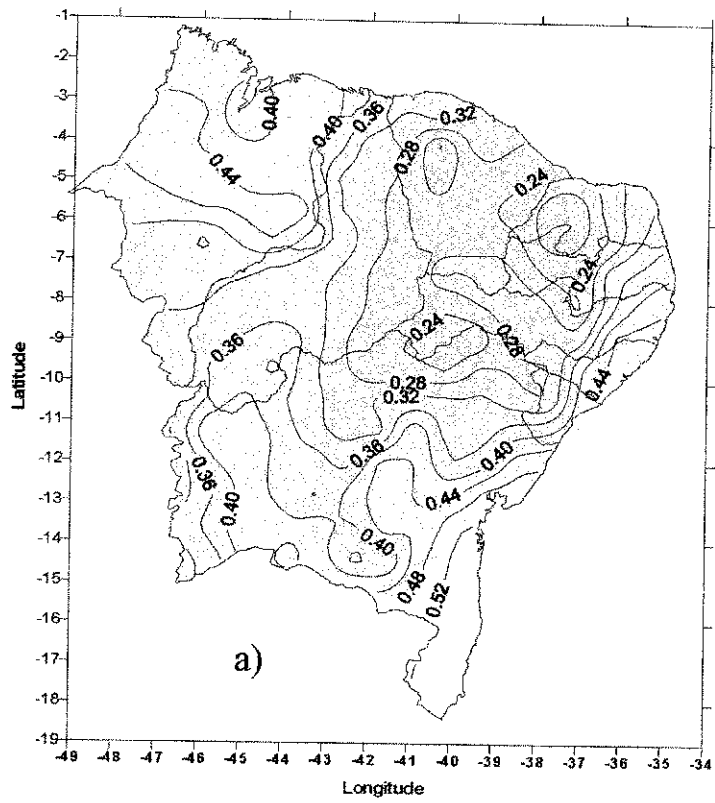
Continuação

221	4812696	RIBEIRA DO POMBAL	-10.67	-38.51	228
222	4814333	PARIPIRANGA	-10.67	-37.89	430
223	4815319	ITABAIANA	-10.67	-37.58	186
224	4815274	SIRIRI	-10.67	-37.27	90
225	3699424	BELA VISTA	-10.69	-40.99	520
226	4619364	JENIPEPEIRO	-10.71	-45.32	510
227	4719823	SAUDE	-10.99	-40.35	535
228	4724255	STO. INACIO	-11.00	-42.83	520
229	4715801	VARGEM GRANDE	-11.00	-42.52	420
230	4726025	ARRECIFE	-11.00	-41.90	680
231	4729349	GONCALO	-11.29	-40.33	350
232	4832186	SATIRO DIAS	-11.59	38.76	230
233	4738305	VENTURA	-11.60	-40.94	800
234	4733145	MORPARA	-11.61	-43.42	415
235	4739967	BAIXA GRANDE	-11.90	-40.29	369
236	4734678	IPIUPIARA	-11.91	-42.78	732
237	4749513	RUI BARBOSA	-12.20	-40.59	395
238	4841278	JAGUARA	-12.20	-39.03	190
239	4742434	PIRAGIBA	-12.22	-44.00	686
240	4740694	BAIANOPOLIS	-12.23	-44.62	659
241	4852206	S. FELIX	-12.50	-39.01	230
242	4749965	S. JOAO	-12.51	-40.25	250
243	4754297	SURUBIM	-12.52	-42.43	460
244	4746923	ALAGADICO	-12.52	-41.81	1030
245	4759562	IACU	-12.81	-40.23	209
246	4850428	LAJEDO ALTO	-12.81	-39.92	265
247	4850595	STA. TEREZINHA	-12.81	-39.61	198
248	4756434	BONINAL	-12.82	-41.79	945
249	4757929	MUCUGE	-12.82	-41.48	870
250	4752512	SERRA DOURADA	-12.83	-43.97	497
251	4754814	BARREIRO DE STO. ONOFRE	-12.83	-43.03	470
252	4754543	BOQUIRA	-12.83	-42.72	629
253	4755616	COVAS	-12.83	-42.41	550
254	4769096	NOVA ITARANA	-13.12	-40.21	600
255	4761471	VILA DE ACUDINA	-13.14	-44.26	570
256	4763361	FAVELANDIA	-13.14	-43.32	500
257	4769914	MARACAS	-13.42	-40.50	970
258	4779076	ITIRUCU	-13.42	-40.18	820
259	4871108	BURIETA	-13.42	-39.56	165
260	4776032	BARRAGEM DO BRUMADO	-13.43	-41.74	950
261	4767883	NOVO ACRE	-13.43	-41.12	590
262	4764861	LAGOA CLARA	-13.44	-42.68	751
263	4765954	PARAMIRIM	-13.44	-42.37	593
264	4870443	CABECEIRA DE ITIUBA	-13.73	-39.85	350

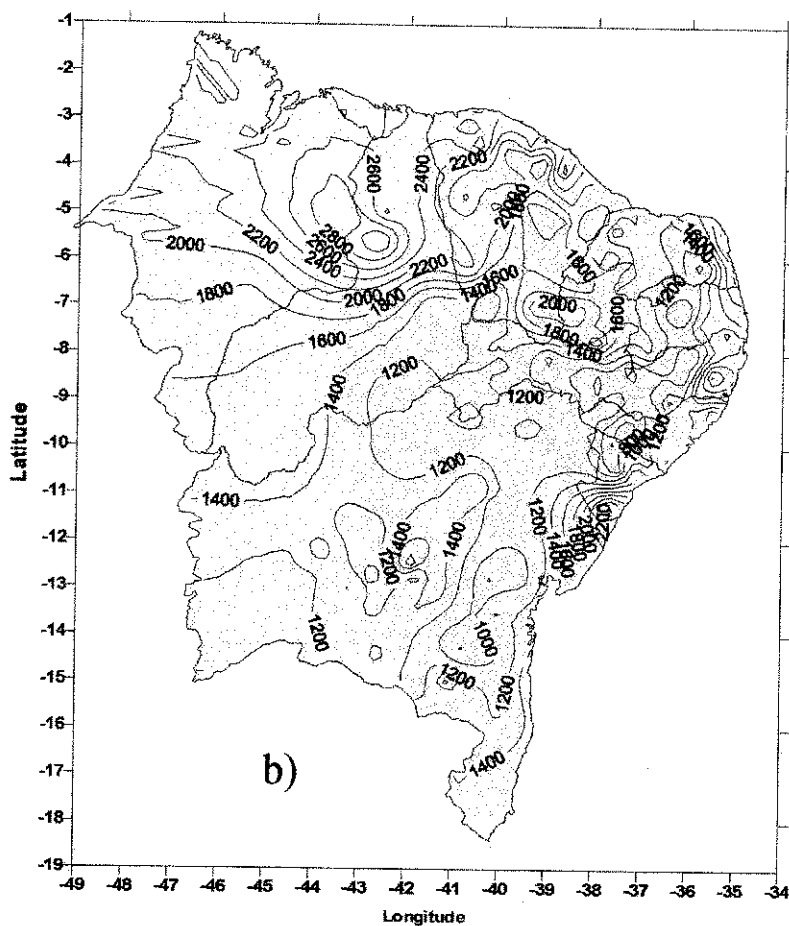
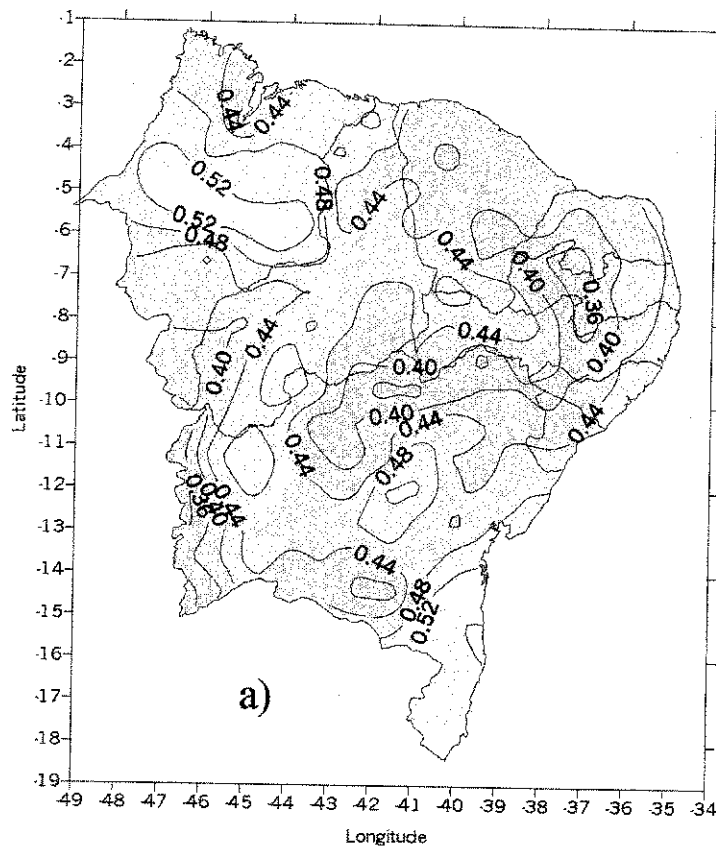
Continuação

265	4786206	UBIRACABA	-14.04	-42.02	620
266	4787012	CRISTALANDIA	-14.04	-41.38	400
267	4780395	COCOS	-14.07	-44.50	546
268	4881637	UBAITABA	-14.32	-39.50	50
269	4788617	CAETANO	-14.35	-41.04	350
270	4784827	CANDIBA	-14.36	-42.92	580
271	4784874	GUIRAPA	-14.36	-42.60	800
272	4788748	CALDEIRAO	-14.36	-40.70	380
273	4890114	PONTO CHIQUE	-14.65	-40.07	280
274	4797277	ANAGE	-14.66	-41.01	500
275	4890938	S.CRUZ DA VITORIA	-14.96	-39.73	0
276	5707079	CAMPO FORMOSO	-14.97	-41.29	790
277	5706016	CORDEIROS	-14.98	-41.92	699

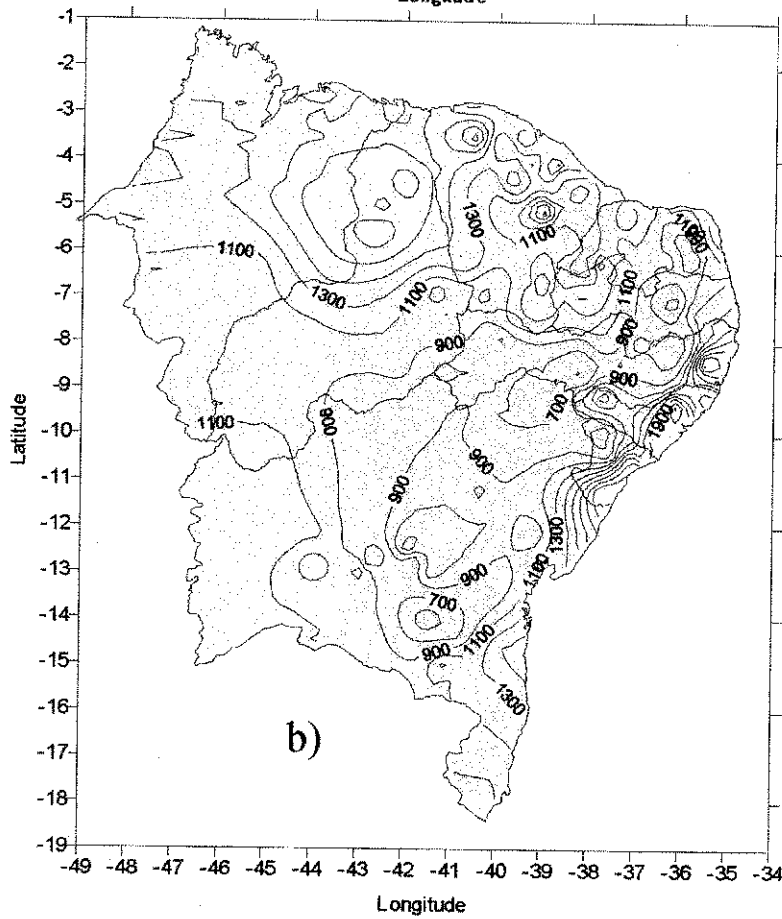
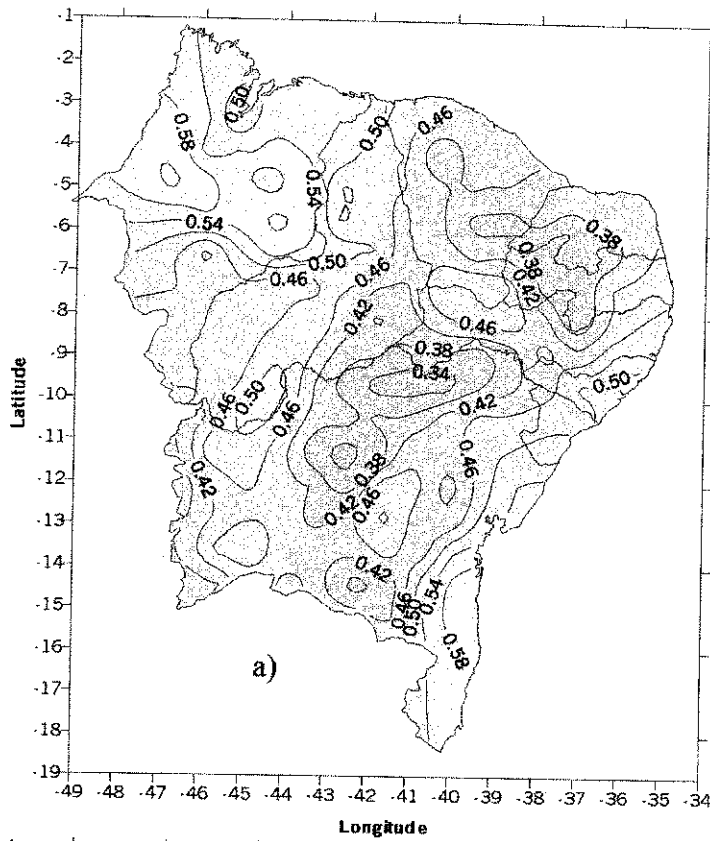
Anexo B1. Distribuição espacial de NDVI (a) e das precipitações (b) no Nordeste do Brasil em 1983



Anexo B2 - Distribuição espacial de NDVI (a) e das Precipitações (b) no Nordeste do Brasil em 1985.



Anexo B.3 – Distribuição espacial do NDVI (a) e totais anuais da precipitação (b) no Nordeste do Brasil em 1989.



Anexo C1. Estatística descritiva dos NDVI's mensais e anuais para as 09 regiões homogêneas

Nº Grupo	Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	
1 43 pontos NDVI	média	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,41	0,39	0,35	0,31	0,31	0,37	0,38	0,38	
	desvio	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03
	mínimo	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,32	0,29	0,26	0,23	0,23	0,26	0,28	0,31	
	máximo	0,46	0,49	0,49	0,49	0,51	0,48	0,47	0,45	0,40	0,37	0,44	0,46	0,43	
2 19 pontos NDVI	média	0,37	0,34	0,38	0,45	0,49	0,50	0,50	0,47	0,43	0,37	0,33	0,32	0,41	
	desvio	0,09	0,09	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09	0,05	
	mínimo	0,23	0,23	0,29	0,38	0,44	0,41	0,41	0,36	0,31	0,23	0,21	0,18	0,33	
	máximo	0,52	0,49	0,50	0,52	0,55	0,56	0,55	0,54	0,53	0,48	0,46	0,47	0,50	
3 22 pontos NDVI	média	0,49	0,51	0,51	0,52	0,50	0,47	0,43	0,40	0,35	0,35	0,43	0,46	0,45	
	desvio	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	
	mínimo	0,46	0,44	0,45	0,48	0,46	0,42	0,37	0,31	0,26	0,26	0,33	0,40	0,41	
	máximo	0,54	0,58	0,55	0,57	0,57	0,56	0,53	0,49	0,46	0,43	0,51	0,52	0,51	
4 21 pontos NDVI	média	0,50	0,52	0,53	0,54	0,56	0,55	0,53	0,49	0,44	0,40	0,41	0,43	0,49	
	desvio	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06	0,07	0,03	
	mínimo	0,40	0,46	0,45	0,49	0,52	0,51	0,48	0,42	0,35	0,31	0,29	0,27	0,41	
	máximo	0,56	0,58	0,59	0,59	0,59	0,58	0,59	0,57	0,54	0,51	0,51	0,54	0,54	
5 5 pontos NDVI	média	0,25	0,32	0,39	0,46	0,47	0,39	0,35	0,29	0,23	0,19	0,18	0,18	0,31	
	desvio	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	
	mínimo	0,22	0,27	0,34	0,42	0,43	0,37	0,31	0,24	0,19	0,17	0,16	0,16	0,29	
	máximo	0,32	0,38	0,44	0,51	0,51	0,46	0,43	0,36	0,29	0,24	0,25	0,22	0,36	
6 22 pontos NDVI	média	0,37	0,44	0,49	0,53	0,54	0,46	0,41	0,34	0,27	0,23	0,22	0,26	0,38	
	desvio	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	
	mínimo	0,28	0,36	0,43	0,49	0,50	0,43	0,35	0,28	0,22	0,18	0,16	0,16	0,32	
	máximo	0,48	0,54	0,57	0,59	0,57	0,49	0,45	0,37	0,31	0,28	0,31	0,38	0,43	
7 20 pontos NDVI	média	0,51	0,55	0,53	0,52	0,45	0,37	0,31	0,28	0,25	0,31	0,47	0,50	0,42	
	desvio	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
	mínima	0,47	0,49	0,48	0,46	0,38	0,29	0,25	0,23	0,22	0,28	0,44	0,47	0,37	
	máxima	0,53	0,58	0,56	0,57	0,53	0,45	0,37	0,34	0,30	0,36	0,51	0,53	0,45	
8 8 pontos NDVI	média	0,43	0,48	0,51	0,53	0,47	0,36	0,30	0,25	0,21	0,22	0,27	0,36	0,37	
	desvio	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,06	0,06	0,02	
	mínimo	0,39	0,43	0,47	0,50	0,42	0,32	0,26	0,22	0,19	0,19	0,20	0,28	0,34	
	máximo	0,48	0,54	0,53	0,55	0,51	0,42	0,36	0,31	0,24	0,27	0,39	0,44	0,40	
9 18 pontos NDVI	média	0,40	0,41	0,43	0,43	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,21	0,29	0,35	0,33	
	desvio	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,07	0,05	0,03	
	mínimo	0,33	0,34	0,39	0,39	0,32	0,25	0,21	0,20	0,16	0,15	0,19	0,26	0,28	
	máximo	0,45	0,46	0,46	0,47	0,45	0,40	0,39	0,36	0,30	0,26	0,38	0,43	0,38	

Anexo C2. Estatística descritiva das precipitações mensais e anuais para as 09 regiões homogêneas

Nº Grupo	Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	anual
1 29 Estações	média	66,7	105,2	195,3	190,1	95,9	50,0	32,8	7,6	4,3	4,7	7,3	28,1	787,9
	desvio	15,6	18,4	27,3	22,9	26,3	18,9	12,0	4,1	2,5	3,2	4,9	9,3	82,6
	mínimo	35,2	72,3	143,8	121,7	26,2	7,8	1,9	0,0	0,4	1,2	1,2	15,3	554,2
	máximo	99,2	153,8	241,2	219,2	125,2	82,8	52,7	18,1	13,0	13,8	20,6	56,6	910,0
2 27 Estações	média	39,3	57,7	105,3	103,1	65,0	64,4	72,7	29,3	17,8	12,2	13,3	27,4	607,5
	desvio	15,6	17,7	29,4	29,5	25,4	29,0	36,6	17,0	10,4	6,3	8,0	13,8	125,1
	mínimo	16,4	19,9	45,3	60,0	18,2	13,9	12,3	1,3	2,1	0,6	1,8	8,9	434,4
	máximo	77,6	87,0	151,4	154,2	132,7	114,9	142,7	63,2	47,4	25,6	33,1	54,9	906,4
3 23 Estações	média	87,8	89,1	150,4	96,5	30,9	15,8	11,8	3,7	6,8	17,2	32,0	74,0	616,1
	desvio	21,1	22,2	23,2	23,2	12,4	9,1	8,4	2,8	3,2	6,1	10,2	19,6	94,7
	mínimo	60,1	50,0	105,9	51,9	12,5	4,4	0,8	0,0	1,4	3,2	16,7	32,2	439,0
	máximo	158,6	140,9	187,3	134,4	54,8	43,3	35,9	11,1	15,2	30,0	55,5	108,8	828,0
4 19 Estações	mínimo	66,7	51,6	71,9	38,8	3,4	2,2	0,5	0,0	6,9	23,0	47,1	76,3	545,4
	máximo	121,0	107,4	161,0	109,2	87,8	78,1	60,1	47,0	41,4	66,8	106,5	157,7	1047
	média	92,0	83,3	102,9	68,2	34,7	28,4	24,2	15,8	19,7	42,5	80,4	116,4	708,5
	desvio	15,9	16,7	25,6	17,9	25,5	24,8	23,6	15,4	11,5	13,1	15,8	16,0	111,7
5 20 Estações	mínimo	107,6	73,0	67,0	35,2	4,8	1,4	0,0	0,0	8,6	57,4	110,8	135,1	712,4
	máximo	182,3	152,3	173,8	110,7	77,3	79,9	77,3	64,7	76,1	133,4	161,2	245,0	1232
	média	141,8	102,0	124,0	70,8	24,1	18,8	16,8	13,1	23,5	84,3	137,0	170,4	926,5
	desvio	19,7	20,6	27,0	23,2	21,2	22,7	24,1	17,9	16,6	19,5	13,9	26,7	135,3
6 7 Estações	mínimo	110,4	192,1	303,2	271,3	85,8	24,4	12,0	2,2	3,1	3,1	6,0	45,1	1207
	máximo	227,4	262,1	395,8	396,0	202,7	80,3	55,3	10,1	26,5	46,1	70,2	163,3	1687
	média	186,8	224,8	354,7	310,4	135,8	45,7	27,8	7,4	12,8	23,6	33,3	94,8	1458
	desvio	45,5	25,5	28,1	36,9	34,2	18,9	15,7	2,5	7,5	17,1	25,2	41,0	149,0
7 17 Estações	mínimo	82,1	135,6	192,8	174,5	45,0	20,6	7,8	0,1	0,5	0,7	3,7	14,8	874,8
	máximo	184,6	224,5	331,3	300,9	197,9	144,5	83,1	24,1	23,7	29,1	47,0	93,4	1477
	média	124,5	179,7	263,4	241,0	117,2	50,4	30,1	8,0	8,5	12,7	17,8	52,1	1105
	desvio	28,8	24,0	41,1	39,4	48,2	28,0	16,0	5,6	5,8	8,5	12,6	19,7	149,1
8 9 Estações	mínimo	28,8	24,0	41,1	39,4	45,0	20,6	7,8	0,1	0,5	0,7	3,7	14,8	149,1
	máximo	184,6	224,5	331,3	300,9	197,9	144,5	83,1	24,1	23,7	29,1	47,0	93,4	1477
	média	40,9	53,1	102,5	122,9	139,4	141,4	160,8	82,6	57,4	29,3	24,0	39,0	993
	desvio	11,0	11,4	26,3	27,1	16,4	13,5	21,6	8,1	5,1	7,8	11,7	9,9	108
Grupo 9 15 Estações	mínimo	22,0	51,2	95,2	114,4	135,6	150,1	158,9	92,4	58,5	16,0	18,5	28,3	1150
	máximo	92,4	112,5	190,8	250,4	278,9	299,4	370,9	175,1	112,2	77,0	68,2	75,6	2009
	média	48,8	78,7	134,0	185,5	213,8	205,5	222,6	116,5	83,6	50,3	36,6	44,6	1421
	desvio	19,7	19,0	31,7	40,5	37,4	35,5	48,5	20,0	15,3	15,6	13,2	15,2	208,6

Anexo C3. Estatística descritiva dos NDVI's mensais e anuais para as 08 regiões homogêneas

Nº Grupo	Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 56 pontos NDVI	média	0,37	0,44	0,49	0,53	0,53	0,49	0,42	0,35	0,26	0,24	0,24	0,28
	desvio	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07
	mínimo	0,26	0,35	0,43	0,45	0,49	0,43	0,34	0,26	0,20	0,19	0,16	0,17
	máximo	0,53	0,55	0,58	0,59	0,58	0,56	0,52	0,46	0,39	0,39	0,43	0,49
2 21 pontos NDVI	media	0,25	0,46	0,48	0,50	0,52	0,50	0,44	0,38	0,32	0,30	0,30	0,31
	desvio	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09
	mínimo	0,26	0,37	0,43	0,44	0,44	0,40	0,34	0,25	0,19	0,18	0,16	0,19
	máximo	0,50	0,55	0,56	0,58	0,59	0,58	0,53	0,50	0,46	0,43	0,50	0,51
3 38 pontos NDVI	média	0,25	0,31	0,38	0,43	0,44	0,39	0,32	0,26	0,20	0,18	0,17	0,20
	desvio	0,06	0,04	0,03	0,04	0,05	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,03	0,05
	mínimo	0,15	0,24	0,29	0,31	0,29	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,13
	maximo	0,40	0,41	0,44	0,48	0,52	0,51	0,47	0,36	0,28	0,23	0,25	0,36
4 34 pontos NDVI	media	0,26	0,28	0,35	0,43	0,48	0,48	0,46	0,42	0,35	0,28	0,25	0,24
	desvio	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
	mínimo	0,17	0,20	0,28	0,34	0,39	0,39	0,36	0,32	0,25	0,19	0,17	0,15
	maximo	0,33	0,36	0,45	0,49	0,54	0,56	0,54	0,50	0,48	0,43	0,37	0,33
5 23 pontos NDVI	media	0,46	0,47	0,46	0,45	0,41	0,34	0,31	0,28	0,25	0,29	0,40	0,43
	desvio	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
	mínimo	0,39	0,40	0,40	0,39	0,31	0,23	0,20	0,19	0,17	0,19	0,31	0,36
	maximo	0,57	0,59	0,56	0,57	0,53	0,51	0,49	0,42	0,37	0,41	0,51	0,52
6 32 pontos NDVI	media	0,34	0,34	0,39	0,46	0,52	0,54	0,52	0,51	0,48	0,43	0,38	0,34
	desvio	0,07	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,07
	mínimo	0,22	0,21	0,28	0,37	0,48	0,50	0,48	0,45	0,40	0,30	0,25	0,23
	maximo	0,54	0,55	0,55	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56	0,53	0,50	0,52	0,52
7 39 pontos NDVI	media	0,41	0,41	0,45	0,47	0,46	0,41	0,35	0,32	0,26	0,24	0,27	0,34
	desvio	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,05
	mínimo	0,26	0,35	0,37	0,40	0,41	0,34	0,25	0,21	0,16	0,15	0,18	0,22
	maximo	0,49	0,46	0,51	0,55	0,51	0,50	0,48	0,49	0,45	0,42	0,42	0,42
8 34 pontos NDVI	Média	0,52	0,53	0,51	0,52	0,48	0,40	0,36	0,33	0,29	0,32	0,45	0,47
	desvio	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,08	0,09	0,10	0,10	0,08	0,06	0,05
	mínimo	0,46	0,45	0,46	0,45	0,41	0,29	0,24	0,21	0,18	0,22	0,32	0,40
	máxima	0,59	0,60	0,60	0,58	0,57	0,57	0,56	0,57	0,54	0,55	0,56	0,57

Anexo C4. Estatística descritiva das precipitações mensais e anuais para as 08 regiões homogêneas

Nº Grupo	Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 56 Estações	media	87,6	125,6	223,1	214,5	62,8	36,9	20,3	7,0	4,8	9,1	14,6	67,0
	desvio	41,0	38,5	47,9	55,2	36,8	24,2	14,7	6,9	5,1	11,0	13,7	37,1
	mínimo	27,7	53,9	144,7	120,9	13,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2
	máximo	181,1	220,5	340,2	350,8	147,6	103,6	56,5	28,6	21,2	44,9	51,1	180,3
2 21 Estações	media	187,1	241,3	376,1	339,1	139,2	62,7	20,3	11,6	14,0	23,5	32,4	113,4
	desvio	66,9	62,2	66,3	64,0	57,2	33,1	15,9	11,1	14,6	25,2	37,2	58,7
	mínimo	82,4	159,8	252,4	219,8	28,1	6,0	1,2	0,9	0,0	0,0	1,2	29,2
	máximo	353,1	450,5	560,8	475,2	240,8	142,8	63,2	53,7	67,5	101,9	153,5	266,9
3 38 Estações	média	56,6	101,5	181,8	189,8	66,4	36,6	21,6	8,3	3,3	3,5	11,4	44,2
	desvio	18,2	32,9	35,6	69,9	37,0	19,3	13,3	6,4	2,7	4,5	11,8	28,3
	mínimo	22,7	31,5	93,1	60,0	7,9	9,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4
	maximo	107,1	149,3	251,0	303,9	139,4	84,5	50,2	32,8	11,5	19,5	42,5	119,8
4 34 Estações	media	28,4	58,8	104,2	116,1	55,4	54,6	64,4	31,2	14,7	6,5	14,7	32,7
	desvio	13,5	23,0	34,6	33,8	22,4	29,3	35,0	19,3	11,5	6,5	11,5	19,6
	minimo	3,1	10,5	33,4	63,7	19,5	17,3	6,3	1,9	0,0	0,0	0,0	1,1
	maximo	71,5	111,5	166,6	180,1	114,2	158,0	181,3	89,3	49,1	27,9	46,4	76,0
5 23 Estações	media	73,8	31,9	67,2	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2	53,5	83,5
	desvio	304,7	231,5	319,7	207,7	55,5	34,1	22,0	13,6	39,9	99,4	198,8	292,8
	minimo	155,1	101,0	158,8	91,6	15,6	9,1	1,6	3,9	14,2	55,2	94,3	172,9
	maximo	62,5	56,3	73,2	58,2	15,7	9,4	6,1	4,5	9,7	23,4	39,7	58,2
6 32 Estações	media	36,9	61,4	113,4	176,6	141,3	151,5	180,8	105,1	57,4	32,1	34,6	50,4
	desvio	26,0	29,3	39,2	50,7	46,3	44,1	72,1	40,0	26,5	24,2	28,5	30,3
	minimo	9,7	17,3	60,9	109,4	71,7	80,2	88,6	52,1	17,1	5,9	6,8	15,1
	maximo	114,1	155,5	195,5	305,6	256,9	259,9	380,6	194,0	143,9	130,7	165,8	170,5
7 39 Estações	media	72,8	61,3	139,6	96,2	31,5	30,1	20,7	12,2	10,5	18,0	38,2	102,9
	desvio	22,6	23,0	54,3	32,8	20,2	21,8	16,6	11,5	8,7	14,5	20,9	31,9
	minimo	32,4	29,7	57,6	41,2	7,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,8	12,3	31,1
	maximo	142,0	143,7	265,9	148,8	93,3	88,7	53,2	35,7	30,5	63,4	99,2	188,5
8 34 Estações	media	52,8	16,8	49,1	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	42,1	86,4
	desvio	207,2	127,4	190,2	134,9	124,0	118,6	136,6	81,1	80,0	99,7	145,9	267,2
	minimo	121,1	69,2	123,8	66,2	20,4	13,3	10,9	11,1	17,4	55,5	94,9	168,4
	maximo	43,3	30,4	42,3	36,3	33,0	30,9	34,1	22,9	19,8	23,1	33,6	43,8