



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**MESTRADO EM METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**VARIABILIDADE INTERANUAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NO LESTE DO  
NORDESTE DO BRASIL NO PERÍODO DE 1982-1999**

**DANIEL GONÇALVES DAS NEVES**

**ORIENTADORA: PROF. DRA. CÉLIA CAMPOS BRAGA**

**CAMPINA GRANDE, PB**

**Junho, 2005**

**DANIEL GONÇALVES DAS NEVES**

**VARIABILIDADE INTERANUAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NO LESTE DO  
NORDESTE DO BRASIL NO PERÍODO DE 1982-1999**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Sub – Área: Climatologia

Orientadora: Prof.Dra. Célia Campos Braga

Campina Grande, PB

Junho de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELEBORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N511v  
2005

Neves, Daniel Gonçalves das  
Variabilidade interanual do índice de vegetação no leste do nordeste do Brasil  
no período de 1982-1999/Daniel Gonçalves das Neves – Campina Grande,  
2005.  
108f.  
Referência: p. 94  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais  
Orientadora: Célia Campos Braga, Dra.  
1 – Satélites meteorológicos 2- Índice de vegetação 3-Componentes  
principais 4 – Fração vegetação 5- Precipitação 6-Variabilidade anual I-Título.

CDU:551.508.82

DANIEL GONÇALVES DAS NEVES

VARIABILIDADE INTERANUAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NO LESTE DO  
NORDESTE DO BRASIL NO PERÍODO DE 1982-1999

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/6/2005

BANCA EXAMINADORA

  
Profa. Dra. CÉLIA CAMPOS BRAGA  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. ANA ALEXANDRINA GAMA DA SILVA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Tabuleiros Costeiros

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a conclusão deste trabalho em primeiro lugar ao meu Deus, pois sem o seu sustento não teria sido possível o término de mais esta etapa da minha vida. Em segundo aos meus pais, Raimundo Neves e Maria de Lourdes Neves e as minhas irmãs, pelo o amor e dedicação para comigo em todos os momentos de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pois até aqui tem sido o meu sustento e auxílio em minha vida.

Ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, pelas oportunidades.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

A Professora Dra. Célia Campos Braga pela dedicação e orientação no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os Professores de Programa de Pós-graduação em Meteorologia, e em especial ao Professor Dr. Ivaldo Barbosa de Brito, pela orientação em algumas partes deste trabalho.

Aos meus pais Raimundo Neves e Lourdes Neves e minhas irmãs.

A todos os meus amigos e colegas do Curso de Graduação e Pós-graduação, em especial ao amigo Arnaldo Sena por seu companheirismo e ajuda indispensável nos programas computacionais, meu muito obrigado.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial a Divanete C. Rocha e Eyres Diana Ventura, por estarem sempre dispostas e pacientes a ajudar.

E finalmente a todos que direta ou indiretamente contribuirão para o término deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE ANEXOS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1 – Sistemas de Sensores do AVHRR.....	12
3.2 – Descrição da Vegetação no leste do Nordeste.....	14
3.3 – Análise de Componentes Principais (ACP).....	16
3.4 – Método de Agrupamentos (Cluster).....	18
3.4.1 – Função de Agrupamento.....	19
3.5 – Método Hierárquico.....	20
3.6 – Método não Hierárquico.....	21
3.6.1 – Método de K-means.....	22
3.7 – Qualidade de uma Partição.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 – Dados de IVDN do AVHRR/NOAA.....	25
4.1.1 – Dados da Precipitação.....	26
4.2 – Metodologia.....	18
4.3- Análise Fatorial e Agrupamento de IVDN.....	28

4.4 – Fração Vegetação.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 – Estado da Bahia.....	30
5.1.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado da Bahia.....	33
5.1.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste da Bahia...	36
5.1.3 – Fração Vegetação no leste da Bahia.....	39
5.2 – Estado da Sergipe.....	42
5.2.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado de Sergipe.....	43
5.2.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste de Sergipe	46
5.2.3 – Fração Vegetação no leste de Sergipe.....	49
5.3 – Estado de Alagoas.....	50
5.3.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado de Alagoas.....	52
5.3.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste de Alagoas.....	55
5.3.3 – Fração Vegetação no leste de Alagoas.....	58
5.4 – Estado de Pernambuco.....	60
5.4.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado de Pernambuco.....	61
5.4.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste de Pernambuco.....	64
5.4.3 – Fração Vegetação no leste de Pernambuco.....	67
5.5 – Estado da Paraíba.....	69
5.5.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado da Paraíba.....	70
5.5.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste da Paraíba	73
5.5.3 – Fração Vegetação no leste da Paraíba.....	76
5.6 – Estado do Rio Grande do Norte.....	77
5.6.1 – Análise temporal e espacial do IVDN no Estado do Rio Grande do	

Norte.....	78
5.6.2 – Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste do Rio do Grande do Norte.....	81
5.6.3 – Fração Vegetação no leste do Rio Grande do Norte.....	83
5.7 – Síntese das características da vegetação no leste do Nordeste do Brasil	85
6 CONCLUSÕES E SUGESTÃO.....	88
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Áreas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica desde o Rio Grande do Sul até o Estado do Rio Grande do Norte.....	16
Figura 4.1	Mapas das principais vegetações no Nordeste Brasileiro.....	26
Figura 5.1.1	Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91% da variância total no leste da Bahia.....	34
Figura 5.1.2 a,b,c,	Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91% da variância total no leste da Bahia.....	35
Figura 5.1.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste da Bahia através do método de agrupamento das médias de K-means.....	36
Figura 5.1.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste da Bahia.....	37
Figura 5.1.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste da Bahia .....	38
Figura 5.1.4c	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste da Bahia.....	39
Figura 5.1.5 a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste da Bahia nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	42
Figura 5.2.1	Quatro primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91,6% da variância total no leste de Sergipe.....	44
Figura 5.2.2 a,b,c	Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91,6% da variância total no leste de Sergipe.....	45
Figura 5.2.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste de Sergipe através do método de agrupamento das médias de K-means.....	46
Figura 5.2.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Sergipe.....	47
Figura 5.2.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Sergipe.....	48
Figura 5.2.4c	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período	

	de 1982-1999 no leste de Sergipe.....	48
Figura 5.2.5a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de Sergipe nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	50
Figura 5.3.1	Quatro primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91,7% da variância total no leste de Alagoas.....	53
Figura 5.3.2 a,b,c	Distribuição espacial dos quatro primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91,7% da variância total no leste de Alagoas.....	55
Figura 5.3.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste de Alagoas através do método de agrupamento das médias de K-means.....	55
Figura 5.3.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.....	56
Figura 5.3.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.....	57
Figura 5.3.4c	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.....	58
Figura 5.3.5 a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de Alagoas nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	60
Figura 5.4.1	Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 90,8% da variância total no leste de Pernambuco. ....	62
Figura 5.4.2 a,b,c	Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 90,8% da variância total no leste de Pernambuco.....	64
Figura 5.4.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste de Pernambuco através do método de agrupamento das médias de K-means.....	65
Figura 5.4.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.....	65
Figura 5.4.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.....	66
Figura 5.4.4c	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.....	67
Figura 5.4.5 a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de	

	Pernambuco nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	68
Figura 5.5.1	Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 90% da variância total no leste da Paraíba.....	71
Figura 5.5.2 a,b,c,	Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 90% da variância total no leste da Paraíba...	72
Figura 5.5.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste da Paraíba através do método de agrupamento das médias de K-means.....	73
Figura 5.5.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.....	74
Figura 5.5.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.....	74
Figura 5.5.4c	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.....	75
Figura 5.5.5 a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste da Paraíba nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	77
Figura 5.6.1	Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 92% da variância total no leste do Rio Grande do Norte.....	79
Figura 5.6.2 a,b,c,	Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 92% da variância total no leste do Rio Grande do Norte.....	80
Figura 5.6.3	Regiões homogêneas de IVDN no leste do Rio Grande do Norte através do método de agrupamento das médias de K-means.....	81
Figura 5.6.4a	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste do Rio Grande do Norte.....	82
Figura 5.6.4b	Médias e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste do Rio Grande do Norte.....	83
Figura 5.6.5 a,b,c,d	Fração vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste do Rio Grande do Norte nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.....	84
Figura 5.6.6	Fração vegetação média para o período de 1982 a 1999 no leste dos Estados do Nordeste (Ba, Se, Al, Pe, Pb e Rn).....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Principais características dos sistemas de sensores AVHRR/NOAA.....	13
Tabela 5.1	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste da Bahia nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	41
Tabela 5.2	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste de Sergipe nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	49
Tabela 5.3	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste de Alagoas nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	59
Tabela 5.4	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste de Pernambuco nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	68
Tabela 5.5	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste da Paraíba nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	76
Tabela 5.6	Fração vegetação dos grupos homogêneos no leste do Rio Grande do Norte nos anos de 86, 89, 95 e 96.....	84

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
VIS	Visível
IV	Infravermelho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GIMMS	Global Inventory Monitoring Modelling Studies
ACP	Análise de Componentes Principais
CP's	Componentes Principais

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Autovalores mais significativos segundo o critério de kaiser.....	91
Anexo B	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações na Bahia nos anos 85, 86, 89, 91, 93, 94, 95, 96, 97.....	96
Anexo C	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações em Sergipe nos anos 83, 85, 86, 89, 91, 93, 95, 96.....	99
Anexo D	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações em Alagoas nos anos 82, 83, 86, 88, 89, 95, 96.....	101
Anexo E	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações em Pernambuco nos anos 83, 85, 86, 89, 95, 96.....	103
Anexo F	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações na Paraíba nos anos 86, 89, 95, 96, 99.....	104
Anexo G	Distribuição Espacial do IVDN e das precipitações em Rio Grande do Norte nos anos 83, 85, 86, 89, 95, 96.....	106

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo definir padrões espaciais, correlações temporais e fração vegetação do IVDN em áreas homogêneas na região leste do Nordeste do Brasil. Utilizaram-se séries temporais anuais do IVDN com resolução espacial de 5,5 Km x 5,5 Km, oriundas dos sistemas de sensores AVHRR dos satélites meteorológicos da série NOAA, e totais anuais da precipitação pluvial para o período de 1982-1999. Correlações temporais e padrões espaciais anuais do IVDN foram calculados através da técnica da Análise em Componentes Principais (ACP). Determinaram-se grupos homogêneos do IVDN através do método de K-means para região leste de cada Estado. Foram obtidos três grupos homogêneos do IVDN para quase todos os estados com exceção do Rio Grande do Norte com dois grupos. Em cada grupo homogêneo calculou-se a fração da área vegetada pela quantificação dos números de pontos de grade de IVDN em cada grupo e área total de cada Estado. Os resultados obtidos mostraram que os IVDN dos anos mais secos correlacionaram-se melhor com primeiros fatores, os anos chuvosos com os segundos fatores e anos em torno da média climatológica com o terceiros fatores. Na década de 1980, na maioria dos estados a fração vegetação apresentou estabilidade na região litorânea. Já na década de 1990 detectou-se uma redução bastante significativa da fração vegetação na faixa próxima ao litoral (floresta perenifólia) e aumento acentuado da fração na área de caatinga e agreste.

## ABSTRACT

The objective of the present study is the identification of spatial patterns, temporary correlations and NDVI fraction vegetation in homogeneous areas in the east area of the Northeast of Brazil. Annual time series of NDVI, with resolution of 5.5 Km x 5.5 km, obtained from AVHRR sensor on board of NOAA satellites, were used. Time series of annual rainfall for the period of 1982-1999, were also used. Temporary correlations and annual spatial patterns of IVDN were calculated through the technique of the Principal Analysis Components (ACP). Homogeneous groups of NDVI were obtained through of the method of K-means for eastern area for each selected state. Three homogeneous groups of NDVI for all the states were obtained, except for Rio Grande do Norte with two groups. For each homogeneous group the fraction of vegetated area was calculated using of the NDVI grid number and the associated state area. The obtained results showed that IVDN of the driest years was correlated better with first factors, the rainy years with the second factors and years around the climatological average with the third factors. In the 80' decade, in most of the selected states, the vegetation fraction presented stability in the coastal area. On the other hand, during the 90' a quite significant reduction of the vegetation fraction was detected close to a narrow coast area "perenifolia" forest and an accentuated increase of that fraction in the area seasonal forest (*caatinga e agreste*).



## 1 - INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro está situado 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, possui uma vasta extensão territorial de 1.540.827 Km<sup>2</sup>.

A ação de diferentes sistemas regionais de circulação atmosférica perturbada somada ao papel do relevo – “amplas” planícies litorâneas; vales geralmente situados em níveis inferiores a 500 m, entre superfícies que se alcançam muitas vezes a cotas de 800m na Borborema, Araripe, Ibiápaba e de 1200 m na Diamantina – tornam o quadro climático dessa região um dos mais complexos. A maior expressão de sua complexidade se encontra principalmente nos regimes hídricos que caracterizados, sobretudo por uma notável dispersão quer sazonal, quer interanual, revela uma extraordinária heterogeneidade climática espacial. Contudo, da posição geográfica dessa região em relação aos sistemas da circulação atmosférica que estabelecem instabilidade ou estabilidade do tempo, é que decorre basicamente toda a riqueza e complexidade climática do Nordeste Brasileiro.

Apesar de que a Região Nordeste ser conhecida como de clima predominantemente semi-árido, cerca de 50% do território do Nordeste é abrangido pelo grupo dos climas superúmidos, úmidos e subúmidos. Essas categorias se encontram ao longo do litoral oriental e do setor ocidental. A distribuição dessas categorias climáticas

decorre não apenas porque nessas áreas os totais pluviométricos anuais são mais expressivos, mas, sobretudo, das características do regime de precipitação.

A cobertura vegetal da Região Nordeste do Brasil é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisiografia e das condições climáticas. A porção semi-árida se destaca pela presença de caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde a 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, entre outras (IBGE, 1985).

A Mata Atlântica ocupava originalmente uma área de 1,3 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 20% do território brasileiro distribuído por 17 estados, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. Desde o descobrimento do Brasil pelos europeus, os impactos dos diferentes ciclos de exploração e da alta densidade demográfica, entre outros fatores, fizeram com que sua vegetação natural fosse reduzida drasticamente.

Atualmente, a área ocupada pela Mata Atlântica, constitui somente 7,6% de sua extensão original, cerca de 99 mil km<sup>2</sup> em remanescentes altamente fragmentados e espalhados ao longo da costa brasileira, no sul de Goiás e do Mato Grosso do Sul, e no interior das regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Apesar da contínua destruição, a Mata Atlântica ainda abriga uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil, com elevado índice de endemismo (presença de espécie da fauna e da flora que só podem ser encontradas em determinado ecossistema). A fauna, entre mamíferos, répteis, aves e anfíbios, totaliza 1.807 espécies, sendo 389 endêmicas. Das 202 espécies de animais

ameaçadas de extinção, 171 são da Mata Atlântica. Além disso, conta com mais de 20 mil espécies de plantas, sendo 8 mil endêmicas (Fundação SOS Mata Atlântica, 1998).

Estas são algumas das importantes razões pelas qual a Mata Atlântica é tão rica em sua biodiversidade. Uma árvore de uma dada espécie nascida no nível do mar difere de uma árvore desta mesma espécie no topo da serra. Se uma variação de altitude apenas já exerce influência significativa sobre as espécies, é possível imaginar o que a diferença de pluviosidade, temperatura, fertilidade dos solos, relevo, iluminação, entre muitas outras, gerou em termos de diversidade de flora, fauna, microorganismos e os ecossistemas que estes compõem, ao longo do litoral brasileiro (Fundação SOS Mata Atlântica, 1998).

Por esta razão, muitos pesquisadores têm desenvolvido trabalhos de pesquisa no domínio das florestas tropicais mais precisamente da Mata Atlântica. Com a introdução de sensores de alta resolução AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) nos satélites meteorológicos é possível fazer um acompanhamento espectral da vegetação de modo mais racional e de baixo custo operacional, pois os dados de satélites são disponibilizados pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). O monitoramento da vegetação em determinadas bandas do espectro visível e infravermelho é muito utilizado nos processos de sensoriamento remoto aplicados à agricultura, na prospecção de recursos naturais e no monitoramento do meio ambiente. O comportamento espectral dos sensores na banda do visível (VIS) e no infravermelho próximo (IV) de satélites meteorológicos informa sobre a refletância das superfícies vegetadas, o que possibilita delinear e monitorar áreas de cobertura vegetada em todo o globo.

De modo geral, dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) obtidos pela combinação da refletância dos canais 1 e 2 do sistema AVHRR /

NOAA, têm sido utilizados com frequência para monitorar possíveis modificações temporais e espaciais ocorridas devido à dinâmica da vegetação, tanto em escala global quanto regional. Deste modo destaca-se o trabalho de Nicholson et al. (1994) que em seus estudos para as regiões semi-árida da África, observou a variação espaço-temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e sua relação com a variabilidade da precipitação e umidade do solo; Almeida (1997) elaborou um estudo para o cerrado brasileiro e verificou que a resposta do IVDN à precipitação possui certa defasagem entre o instante da chuva e o da absorção da água pela vegetação, aumentando, assim, a atividade fotossintética (elevando os valores do IVDN); Barbosa (1998) verificou que o IVDN pode ser utilizado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva no Nordeste Brasileiro. Braga et al. (2003) mostrou que para diferentes regiões climáticas do Nordeste, o tempo de resposta da vegetação às variabilidades das precipitações, não coincide nas diferentes regiões estudadas, diferindo tanto no tempo como no espaço. Wessel et al. (2004) utilizaram dados do IVDN para quantificar áreas degradadas e não degradadas no Norte da África do Sul. Assim, a determinação de padrões da variabilidade espacial e temporal do IVDN pode ser feita através das técnicas da Análise em multivariadas. As quais nos permitem fazer uma redução no número de variáveis conservando o máximo de informações possível, facilitando desta forma a interpretação dos dados.

Diante das considerações acima e da importância da vegetação que compõe o ecossistema da porção leste do Nordeste do Brasil, o objetivo deste estudo foi utilizar dados do IVDN, para definir padrões de variabilidade interanual e fazer a parametrização da fração vegetação na região leste do Nordeste do Brasil no período de 1982 a 1999.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) tem sido amplamente utilizado por originar um forte sinal da vegetação e oferecer um bom contraste com outros alvos da superfície terrestre (Parkinson, 1997).

Diversos trabalhos envolvendo o IVDN, obtidos a partir dos dados do sistema AVHRR/NOAA, têm sido desenvolvidos com os seguintes objetivos:

- Identificação e classificação da vegetação terrestre;
- Estimativa da produção primária da vegetação;
- Caracterização da dinâmica da vegetação;
- Estimativa da precipitação;
- Monitoramento de secas;
- Estimativa da concentração do dióxido de carbono;
- Estimativa da temperatura da superfície;
- Estimativa do albedo planetário e de superfície;
- Estimativa da taxa de evaporação.

Townshend et al. (1985) empregaram a análise em componentes principais para investigar a estrutura básica do IVDN na África e América do Norte, em diferentes épocas do ano, no período de abril de 1982 a março de 1983. 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 esteve 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.

Eastman & Fulk (1993) aplicaram a análise em componentes principais padronizadas para dados mensais do IVDN do sistema de sensores AVHRR/NOAA, no período de 1986-1988, para analisar condições ambientais espaciais na África. A primeira componente principal explicou as características do IVDN independentemente da estação do ano. A segunda, terceira e quarta componentes principais relacionaram 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 resultados mostraram que a técnica das componentes principais pode ser um indicador de mudanças em séries temporais, cujos valores são influenciados por eventos periódicos e não periódicos.

Liu et al. (1994) utilizaram dados de IVDN obtidos de satélites para estudar a evolução das secas no continente Sul Americano. A partir dos dados da AVHRR/NOAA, foram produzidos mapas de IVDN, para o período de agosto de 1981 a junho de 1987, para obter resposta da vegetação e verificar a evolução espacial e temporal dos dados mensais em quatro áreas secas, delimitada por valores de IVDN menores que 0,22, e da correlação

do padrão das secas com o evento El Niño Oscilação Sul (ENSO). Os autores observaram que a indicação de áreas secas, a partir de dados de satélites, na Bacia Amazônica, coincidiu com o evento de ENSO. Os resultados indicaram o grande potencial do IVDN, tanto no monitoramento das secas, como para estudar a variabilidade climática em escala regional.

Nicholson & Farrar (1994) investigaram a variabilidade espacial e temporal de IVDN e sua relação direta com a chuva e umidade do solo. Utilizaram dados mensais de chuva e de IVDN para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1987 compreendendo 26 estações, para cada estação utilizada foi atribuído um tipo de solo. O estudo mostrou uma relação linear entre chuva e IVDN, até certo limite de precipitação, não excedendo 500 mm ao ano, ou 50 a 100 mm ao mês. Verificaram assim que a eficiência do aumento da vegetação com respeito a chuva é mais influenciada pelo tipo de solo do que pela comunidade vegetal presente, sendo, então, o solo um fator dominante no crescimento da vegetação.

Gong & Richman (1995) aplicaram técnicas de análise de agrupamento a dados de precipitação pra a região central e leste da América do Norte, com o objetivo de 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 análise em componentes principais rotacionadas. Três medidas de similaridade e três métodos de partição inicial foram testados. Os resultados mostraram que os métodos não hierárquico tiveram melhor desempenho do que os métodos hierárquico. Os métodos da análise em componentes principais foram os mais precisos, o método aglomerativo em torno dos núcleos foi superior aos demais métodos não hierárquico e o método de Ward apresentou melhor desempenho entre os métodos hierárquico. Das três distâncias testadas a Euclidiana foi a

solução mais precisa. Dos vários métodos testados o de Ward, K-means e aglomeração em torno dos núcleos apresentaram 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 dado geofísico pouco claro e que se superpõem, resulta numa substancial degradação da regionalização apresentada.

Liu & Kogan (1996), usaram o Índice de Condição da Vegetação (ICV) para diferenciar a variação regional de IVDN devido à contribuição geográfica e avaliaram o impacto nas secas regionais no período de julho de 1985 a junho de 1992, numa área de cobertura compreendida entre as latitudes 11°N e 39°S e longitude 35°W e 81°W. Foram produzidos quatro tipos de mapas mensais das dinâmicas das secas, baseado na delimitação de quatro tipos de áreas secas descritas previamente. Os autores concluíram que o IVDN é uma ferramenta poderosa para o estudo da variabilidade climática em grande escala enquanto que o IVC é mais eficiente em escala regional e que os dois índices são bons indicadores no aumento da vegetação, sugerindo, assim, seu emprego na confecção de modelos de previsão de grande escala.

Gutman & Ignatov (1998) verificaram o potencial das variáveis (fração vegetada (Fg) e índice de área foliar (Lg)), a partir de dados de IVDN do satélite AVHRR/NOAA. Como o IVDN não permite a dedução simultânea das duas variáveis de vegetação, assumiu-se a cobertura vegetal como densa (IAF muito alto) para estimar a *Fração Vegetada*. Resultados preliminares na incorporação dos mapas de *Fração Vegetada* no modelo de previsão numérica mostraram uma melhoria na previsão do fluxo em superfície, apresentando desta forma um modelo mais realístico e consistente que os anteriores que utilizavam a fração vegetada invariante.

Braga et al. (2003) aplicaram as técnicas Componentes Principais e Análise de Agrupamento a dados mensais de IVDN e precipitação pluvial, para determinar padrões espacial e temporal, regiões homogêneas e tempo de resposta da vegetação às precipitações pluviométricas do Nordeste Brasileiro. Os resultados evidenciaram que o tempo de resposta da vegetação à chuva mais intensa nas diferentes regiões homogêneas de IVDN e precipitação pluvial, ocorreu com defasagem de um a dois meses, com dependência do tipo de cobertura vegetal.

Melo (2003) analisou a influência da cobertura vegetal sobre os fluxos de superfície obtidos através do modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System). Utilizou os dados de IVDN, para os cinco primeiros dias dos meses de abril dos anos de 1983 e 1986 na região do Nordeste do Brasil, para estimar o IAF (Índice de Área Foliar) e a Fração de Cobertura Vegetada. Os resultados foram introduzidos nas simulações do modelo RAMS. A autora verificou que os dados estimados do IAF e Fração de Cobertura Vegetada foram menor que os obtidos pelo modelo RAMS, o que ocorreu um aumento do fluxo de calor sensível e uma diminuição do fluxo de calor latente, sendo mais evidente para cobertura do tipo Caatinga na qual a variação do fluxo chegou próximo de 50%.

Maselli (2004) avaliou o uso dos dados de sensoriamento remoto para verificar a evolução multianual de ecossistemas na Costa do Mediterrâneo, em uma área de preservação ambiental na parte central da Itália. Dois satélites foram usados para obter o IVDN das áreas vegetadas e relativamente pequenas. Os dados obtidos do satélite AVHRR/NOAA foram avaliados primeiramente por comparação de estimativa de maior resolução de imagens do Landsat – TM/ETM. O melhor método encontrado foi aplicado para séries multitemporais de dados de AVHRR, para obter o perfil de 10 dias de IVDN das florestas coníferas e Broadleaved no período de 1986 a 2000. O estudo mostrou que houve uma diminuição do IVDN durante o período estudado, mas precisamente para as

florestas coníferas, na época do verão e início do outono. Considerou análises de variáveis meteorológicas para identificar causas semelhantes das tendências negativas do decréscimo da precipitação no inverno estando significativamente correlacionada com a variabilidade de IVDN.

Sakar & Kafatos (2004) analisaram a variabilidade interanual da vegetação sobre o subcontinente Indiano e suas relações com os principais parâmetros meteorológicos. Empregaram Função Ortogonal Empírica e técnica de Decomposição de Onda aos dados mensais de IVDN para o período de 1982 a 2000, numa área de cobertura de 0-4°N de latitude e 40-100°E de longitude. Verificaram que a variabilidade da vegetação sofreu maior influência dos efeitos locais, como a precipitação de monção e a temperatura do solo, do que pelos efeitos de teleconexão global, ENSO e outros eventos de teleconexão global.

Wessel et al. (2004) compararam uma série temporal de sazonalidade de IVDN com resolução espacial de 1 km obtida do AVHRR, para identificar a quantidade das áreas degradadas e não degradadas, mapeadas pelo NLC (National Land Cover), usando a imagem de Landsat – TM para um mesmo tipo de solo e clima no Norte da África do Sul. Os autores quantificaram a diferença na soma de IVDN em áreas degradadas e não degradadas e compararam a resistência e estabilidade da produção da vegetação em uma variabilidade natural da precipitação. Os resultados mostraram que a resistência e estabilidade da vegetação não sofreram forte alteração para áreas degradadas e não degradadas.

Levando em consideração a grande densidade de dados a serem manipulados quando se utilizam informações sobre a vegetação extraída de satélites meteorológicos a aplicação das técnicas da análise em multivariada é uma ferramenta adequada para tal fim. Assim sendo, as técnicas utilizadas permitiu não somente a redução

do número de dados, mas também definir padrões espaciais e regiões homogêneas de IVDN no leste do Nordeste. Em cada região homogênea foi calculada a fração vegetação ocupada pelos pontos de grade de IVDN.

### **3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 - Sistemas de Sensores do AVHRR**

Os satélites da série NOAA, têm órbita polar heliossíncrona. Seu sistema imageador Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) da série National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), consiste de um radiômetro com cinco canais sensíveis às bandas espectrais visível, infravermelho próximo e termal do espectro eletromagnético. Cada alvo da superfície terrestre devido as suas composições físicas e químicas apresenta um comportamento espectral particular em relação aos comprimentos de onda. O dossel da vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação solar incidente na região do visível, devido à presença da clorofila e de caroteno existentes na folha. Enquanto que a vegetação verde tem uma alta refletância na região do infravermelho próximo, devido às características estruturais das folhas e efeitos fenológicos do dossel (Batista et al. 1993).

**Tabela 3.1** - Principais características dos sistemas de sensores AVHRR/NOAA

Parâmetro	Características Operacionais
Altitudes (Km)	833; 870
Períodos da Órbita (minutos)	101,58; 102,37
Órbitas por dia	14,18; 14,07
Ângulo de Varredura (nadir) (°)	55,4
Resolução do Terreno (Km)	1,1
Resolução do Terreno perpendicular a faixa	6,9
Largura da faixa imageada (Km)	2.250
Cobertura (Horas)	12
Horário de cruzamento com Equador	07h30 e 19h30 (NOAA 6, 8, 10, 12) 14h30 e 02h30 (NOAA 7, 9, 11,)
Bandas Espectrais	Canal 1 (visível) 0,58 – 0,68
	Canal 2 (IV <sup>2</sup> –próximo) 0,725 – 1,00
	Canal 3A (IV <sup>2</sup> –próximo) 1,58 – 1,64
	Canal 3B (infravermelho) 3,55 – 3,93
	Canal 4 (infravermelho) 10,3 – 11,3
	Canal 5 (infravermelho) 11,5 – 12,5

Fonte: Goodrum et al., 2001

Assim sendo, muitas combinações entre refletância dos canais na região do visível e infravermelho próximo têm sido propostas para obter o máximo contraste entre as propriedades da cobertura vegetada para melhor caracterizar o vigor da vegetação (Parkinson, 1997). Estas combinações têm sido denominadas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), e compactam as informações de dois canais espectrais em um só. Logo, o IVDN é dado pela razão:

$$IVDN = (I - R) / (I + R) \quad (3.1)$$

em que **I** é a medida da refletância na banda espectral do infravermelho próximo do AVHRR/NOAA (0,725-1,10  $\mu\text{m}$ ) e **R** é a refletância na banda espectral do visível (0,58 - 0,68  $\mu\text{m}$ ), incluindo o laranja neste comprimento de onda.

Os valores mais altos do IVDN estão associados à cobertura de vegetação densa, onde os valores comumente encontrados do IVDN são 0,6 para florestas úmidas tropicais, 0,05 para desertos (areia) e -0,3 para nuvens que não precipitam. Os valores de IVDN não são médias mensais, e sim valores máximos mensais atribuídos para cada lugar. O uso do valor máximo em lugar das médias mensais é tomado para reduzir efeitos atmosféricos, devido a fatores complicadores, tais como: nuvens, vapor d'água e aerossóis, que provocam erros nos valores do IVDN (Parkinson, 1997).

A vantagem dos satélites da série NOAA em relação a outros, por exemplo, Landsat é a sua grande resolução temporal, obtendo dados diariamente, cobrindo todo o globo. Esta cobertura diária global possibilita superar melhor a restrição do uso de imagens devido à contaminação por nuvens. Por causa da possibilidade da observação diária dos alvos com os satélites NOAA, pode-se explorar o grande potencial no monitoramento da evolução da cobertura vegetal numa escala regional e /ou global.

### **3.2 - Descrição da Vegetação do leste do Nordeste**

Inúmeros são os benefícios, diretos e indiretos, que os remanescentes da Mata Atlântica (Figura 3.1) e formações associadas a mesma proporcionam aos mais de 100 milhões de brasileiros, em cerca de 3,4 mil municípios em seu domínio. Protege e regula o fluxo de mananciais hídricos, que abastecem cidades e as principais metrópoles do país, garante a fertilidade do solo, controla o clima local, preserva um patrimônio histórico e cultural de valor inestimável e garante a conservação de diversas comunidades indígenas, caiçaras, ribeirinhas e quilombolas.

A Floresta apresenta uma variedade de formações que engloba um diversificado conjunto de ecossistemas florestais com estruturas e composições florísticas bastante diferenciadas, acompanhado as características climáticas da vasta região onde está

situada, tendo como elemento comum à exposição aos ventos úmidos que sopram do oceano (Fundação SOS Mata Atlântica, 1998), os remanescentes da Mata Atlântica e área de formações florestais domínio Atlântico no setor leste do Nordeste; engloba as seguintes formações vegetais e ecossistemas característicos da região:

- Floresta Ombrófila Densa - Mata perenifólia (sempre verde), com dossel de até 15 m, com árvores emergentes de até 40 m de altura. Densas vegetações arbustivas, compostas por samambaias, bromélias e palmeiras.

- Floresta Ombrófila Mista - Mata de araucária, com Pinheiro do Paraná constituindo o andar superior da floresta, possui sub-bosque bastante denso. Antes da interferência antrópica esta formação ocorria nas regiões de clima subtropical, principalmente nos planaltos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, e em maciços descontínuos, nas partes mais elevadas de São Paulo e Rio de Janeiro.

- Floresta Estacional (Decidual e Semi-decidual) – Mata com árvores de 25 a 30 m, com presença de espécies decíduais (caem as folhas no período do inverno mais seco), com considerável ocorrência de epífitas e samambaias nos locais mais úmidos e grandes quantidades de cipós. Antes da degradação pelo homem ocorriam a leste das florestas Ombrófila da encosta atlântica, entrando pelo Planalto Brasileiro até as margens do Rio Paraná.

- Manguezal – Formação que ocorre ao longo dos estuários, em função da água salobra produzida pelo encontro da água doce dos rios com a do mar, constitui ambiente de grande valor enquanto berço de várias espécies de animais que ali se reproduzem. Sua vegetação é muito característica e composta por apenas três tipos principais de árvores (presente na nossa região).

- Restinga – Ocupa grande extensão do litoral, sobre dunas e planícies costeiras. Inicia-se junto à praia, com gramíneas e vegetação rasteiras, e torna-se mais

gradativamente variada e desenvolvida à medida que avança para o interior, apresentando muitos cactos, orquídeas e bromélias.



**Figura 3.1** - Áreas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica desde o Rio Grande do Sul até o Estado do Rio Grande do Norte (Fonte INPE/ISA, 1998), ([www.florestabrasil.com/mataatlant.htm](http://www.florestabrasil.com/mataatlant.htm)).

### **3.3 - Análise de Componentes Principais (ACP)**

Para avaliar o comportamento e definir padrões da vegetação no leste do Nordeste brasileiro, fez-se uso das técnicas de Análise em Multivariada em Componentes Principal (ACP) e agrupamento. A ACP tem como principal objetivo transformar “p” variáveis originais correlacionadas em “p” componentes não correlacionadas ou ortogonais, sendo estas componentes funções lineares das variáveis originais.

A correlação existente entre as “p” variáveis indica que alguma informação contida numa variável esta também contida em alguma das outras (n-p) variáveis. Desta forma, a ACP permite além da redução da dimensão da matriz de dados, a investigação do comportamento espacial e temporal da variável em estudo, identificando grupos da variável que apresentam comportamento homogêneo.

Considerando-se que M indivíduos (pontos de IVDN) é representado por uma nuvem de pontos no espaço vetorial T com dimensão M, a ACP consiste na projeção dessa nuvem de pontos do sub-espaço de dimensão p, de maneira que esta deformação seja a menor possível. O plano no qual são efetuadas as projeções é denominada, plano principal e a direção, direção principal (Bouroche & Sapota, 1983; Richarman, 1986).

Seja uma matriz de dados ( $X_{n \times p}$ ), cujas variáveis normalmente distribuídas com média  $E(x_j)=m(j)$  e variância  $V(x)=s(j)$ ,  $j=1...p$ , pode-se obter a matriz de variância e covariância S, através de:  $S = \left(\frac{1}{n}\right)(X.X')$  (3.2)

sendo que  $X'$  é a transposta de X e n é o numero de indivíduos ou estações.

Normalizando a matriz das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_p$  normalizadas (média zero e variância um) através da média e do desvio padrão, a matriz de variância e covariância será igual à matriz de correlação R, dada por:

$$R = \frac{1}{n}(Z.Z') \quad (3.3)$$

Sendo a matriz de correlação R uma matriz simétrica e positiva de dimensão (p x p), ela é diagonalizável por uma matriz ortogonal A, denominada de matriz dos autovetores. Logo, tem-se que a matriz diagonal D, cujos elementos são os autovetores de R, é obtida por:

$$D = A^{-1}.R.A \quad \text{ou} \quad D = A^t.R.A \quad (3.4)$$

pois A é ortonormal  $A^{-1}=A^t$

Se A é a matriz mudança de base para um novo sistema de referencia composto pelos autovetores de R, as componentes principais  $U_1, U_2, \dots, U_p$  são obtidas por:

$$U=A^t.X \text{ ou } X=A.U \quad (3.5)$$

Os valores de  $X_i$  do n-ésimo local podem ser estimados pela seguinte expressão:  $X_i=a_{j1}.U_1+a_{j2}.U_2+\dots+a_{jk}.U_k+\dots+a_{jp}.U_p$  (3.6)

Onde as variáveis de  $U_p$  é o conjuntos dos autovetores de X ordenados por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de  $a_k$  em A, qual seja:

$$U_k = \sum_{j=1}^n a_{jk} . X_k \quad (3.7)$$

### 3.4 - Métodos de Agrupamentos (Cluster)

Para a determinação das regiões homogêneas utilizaram-se as técnicas objetivas de agrupamentos que tem como objetivo principal classificar indivíduos de uma população que tenham características semelhantes em número restrito de classes. As técnicas de agrupamentos diminuem a subjetividade, pois as classes são obtidas por meio de algoritmos formalizados e não através de métodos subjetivos ou visuais que fazem apelo a iniciativa do praticante.

Existem dois tipos de métodos ou algoritmos de classificação de grupos. Um é o **método hierárquico**, onde a partição dos grupos se dá a partir de um mínimo de grupos não definidos inicialmente, os grupos majoritários são divididos em sub-grupos minoritários agrupando aqueles indivíduos que apresentam características semelhantes. A estrutura final das classes é apresentada sobre a forma de uma árvore de classificação

(dendograma) que apresenta uma síntese objetiva dos resultados. O outro é o **método não hierárquico** de classificação onde o número de grupos é definido a priori. Nos dois métodos de agrupamentos a classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento e de um critério matemático de agrupamento (Bouroche & Sapota, 1983; Everitt, 1993; Wilks, 1995).

### 3.4.1 - Função de Agrupamento

Na Análise de Agrupamento todos os processos de hierarquização são similares, começando pela determinação da matriz de distância entre os indivíduos. A partir da matriz de distância, procede-se a classificação dos indivíduos em grupos homogêneos.

A maioria dos algoritmos utiliza a partir do conjunto dos vetores  $X=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$   $i=1, \dots, n$  representados por uma matriz de dados, uma função de agrupamento, cujos valores calculados com base na matriz  $X$ , podem ser representados por uma matriz de distância ou similaridade, denominada genericamente de matriz distância. A distância utilizada para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos (ponto de IVDN) é a distância euclidiana, ou seja, distância entre os indivíduos  $S_i$  e  $S_j$  é dada por Everitt (1993).

$$d(S_i, S_j) = \left[ \sum_{q=1}^p P_i (S_{iq} - S_{jq})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

$S_i$  e  $S_j$  são pontos de um espaço vetorial  $I_p$ ;  $S_{iq}$  representa os valores anuais de cada ponto de grade IVDN nos locais  $S_i$  e  $S_j$  e  $P_i$  é o peso associado a cada indivíduo.

### 3.5 - Método Hierárquico

Na análise de agrupamento hierárquico inicialmente é calculada a matriz de distância entre os indivíduos e em seguida agrupam-se os indivíduos conforme critério adotado. Dentre as várias técnicas hierárquicas de agrupamento, os métodos mais utilizados são:

a) Ligação Simples ou agrupamento de mínima distância: utiliza a menor distância Euclidiana entre um elemento do grupo  $G_1$  e um elemento do grupo  $G_2$ , para fazer a fusão entre eles e cada fusão feita decresce para um número menor de grupos.

$$d_{G_1}, d_{G_2} = \min_{i \in G_1, j \in G_2} \|x_i - x_j\| \quad (3.9)$$

b) Ligação Completa ou agrupamento de máxima distância: agrupa elementos de dados dos grupos com base na maior distância entre os elementos dos grupos  $G_1$  e  $G_2$

$$d_{G_1}, d_{G_2} = \max_{i \in G_1, j \in G_2} \|x_i - x_j\| \quad (3.10)$$

c) Ligação Média: para agrupar os elementos utiliza a distância Euclidiana média entre todos os possíveis pares de elementos nos dois grupos. Se  $G_1$  contém  $n_1$  pontos e  $G_2$  contém  $n_2$  pontos, a medida de distância é dada por:

$$d_{G_1}, d_{G_2} = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} d_{ij} \quad (3.11)$$

d) Método Centróide: a distância entre os grupos é definida pela distância entre os centros do grupo, sendo que os grupos com menores distâncias iniciam a fusão. A distância entre  $G_1$  e  $G_2$  é dada por:

$$d_{G_1}, d_{G_2} = \left\| \overline{x_{G_1}} - \overline{x_{G_2}} \right\| \quad (3.12)$$

e) Método de Ward: o método de Ward (1963) em Everitt (1993), propõe que em qualquer fase da análise a perda de informação que resulta do agrupamento de elementos entre grupos, é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada ponto a média do grupo ao qual pertence. A cada passo da análise considera-se a união de todo possível par de agrupamentos e são combinados os dois agrupamentos cuja fusão resulta na perda mínima de informação, ou seja:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum x_i \right)^2 \quad (3.13)$$

$x_i$  é o n-ésimo indivíduo do grupo a qual pertence.

### 3.6 - Método não Hierárquico

Os métodos não-hierárquicos são destinados a agrupar dados com grande densidade, para uma classificação simples de k classe, onde k é especificado a priori. São dois os métodos de agrupamento não-hierárquicos: Método aglomerativo de K-means de MacQueen e o das Nuvens Dinâmicas (Cailiez,1976). Os processos de agrupamento são semelhantes, ou seja, são aplicados alternativamente até convergir os dados e tornar-se estável. Cada processo minimiza as variâncias dentro de cada grupo (Gong & Richman, 1995). Neste estudo é abordado a fundamentação teórica do método de grandes amostras dos centros móveis de K-means.

#### 3.6.1 - Método de K-means

Trata-se de agrupar n indivíduos em k classes de tal forma que os indivíduos de uma mesma classe sejam os mais semelhantes possíveis e que as classes

sejam bem separadas segundo uma função de agrupamento e critério de partição. No método de agrupamento K-means de MacQueen (Cailiez, 1976) o número de classe inicial é definido a priori. Esses centros iniciais de agregação de cada classe são os primeiros k indivíduos que se apresentam no conjunto de dados. Em seguida, os elementos são agrupados em torno dos k centros mais próximos. Calculam-se os novos centros de gravidade  $g_1, g_2, \dots, g_k$  das classes que acabaram de se formar. Efetua-se então uma segunda partição agrupando-se os elementos em torno dos  $g_j$  que tomam lugar dos primeiros centros até que a qualidade da partição medida pela inércia intra-classe não possa melhorar mais. O algoritmo deste método consiste nas seguintes etapas:

- 1- Especificar os pontos para os centros de gravidade iniciais;
- 2- Calcular a distância Euclidiana ( $d_{ij}$ ) entre os indivíduos e centros, então alocar cada indivíduo ao centro mais próximo da partição inicial.
- 3- Recalculam-se novos centros dos grupos pela fórmula

$$Y_{mj} = \frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} X_{ij} \quad (j=1,2,\dots,p; m=1,2,\dots,k)$$

(3.14)

em que  $N_m$  representa o número de indivíduos atribuídos para os m grupos, e  $Y_{mj}$  são as coordenadas do m-ésimo centro dos grupos.

4- Calculam-se as distâncias de cada indivíduo  $x_i$  com todos k centros. Se a condição for satisfeita o próximo centro ( $y_m$ ) não aquele ( $x_i$ ) do grupo; então reagrupe os indivíduos no grupo mais próximo  $y_j$  e atualize o novo centro dos grupos que perdeu ou ganhou indivíduos:

$$\frac{N_m}{N_m + 1} \sum_{l=1}^p (X_{il} - Y_{ml})^2 - \frac{N_j}{N_j - 1} \sum_{l=1}^p (X_{il} - Y_{jl})^2 > 0 \quad (3.15)$$

5- Repita a etapa quatro até convergência ou estabilização dos grupos seja alcançada; isto é, continue até completar o ciclo e que os membros de cada partição não tenham qualquer mudança.

### 3.7 - Qualidade de uma Partição

Everitt (1974) mencionou que a dispersão de uma nuvem de pontos pode ser caracterizada por sua inércia, ou seja, a média dos quadrados das distâncias ao centro de gravidade. Segundo Bouroche e Saporta (1982), a qualidade de uma determinada partição de grupos de indivíduos, é freqüentemente medida pelo critério intra-classe ou inter-classe de Ward (1963) o qual propõe que em qualquer estágio de uma análise, a perda de informação resultante pode ser medida pela soma total dos quadrados dos desvios de cada ponto à medida do grupo ao qual pertence. Esse critério de inércia generaliza o teorema de Hyghens em que a inércia total  $I_t$  de uma nuvem de pontos é constante e igual à soma da inércia intraclasse e interclasse ( $I_{intra}+I_{inter}$ ).

$$\text{Logo, } I_t = \sum_{i=1}^p p_i d^2(G_i, G) + \sum_{k=1}^p p_k d^2(G_k, G) \quad (3.16)$$

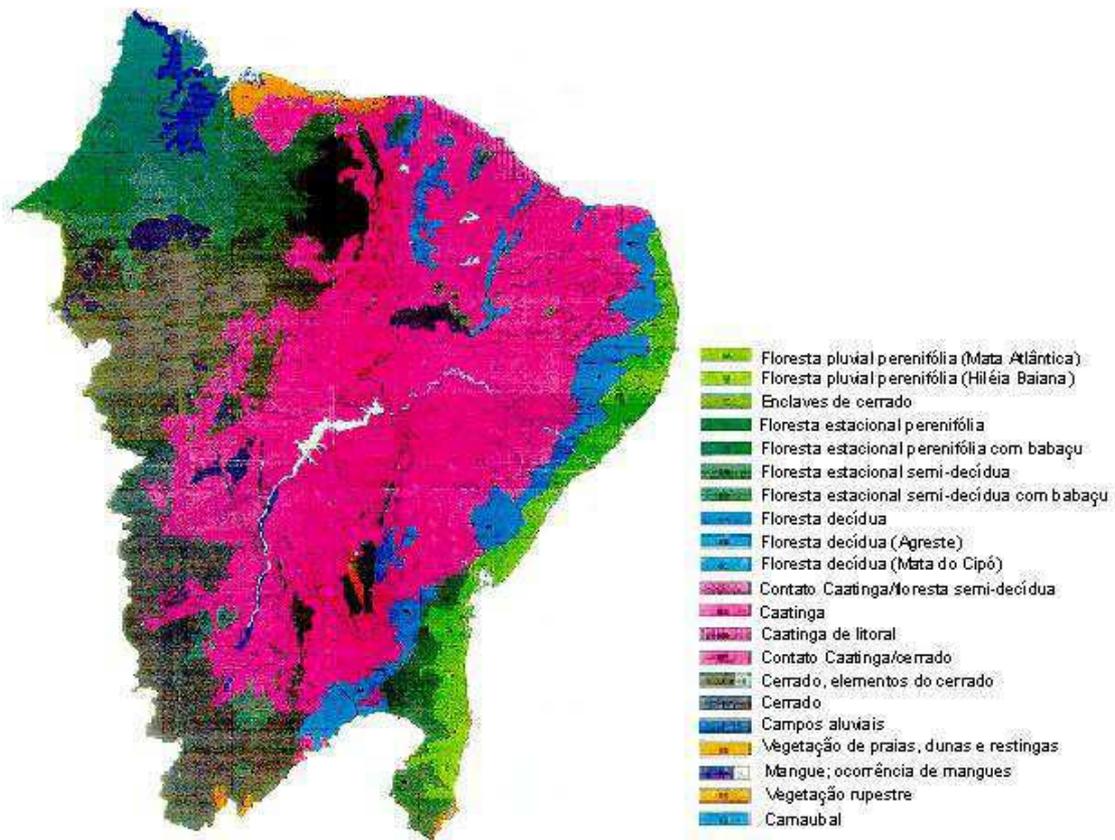
$p_i$  e  $p_k$  são pesos atribuídos aos indivíduos  $i$  e classes  $k$ ;

em que  $G_i$  e  $G_k$  são os centros de gravidade de cada classe e população, respectivamente; e  $G$  é o centro de gravidade da nuvem de pontos ao qual pertence o  $i$ -ésimo elemento.

## **4 - MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 - Dados de IVDN do AVHRR/NOAA**

Os dados quinzenais do IVDN para o período de 1982 - 1999 foram processados pelo GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modeling Studies) da NASA, estando organizados por continente e omitidas informações referentes aos oceanos. Esses dados são derivados dos canais 1 e 2, na banda do visível (0,58 – 0,68 $\mu$ m) e infravermelho próximo (0,725 – 1,10  $\mu$ m) respectivamente, do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dos satélites Meteorológicos da série NOAA. A área de estudo é a região leste do Nordeste que compreendem os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, totalizando uma área de aproximadamente 183.000 Km<sup>2</sup>, na qual foi delimitada com base na Figura 4.1 englobando as seguintes vegetações: Floresta pluvial perenifólia (Mata Atlântica e Hiléia Baiana), Floresta estacional semi-decídua, Floresta decídua (agreste e mata do cipó), vegetação de praias, dunas e restingas.



**Figura 4.1** - Mapa das principais vegetações no Nordeste Brasileiro. (Fonte IBGE, 1985).

#### 4.1.1 - Dados de Precipitação

Foram utilizados dados mensais de precipitação de estações meteorológicas distribuídas na área de estudo dos Estados do Nordeste, cujas séries disponham de períodos coincidentes com os dados de índice de vegetação. Esses se encontram disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, e foram cedidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

laboratórios estaduais de Meteorologia dos Estados do Nordeste e da Ana (Agência Nacional de Água).

#### 4.2 – Metodologia

Os dados remotos de IVDN utilizados neste estudo são composições mensais extraídos dos canais 1 e 2 do sistema de sensores AVHRR/NOOAA, remontados na resolução espacial de  $5,5 \text{ Km}^2 \times 5,5 \text{ Km}^2$  ponto de grade. Para minimizar os efeitos atmosféricos tais como: nuvens, aerossóis, vapor d'água que reduzem o contraste entre as refletâncias no visível e infravermelho próximo, foram utilizadas imagens mosaico que contém o máximo valor do IVDN observado no mês (Gutman, 1991; Braga et al. 2003). Foram desenvolvidos programas computacionais para proceder à navegação, seleção da área de estudo e transformação do sistema de coordenada do satélite (linha e coluna) para ponto de latitude e longitude, assim como, a conversão do counts para valores de IVDN efetuado pela seguinte expressão:

$$\text{DN} = 0 \text{ _____ } 511 \text{ _____ } 1023$$

$$\text{IVDN} = -1 \text{ _____ } 0 \text{ _____ } 1$$

$$\text{IVDN} = (\text{DN} - 511) / 512$$

Os dados de cada ponto de IVDN correspondem aproximadamente uma área de  $30,25 \text{ Km}^2$ . Os mesmos foram organizados sob forma de matriz, onde as linhas são os pontos de IVDN e as colunas são as médias dos anos, perfazendo um total de 216 arquivos mensais, ou seja, 12 meses x 18 anos de dados. Para cada Estado a seguir foram feitos mapas da precipitação pluvial, com o objetivo de avaliar o impacto das precipitações no desenvolvimento da vegetação no setor leste do Nordeste.

### **4.3 - Análise Fatorial e Agrupamento de IVDN**

A análise foi feita utilizando-se as CP's rotacionais, devido estas calcular novas componentes a partir da máxima variância nas quais há maior concentração dos dados originais da série temporal nas CP's pela máxima variância, e não pela característica normalizada como faz as CP's não rotacionadas.

As Componentes Principais (ACP) foi aplicada às matrizes dos dados de IVDN para a região leste que compreendem os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Bahia, para o período 1982 a 1999, obtendo-se assim os fatores comuns temporais e escores espaciais do IVDN pra as regiões selecionadas dos Estados. Fez-se, então, mapas das distribuições espaciais dos fatores comuns (escores) mais significativos de cada região selecionadas conforme o critério de Kaiser, que preserva os fatores cujos autovalores são superiores a unidade (Garayalde et.al., 1986). Os mapas foram confeccionados usando o método de interpolação kringing do Software Surfer. Tal procedimento teve como objetivo definir os padrões de variabilidades espaciais do IVDN no leste do Nordeste. Determinaram-se as regiões homogêneas através do método aglomerativo de K-means aos dados médios anuais do IVDN para cada estado, definiram-se os tipos de vegetação de acordo com os índices calculados e mapa da vegetação. Finalmente, a fração vegetação foi calculada pela quantidade fracionada desta em cada sub-região homogênea.

### **4.4 - Fração Vegetação**

Inicialmente, determinou-se a fração vegetação média anual para o período de 1982 a 1999. A seguir foram selecionados dois anos na década de 80 e dois na década de 90 (1986,1989 1995 e 1996). A seleção destes anos foi baseada na climatologia, ou seja,

anos normais em que os anos anteriores a estes não tenham sido seco para não mascarar o desenvolvimento da vegetação facilitando diagnóstico da mesma.

A fração de cobertura vegetada foi parametrizada através da quantidade de vegetação calculada em cada área homogênea previamente determinada. Assim, a fração vegetada foi estimada por:

$$V_{\text{frac}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{N_t} \quad (4.1)$$

onde,  $n$  é o número total de ponto de grade de cada grupo;

$N_i$  é um ponto de grade ( $5,5 \text{ Km}^2 \times 5,5 \text{ km}^2$ ) que contém o valor positivo do IVDN;

$\sum N_i$ , números de pontos de IVDN em cada grupo;

$N_t$  é o número total de pontos de IVDN da área em consideração.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

São mostrados a seguir os resultados e discussão obtidos através do emprego das técnicas de Análise de Componentes Principais e Agrupamentos para dados de IVDN das áreas selecionadas no leste dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia para o período de 1982 a 1999. Optou-se pelas CP's rotacionadas em vez das não-rotacionadas, porque o método rotacional calcula as novas componentes a partir da máxima variância nas quais há maior concentração dos dados originais da série temporal nas CP's pela máxima variância, e não pela característica normalizada como faz as CP's não rotacionadas. Para determinação das regiões homogêneas empregou-se o método aglomerativo de K-means aos dados médios anuais do IVDN. Enfim a discussão dos resultados teve como base a análise subjetiva dos padrões espaciais dos fatores comuns temporais (escores) e objetivas de agrupamentos.

### **5.1 – Estado da Bahia**

O Estado da Bahia está localizado na porção sul da região Nordeste Brasileira. Faz limites ao norte com Alagoas, Sergipe, Pernambuco e Piauí, a leste com o

Oceano Atlântico, ao sul com os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a oeste com Goiás e Tocantins.

Apresenta uma área de 567.295,3 Km<sup>2</sup> distribuída pelos 417 municípios baianos, com uma população de 13.066.764 habitantes. A maior parte do território (80%) está situada acima dos 200 m de altitude, denotando assim um estado montanhoso. O mais importante rio do Estado é o São Francisco, devido a área da sua bacia, o potencial energético dentre outros; corta o estado no sentido sudoeste-nordeste.

Três unidades de relevo podem ser distinguidas, observando-se o Estado no sentido do mar para o interior, são elas:

- Planície Litorânea: suas terras encontram-se abaixo dos 200 m de altitude, apresentando pequenas elevações, morros e colinas cujos solos são férteis, ocorrendo mais para o interior do Estado.

- Rebordo do Planalto: estão situados a oeste dos morros e colinas da Planície Litorânea. São terrenos bastante acidentados, separando naturalmente a planície litorânea do planalto.

- Planalto: ocupa a maior parte do Estado subdividindo-se em cinco seções distintas:

a- Planalto Sul Baiano: situa-se no sudeste do Estado com altitudes médias variando entre 800 e 900m.

b- Espinhaço: atravessa o Estado no sentido norte-sul em sua região central. Apresenta uma altitude média de 1.300m.

c- Depressão São Franciscana: está a oeste do Espinhaço, ocorrendo também no sentido norte-sul. Apresenta altitudes baixas (400 m) e planas inclinando-se em direção ao rio São Francisco.

d- Planalto Ocidental: sua altitude média é de 850 m, estando localizada na porção oeste do rio São Francisco.

e- Pediplano: ocorre no nordeste do planalto caracterizando-se por superfícies planas com algumas elevações e escarpas isoladas. Possui altitudes que variam entre 200 e 500 m.

A maior parte do Estado é caracterizada por clima quente e úmido subdividindo-se em:

- Clima de Savana: ocorre em quase todo o sertão (interior), exceto ao norte, sendo marcado por chuvas abundantes durante o verão com índice de 1000 mm/ano e período rigoroso de seca durante o inverno, temperaturas médias de 20°C

- Clima Super-úmido: está presente no litoral sul, desde o Recôncavo até o Estado do Espírito Santo não apresentando estação seca. Apresenta índices de chuvas mais elevados cerca de 2000 mm/ano. Temperatura média anual de 23°C.

Em outra porção do Estado observa-se o clima semi-árido quente. Avançando de norte para leste do planalto as chuvas diminuem, chegando a 700 mm/ano. As temperaturas máximas registradas chegam a 25°C (média anual).

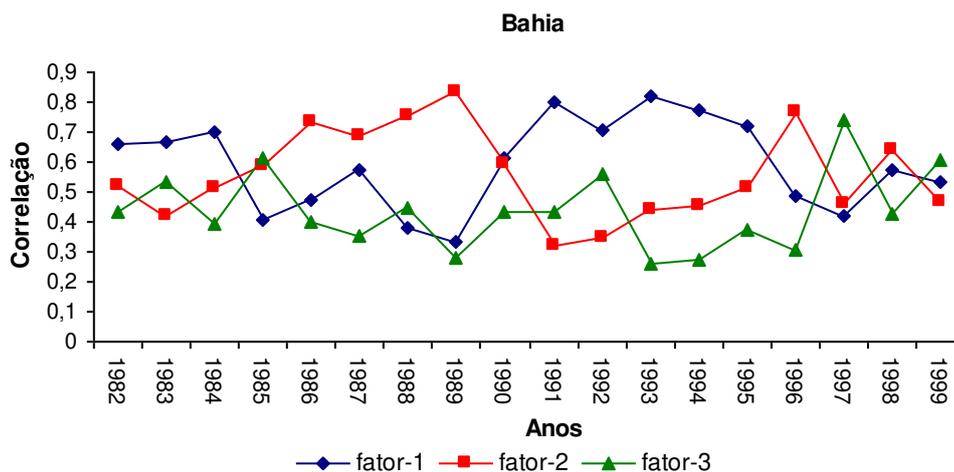
Outra tipologia climática é a tropical de altitude, com área de ocorrência na Chapada Diamantina e no Espinhaço (altitudes superiores a 900 m). Caracteriza-se pelos invernos frescos e verões amenos com temperaturas na faixa dos 18°C (mês mais frios) e 21°C (mês mais quente).

Quanto à vegetação 64% do território é de Caatinga (cactos, pequenas arvores e arbustos) dominando o sertão baiano em especial o norte, Depressão São Franciscana e Espinhaço. Também se faz presente no Estado a floresta tropical, recobrando áreas com arvores frondosas na faixa litorânea e no sudeste. Os campos cerrados, por sua

vez, apresentam árvores de três a cinco metros cobrindo os chapadões do Planalto Ocidental e algumas áreas da caatinga ([www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)).

### **5.1.1 - Análise temporal e espacial do IVDN no Estado da Bahia**

A Figura 5.1.1 ilustra as correlações anuais dos três primeiros fatores comuns temporais que explicam 91% da variância total dos dados. Na Tabela (Anexo A1) constam os autovalores mais significativos segundo critério de Kaiser (Garayalde et al., 1986). Selecionou-se os 3 primeiros fatores, pois estes já explicavam mais de 90% da variância total dos dados. O primeiro fator que explica 37,1% da variância total do IVDN apresenta correlações positivas para todo o período. Observam-se correlações altas em torno de 0,8 para os anos de 1991 e 1993 (Figura 5.1.1). A distribuição espacial associada a este fator comum (Figura 5.1.2a) evidencia núcleos com contribuições em torno de 0,5 em quase toda a região, com exceção de dois núcleos inferiores a -1,5 localizado no extremo norte (latitudes 12°S e 11°S) e noroeste da região. Comparando a distribuição deste fator com a variabilidade espacial do IVDN no leste da Bahia observam-se que nos anos de 1991 e 1993 (Anexo B), dois núcleos com IVDN inferiores 0,3, coincidem com as mínimas contribuições apresentadas pelo primeiro fator, significando portanto, que a vegetação não se desenvolveu bem nestas regiões destes anos. Para as demais áreas do leste da Bahia o IVDN apresentou variabilidade homogênea. A precipitação em 1991 foi em torno da média climatológica, mas mesmo assim o IVDN foi baixo na área destacada pelo fator em 1991. As mesmas considerações são feitas para o ano seco de 1993, com IVDN na mesma ordem de grandeza do ano 1991 nas duas regiões evidenciadas por este primeiro fator.

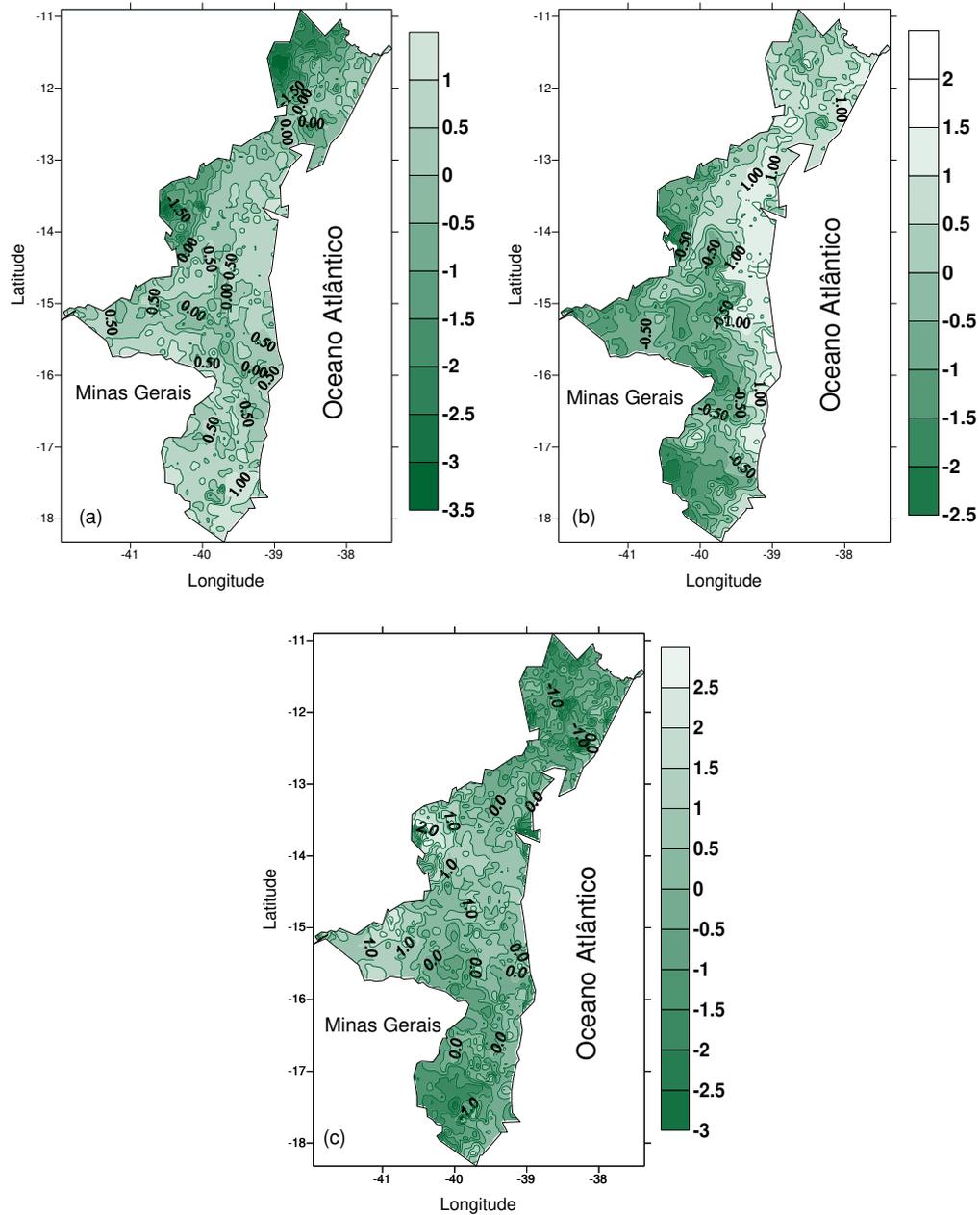


**Figura 5.1.1** - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91% da variância total no leste da Bahia.

O segundo fator comum temporal que explica 33,2% da variância total do IVDN apresenta correlação elevada superior a 0,8 (Figura 5.1.1) para ao ano de 1989. O padrão espacial associado ao segundo fator comum apresenta contribuições acentuada (peso), crescendo de oeste para leste em toda faixa leste da Bahia (Figura 5.1.1b), com máximos superiores a 1,0 na região central do litoral (em torno de 14,32°S e 15,72°S) e mínimos negativos inferiores a -2,0 no oeste (em torno 14,12°S) e extremo sudoeste próximo a 17,32°S de latitude. Analisando a distribuição espacial de IVDN para o ano de 1989 (Anexo A1), observa-se que o IVDN cresce para leste da região e diminui para o interior variando entre 0,34 e 0,58. Nesse ano a chuva na região foi em torno da média registrando núcleos de precipitação de 2100 mm (Braga, 2000), com isto o vigor da vegetação foi maior, conseqüentemente aumentado o IVDN.

O terceiro fator comum explica 20,6% da variância total dos dados anuais do IVDN, está bem relacionada com o ano de 1997, com correlação superior a 0,7(Figura 5.1.1). A distribuição espacial deste fator apresentou contribuições positivas na parte central e negativas no sul e norte com núcleo superior a 2,0 no oeste (Figura 5.1.2c). Contribuições negativas inferiores a -1,0 são encontradas no norte e sudoeste do leste da

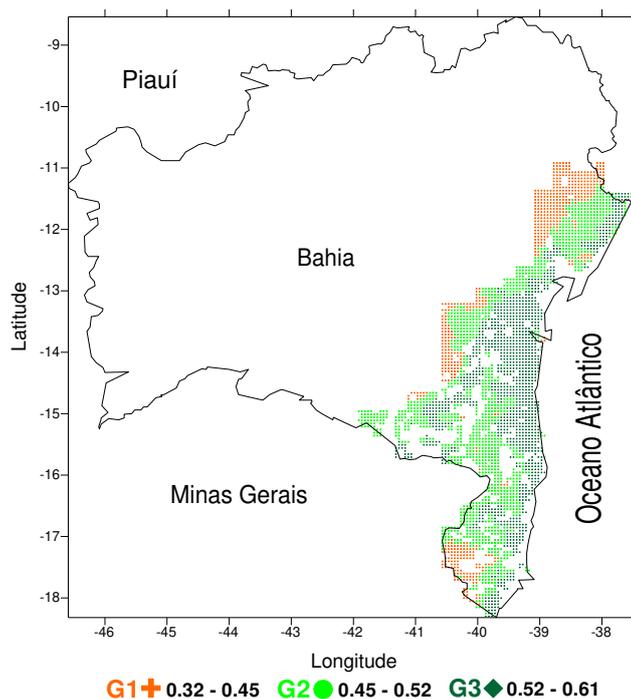
Bahia. Climatologicamente o ano de 1997 foi seco na maior parte do Nordeste motivado pelo evento de El Niño. Analisando a distribuição espacial média do IVDN nesse ano (Anexo B), verifica-se que o mesmo variou de 0,42 a 0,62 no extremo sul (18,12°S) e litoral leste (14,72°S). Este ano embora tenha sido considerado seco no geral em algumas regiões tais como a estudada choveu em torno da média, mantendo o desenvolvimento da vegetação.



**Figura 5.1.2 a,b,c** - Distribuição Espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91% da variância total no leste da Bahia.

### 5.1.2 - Regiões Homogêneas e Fração Vegetação do IVDN no leste da Bahia

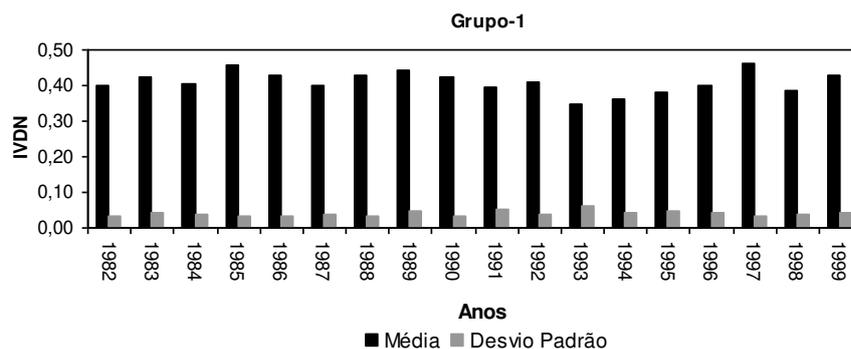
As regiões homogêneas do IVDN foram obtidas através da análise subjetiva dos fatores comuns espaciais e análise objetiva de agrupamento de K-means (Cong e Richaman, 1986). Foi utilizado o método não hierárquico por se tratar de uma grande densidade de dados. Partiu-se do conhecimento prévio da distribuição espacial dos diferentes tipos da cobertura vegetal da região, obtidos de mapas de vegetação do Nordeste (IBGE e SOS Mata Atlântica). Levando em conta as considerações e procedimentos do método empregado a região leste da Bahia foi classificada em três regiões homogêneas em relação a variabilidade interanual do IVDN (Figura 5.1.3). Suas principais características estão descritas a seguir.



**Figura 5.1.3** - Regiões Homogêneas de IVDN no leste da Bahia através do método de agrupamento das médias de K-means.

Grupo1. Corresponde uma área de aproximadamente 18.725 Km<sup>2</sup>, ou seja, 18,6% da fração vegetativa localizada em diversas regiões com maior concentração no norte e sudoeste do

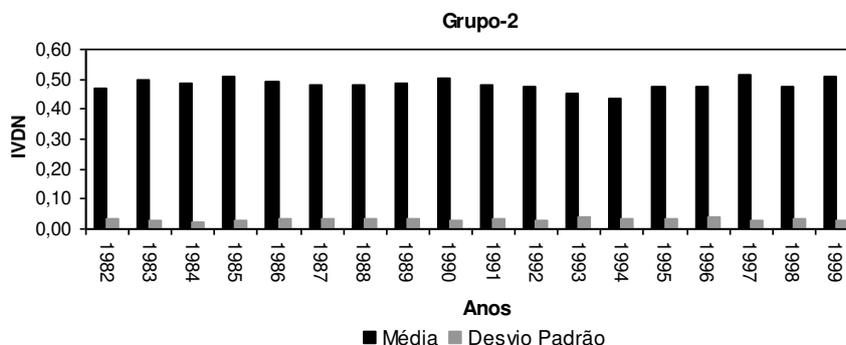
leste da Bahia (Figura 5.1.3). Apresenta IVDN médio anual de 0,41. A Figura 5.1.4a. mostra o comportamento médio anual do IVDN e seus respectivos desvios padrões nesta sub-região. Verifica-se que o máximo 0,45 com desvio de 0,032 ocorreu nos anos de 1985 e 1997 e o mínimo de 0,35 e desvio de 0,0063 em 1993. O ano de 1985 foi muito chuvoso, o qual registrou para a região totais anuais que variaram entre 800 mm e 1000 mm (Braga , 2000). Embora o ano 1997 tenha sido mais seco que 1985, a vegetação nestes dois anos não apresenta variabilidade significativa. Já para o ano de 1993 o IVDN foi menor devido a falta de chuva. A vegetação predominante desta região (grupo 1) é do tipo floresta decídua (agreste) ao norte, mata do cipó a oeste e no extremo sul floresta estacional semi-decídua.



**Figura 5.1.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste da Bahia.

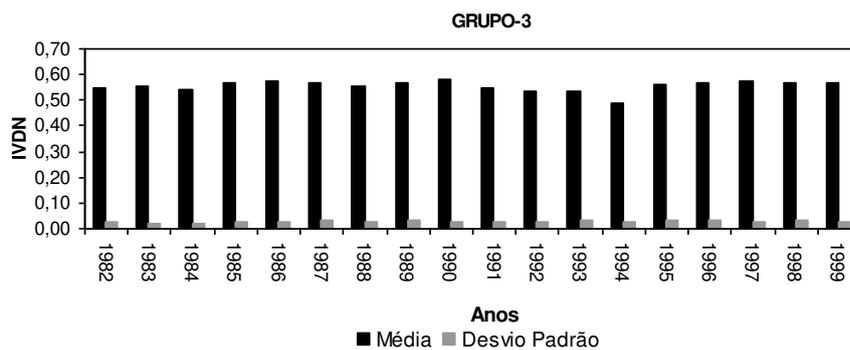
Grupo2. Está localizado na faixa paralela a costa leste acompanhando a zona da mata e penetrando um pouco para o interior do leste próximo da latitude 15,0°S, compreende uma área de aproximadamente 43.953 Km<sup>2</sup> (43,58% de fração vegetação deste grupo) (Figura 5.1.3). Nestas áreas a vegetação predominante é floresta estacional semi-decídua e mata do cipó. A Figura 5.1.4b ilustra a variabilidade média anual do IVDN do grupo 2. Este grupo apresenta NDVI médio de anual de 0,48, mínimo de 0,44 e desvio de 0,034 para o ano de

1994 e máximo de 0,52 e desvio de 0,031 em 1985. Para este grupo os índices são mais homogêneos e valores um pouco mais elevados do que o grupo 1. Isto pode estar relacionado com o tipo de vegetação e chuvas mais regulares.



**Figura 5.1.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste da Bahia.

Grupo 3. Compreende uma área de aproximadamente 38.176 Km<sup>2</sup> (37,9% de fração vegetação) que se estende deste por todo litoral leste da Bahia (Figura 5.1.3). Apresenta IVDN médio anual de 0,56. Na Figura 5.1.4c ilustra o comportamento médio anual do período de 1982-1999 e seus respectivos desvios padrões. O valor máximo 0,58 e desvio padrão de 0,028 se observa no ano de 1990 e mínimo de 0,49 e desvio e 0,027 foi registrado no ano de 1994. Pode-se observar que este grupo apresentou pouca variabilidade anual do IVDN, isto se deve ao fato da vegetação nesta área ser mais densa, ou seja, do tipo floresta pluvial perenifólia (Mata Atlântica).



**Figura 5.1.4c** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste da Bahia.

### 5.1.3 - Fração Vegetação no leste da Bahia

Em cada grupo homogêneo dos diferentes tipos de vegetação determinou-se a fração vegetação, analisando sua evolução ou degradação para os anos selecionados de 1986, 1989, 1995 e 1996.

A fração vegetação foi parametrizada através da quantidade de vegetação que ocupa cada área dos grupos homogêneos dos anos selecionados de 1986, 1989, 1995 e 1996. Estes anos são considerados climatologicamente normais, ou seja, anos em que as precipitações foram em torno ou um pouco acima da média e que os anos anteriores aos mesmos também não tenham sido seco para não mascarar o desenvolvimento da vegetação.

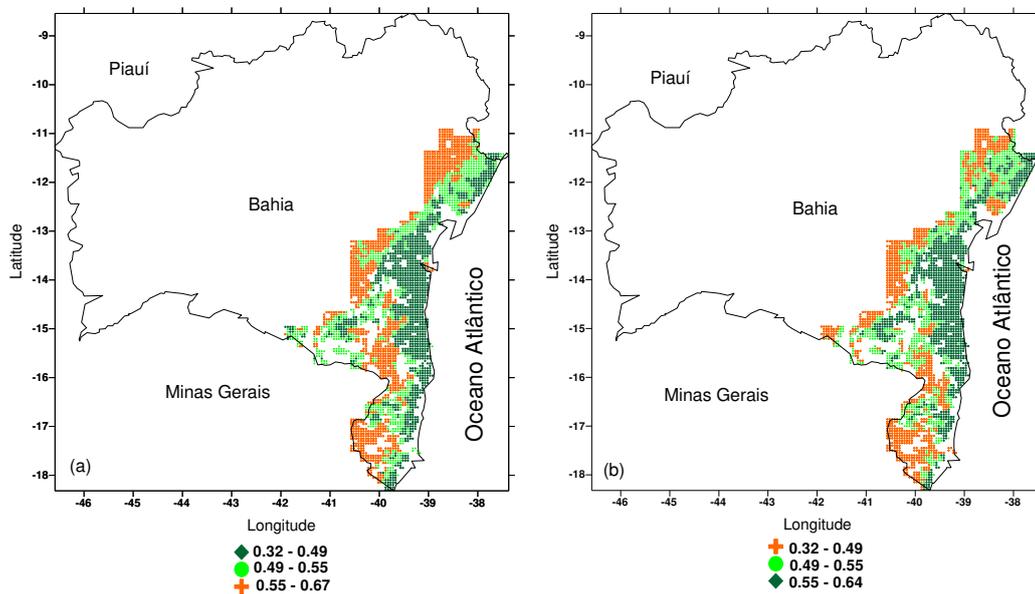
Pela Tabela 5.1 pode-se notar que nos quatros anos selecionados a década de 80 houve uma diminuição de 3% na fração vegetação do grupo 1 com menor IVDN em 86 em relação a 85 e um aumento na fração vegetação com índices de vegetação mais altos nos grupos 2 e 3, significando que houve um ganho da fração vegetação dos grupos 2 e 3. Salienta-se, porém, que este estudo foi baseado apenas na quantidade da fração vegetada obtida em cada ponto de grade de IVDN (5,5 km x 5,5 km) e distribuição espacial da

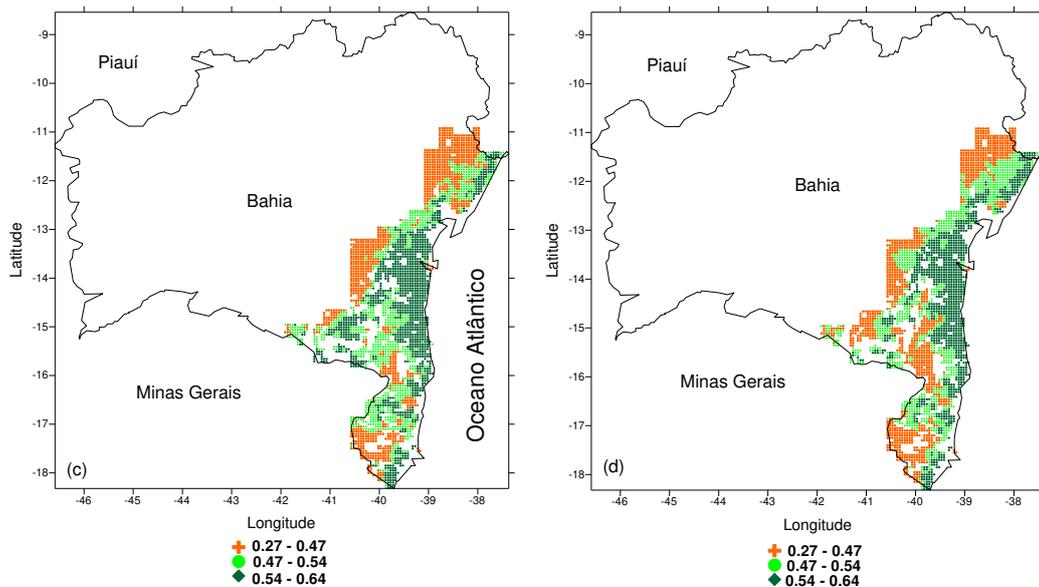
precipitação na região. Já na década de 90 houve uma diminuição da fração vegetada dos grupos 2 e 3 e aumento no grupo 1, de 95 para 96. Observa-se que os limites dos grupos não são os mesmos da década de 80, pois o limite inferior do IVDN é 0,27 e o maior 0,67. De 95 para 96 verificou-se um aumento da fração vegetação de 2,2% do grupo 1, ou seja, aumentou a área com vegetação de pequeno porte. No grupo 3, com valores altos do IVDN, ocorreu uma redução na fração de 2,4%, significando que nos dois anos, embora a vegetação tenha desenvolvido bem, por se tratar de anos climatologicamente normais, com precipitação em torno da média, houve diminuição de pontos de grade do IVDN, significando diminuição da vegetação de maior vigor. Pela análise acima a quantidade da fração vegetação em cada grupo dos anos estudados, a década de 90, indica indícios de degradação na vegetação de maior porte da região leste da Bahia. Os pontos espaços não preenchidos nas Figuras de 5.5 a, b, c, d, correspondem a valores de IVDN negativos ou zeros excluídos no processamento das imagens. Estes valores são atribuídos para solos sem vegetação, nuvens que não precipitam, rochas etc. (Parkinson, 1997). Os valores de IVDN médios interanuais para o leste da Bahia com vegetação tipo agreste, mata do cipó concordam em parte com os obtidos por Batista et al. 1993 e Braga, 2000.

Os resultados mostraram que para o Estado da Bahia na década de 80 houve uma redução da área de vegetação caatinga e aumento da fração vegetação da área sub-litorânea e litorânea. Já na década de 90 a situação não foi a mesma, havendo uma redução da área fração vegetação do litoral e aumento de caatinga, conforme indicado na Figura 5.1.5a,b,c,d.

**Tabela 5.1** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste da Bahia nos anos de 86, 89, 95, e 96.

Fração vegetação (IVDN)	G-1(0,32-0,49)	G-2(0,49-0,55)	G-3(0,55-0,67)
1986	35,7%	29,8%	34,4%
1989	32,7%	32,7%	34,6%
Fração vegetação (IVDN)	G-1(0,27-0,47)	G-2(0,47-0,54)	G-3(0,54-0,64)
1995	32,9%	31,8%	35,3%
1996	35,1%	32,0%	32,9%





**Figura 5.1.5 a,b,c,d** – Fração Vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste da Bahia nos anos de 1986,1989,1995 e 1996.

## 5.2 - Estado de Sergipe

O Estado de Sergipe possui uma área de 22.050,4 Km<sup>2</sup>, está situado na região Nordeste do Brasil, faz limites com os Estados de Alagoas (Norte) e Bahia (Sul e Oeste) e com Oceano Atlântico (Leste). Apresenta-se com 86% de sua área inferior a altitude de 300 m, sendo, portanto seu relevo relativamente baixo, se comparado com outros estados do Nordeste. Compõem fisicamente o território da Zona da Mata (Baixada Litorânea), Agreste (interior do Estado) e Sertão (restringe-se porção noroeste do Estado).

O rio mais importante do estado é o São Francisco, localizado na fronteira de Sergipe com Alagoas. No litoral do Estado, em sua porção norte encontram-se pequenas lagoas, sendo algumas encontradas próximas às margens do rio São Francisco.

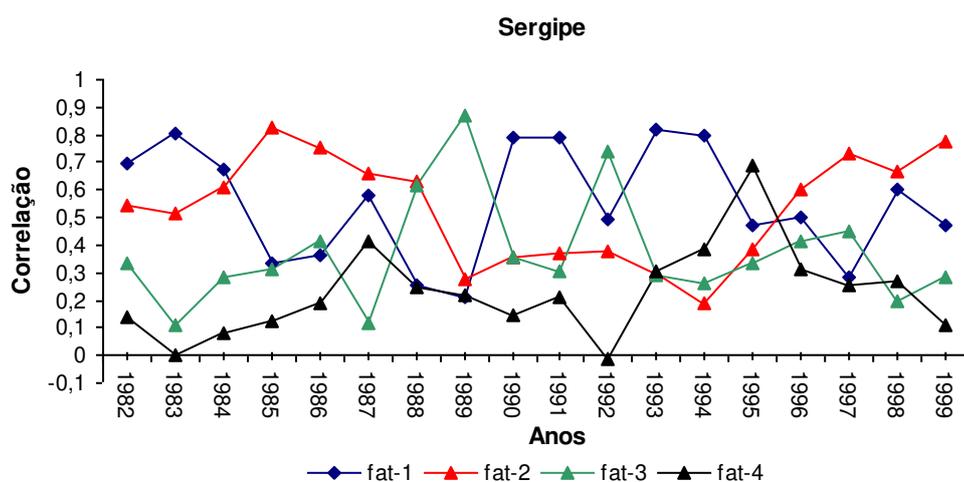
O clima do Estado é caracterizado como tropical quente úmido e semi-árido quente que ocorrem em regiões distintas . O tropical quente, úmido e sub-úmido ocorrem na porção leste e Zona da Mata caracteriza-se por apresentar chuvas de outono-inverno com total anual de precipitação em torno de 1.200 mm e temperaturas superior a 20°C. Já o

semi-árido quente ocorre no interior mais especificamente no agreste e sertão. As temperaturas são elevadas e o regime pluviométrico apresenta, em geral índices inferior a 1000 mm/ano.

A região da Zona da Mata, apesar de devastada, ainda apresenta exemplares da floresta tropical. Nas áreas de Agreste surge a vegetação de transição, de floresta tropical para caatinga. A caatinga por sua vez, tipifica o Sertão com cactos, arvores e arbustos de pequeno porte próprio do sertão nordestino ([www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)).

### 5.2.1 - Análise temporal e espacial do IVDN para o Estado de Sergipe

A seguir são discutidos os resultados referentes aos quatro primeiros fatores comuns espaciais que explicam 91,6% da variância total dos dados. O primeiro fator que explica 34,64% apresenta correlações superior ou igual a 0,8 em 1983 (Figura 5.2.1). O padrão espacial deste primeiro fator evidencia núcleos inferiores a -0,5 em diferentes áreas da região leste de Sergipe conforme indicado na Figura 5.2.2a. Núcleos positivos superior a 0,5 nas regiões central nordeste, leste e sudoeste.

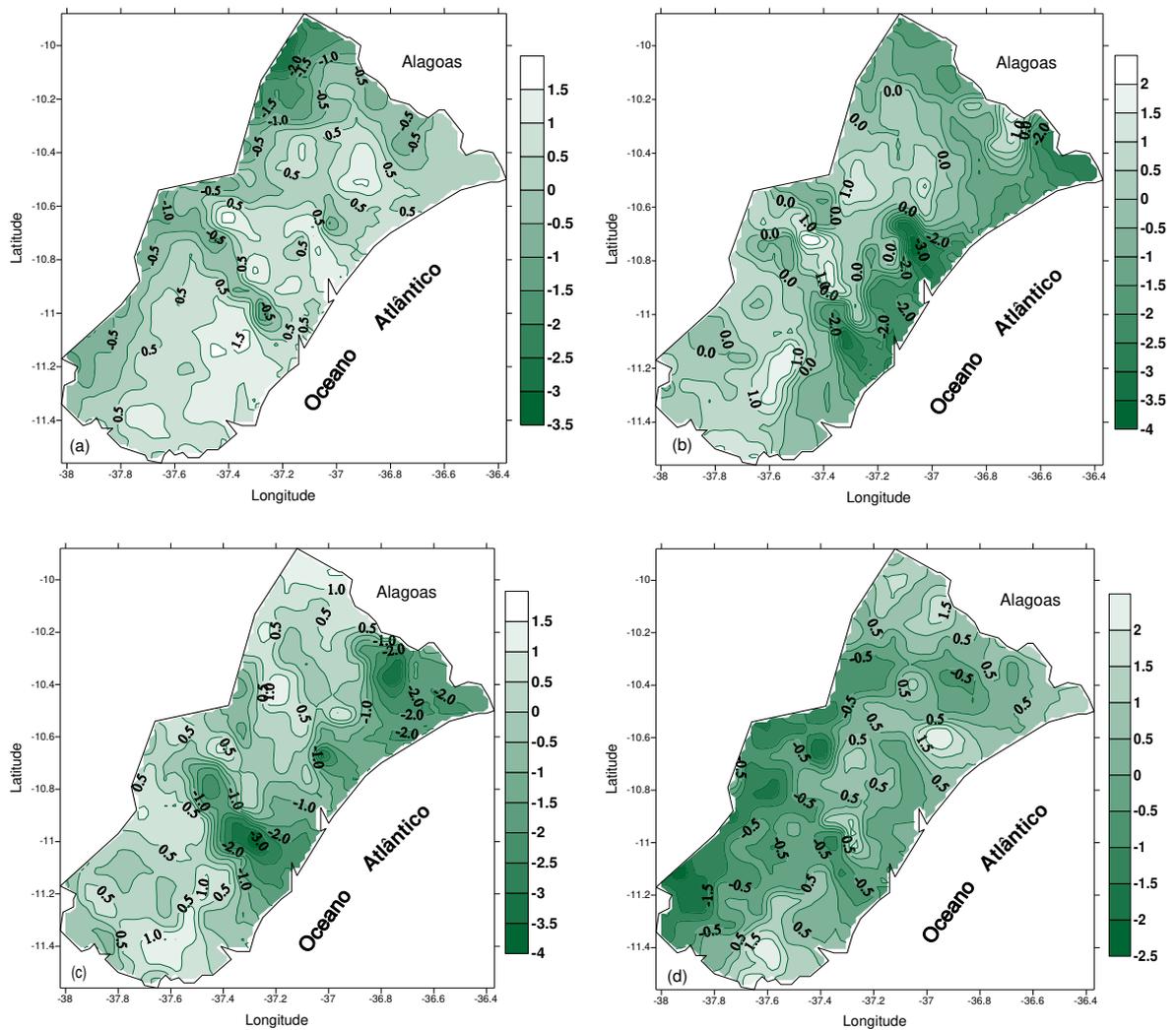


**Figura 5.2.1** – Quatro primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91,6% da variância total no leste de Sergipe.

O segundo fator comum temporal que explica 31,85% da variância total dos dados anuais do IVDN apresenta correlação elevada superior ou igual a 0,8 em 1985 (Figura 5.2.1). A distribuição espacial associada a este fator apresenta contribuições de zero a 1,0 na maior parte da região, com exceção de pequenos núcleos de contribuições negativas elevadas superiores a -3,0 próximas ao litoral leste e sudeste do estado (em torno da latitude 10,44°S, 10,76°S e 11,16°S) (Figura 5.2.2b). O fator dois evidenciou o ano chuvoso de 1985, com totais anuais que variam de 900 mm ao norte e 2300 mm ao sul do leste do Estado (Anexo C). Os maiores valores do IVDN estão localizados nas regiões de maiores índices pluviométricos.

O terceiro fator comum temporal que explica 17,46% da variância total média anual do IVDN apresenta correlações alta superior a 0,8 em 1989 (Figura 5.2.1). A distribuição espacial deste fator (Figura 5.2.2c) se assemelha ao do ano de 85 com núcleos negativos superiores a -3,0 nas mesmas regiões mostradas pelo segundo fator. As distribuições anuais da precipitação em 89 aumenta de norte a sul em direção ao interior, registrando um máximo de 2500 mm (entre as latitudes de 10,84°S e 11,0°S). Os máximos valores do IVDN da ordem de 0,56 são encontrados no extremo sul da região (Anexo C). Finalmente o quarto fator comum temporal explica apenas 7,70% da variância total dos dados, apresenta correlações mais significativas de 0,7 em 95. A distribuição espacial deste fator apresenta maior variabilidade na parte oeste com contribuições negativas inferior a -1,0 e superior a 1,5 em dois núcleos no sul e centro leste.

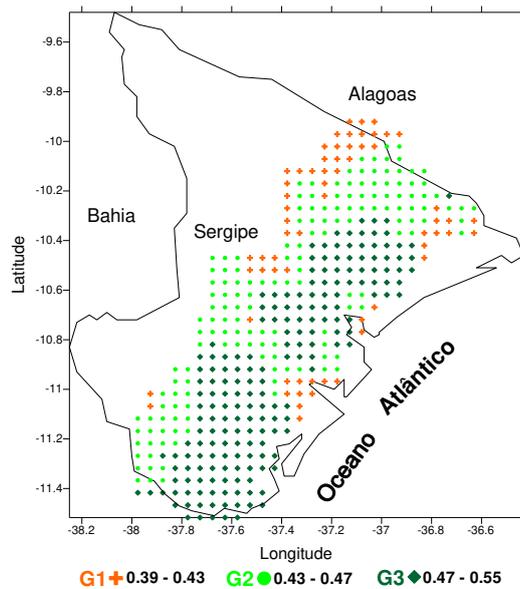
Os dois primeiros fatores comuns espaciais evidenciaram os anos extremos de 1983 e 1985 e o terceiro e quarto os anos normais de 1989 e 1995.



**Figura 5.2.2 a,b,c,d** - Distribuição espacial dos quatro primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91,6% da variância total no leste de Sergipe.

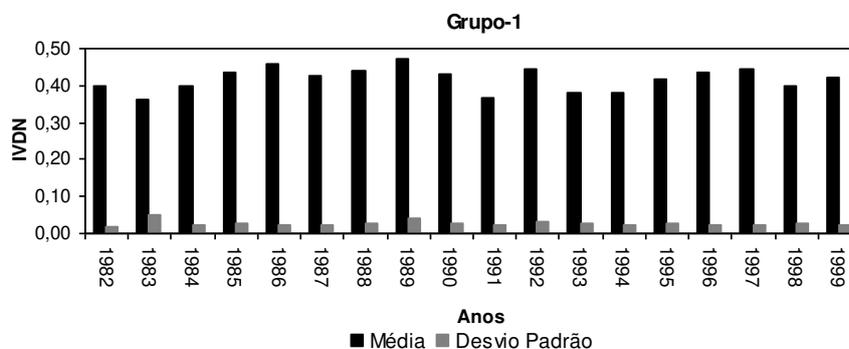
### 5.2.2-Regiões Homôneas e Fração Vegetação do IVDN no leste de Sergipe

A Figura 5.2.3 ilustra as três regiões homogêneas do IVDN para o Estado de Sergipe obtido pelo método de agrupamento de K-means, conforme descrito para o leste da Bahia.



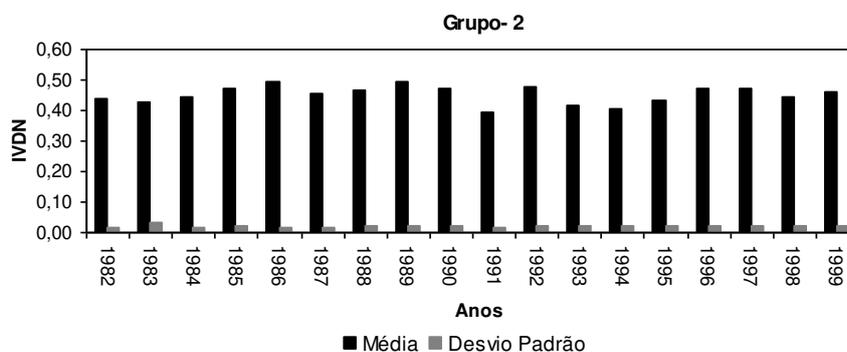
**Figura 5.2.3** - Regiões homogêneas de IVDN no leste de Sergipe através do método de agrupamento das médias de K-means.

Grupo 1. Corresponde a uma área de 1.906 Km<sup>2</sup>, ou seja, 15,52% da vegetação existente na região, com media anual de 0,42, mínimo de 0,39, máximo de 0,43 (Figura 5.2.3). A Figura 5.2.4a ilustra o comportamento médio anual do IVDN. O ano de 1983 apresenta uma media de 0,36, e desvio padrão de 0,051, sendo este um ano muito seco (El Niño forte), com totais pluviométricos (Anexo C), variando de 500 mm a 1400 mm, resultando em baixo IVDN e alta variabilidade no decorrer do ano. O máximo ocorreu em 1989. A vegetação deste grupo é composta por vegetação de transição, ou seja, de floresta tropical para caatinga.



**Figura 5.2.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Sergipe.

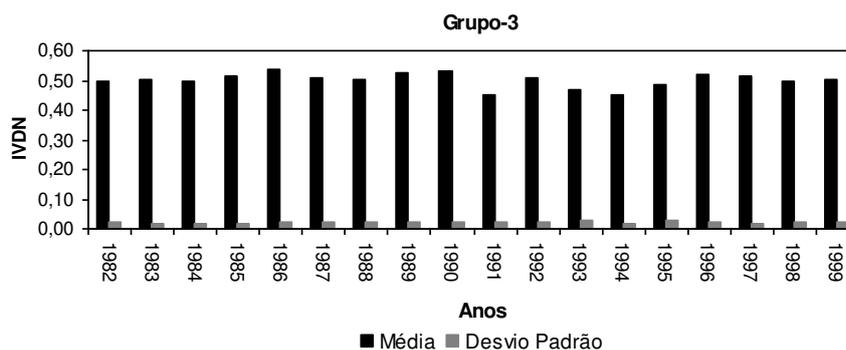
Grupo 2. Apresenta uma área aproximadamente de 4.689 Km<sup>2</sup>(38,2% da vegetação), com IVDN máximo de 0,47 e mínimo de 0,43 e média anual de 0,45 (Figura 5.2.3). O menor IVDN médio de 0,39 observado neste grupo foi em 1991 e máximo em 1986 e 1989 (Figura 5.2.4b). Neste ano os índices pluviométricos foram em torno da media climática, porém o mesmo foi precedido de um ano seco, possivelmente a vegetação não tenha se recuperado totalmente da seca de 1990, produzindo valores menores do IVDN. Este grupo tem os menores valores do IVDN de todo o período estudado e pouca variabilidade anual. O ano de 1986 foi bastante chuvoso, registrando totais pluviométricos variando de 1000 mm a 2300 mm na região (Anexo C), aumentando o IVDN médio anual. Este grupo é geograficamente bem dispersado, pois se apresenta em diferentes partes da região de estudo de Sergipe.



**Figura 5.2.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Sergipe.

Grupo3. Localiza-se na região do litoral (Figura 5.2.3) com uma área de 5.687 Km<sup>2</sup> (46,3% de fração vegetada distribuída na região), apresenta IVDN médio anual de 0,50 com mínimo de 0,47 e máximo de 0,55. Analisando os anos de 1991 e 1994 (Figura 5.2.4c),

observa-se que os dois anos apresentam a mesma média 0,45 com desvio padrão de 0,025 e 0,020 respectivamente. Nestes anos as chuvas ocorreram em torno da média, em 1994 o IVDN apresentou variabilidade menor do que os grupos 1 e 2, significando que a chuva foi melhor distribuída . A vegetação predominante deste grupo é a floresta tropical (zona da mata).



**Figura 5.2.4c** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste de Sergipe.

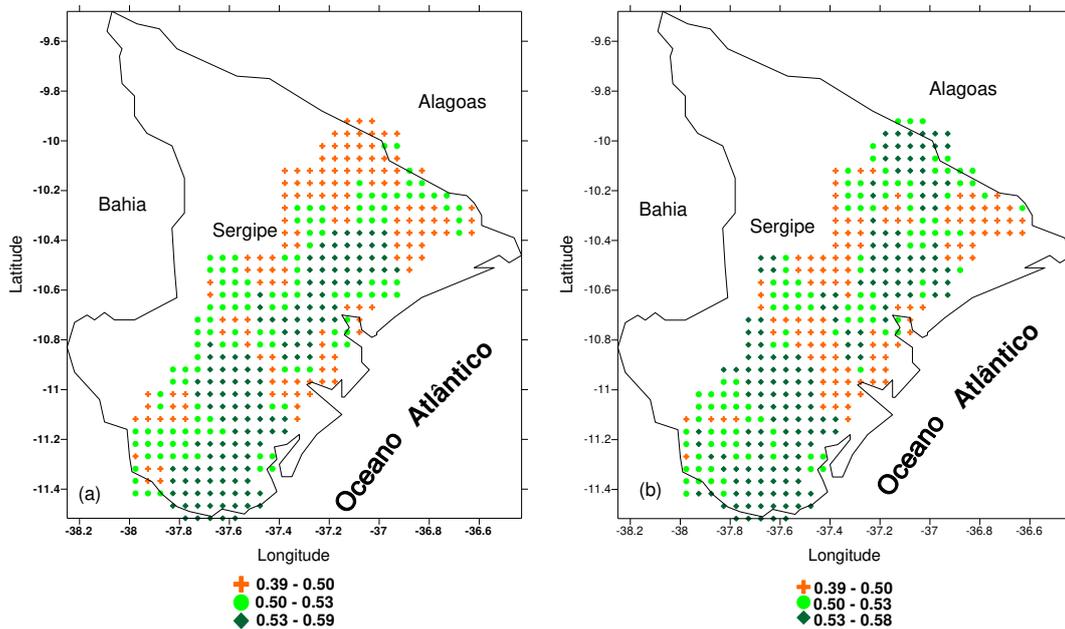
### 5.2.3 – Fração Vegetação no leste de Sergipe

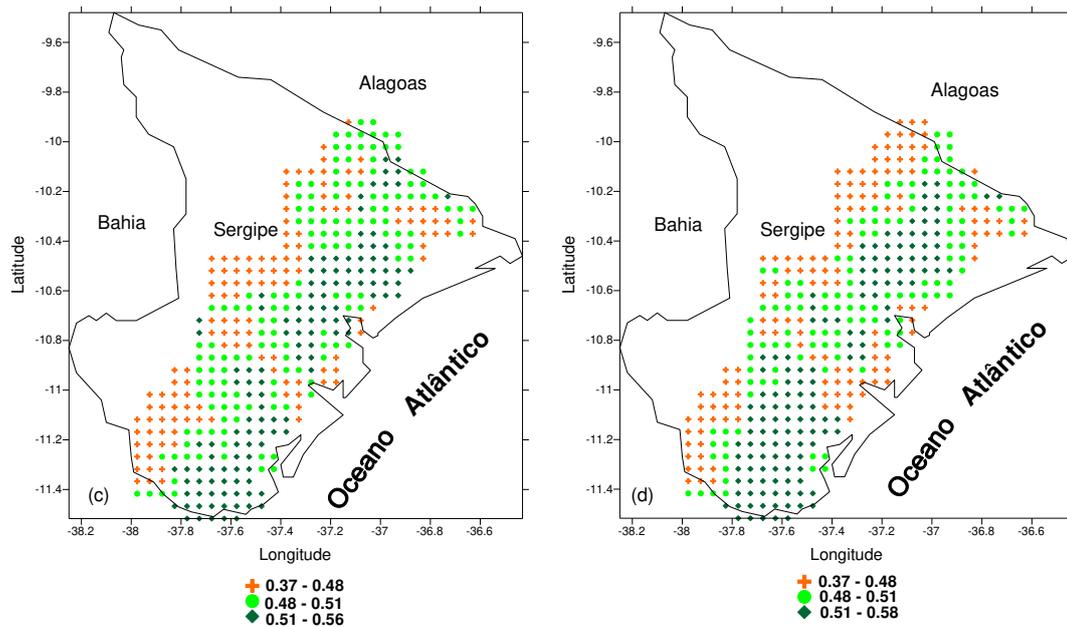
A Tabela 5.2 mostra a fração vegetação para os anos de 1986, 1989, 1995 e 1996. No ano de 1986 o grupo 1 com IVDN entre 0,39 e 0,50, houve uma redução da fração vegetação de 5,9% em relação a 1989. No segundo grupo com IVDN variando de 0,50 a 0,53 também houve uma redução da fração vegetação de 3% em 1989. No grupo 3 com IVDN entre 0,53 e 0,59 a fração vegetação aumentou em 1989 de 8,9%, significando que o grupo 3 teve uma expansão considerável da fração vegetação. Na década de 1990 nos anos de 1995 e 1996 os grupos 1 e 3 aumentaram a fração vegetada, e o grupo 2 reduziu em 5,7% sua fração vegetação. Diante das análises efetuadas nas duas décadas observa-se que na década de 80 houve um aumento considerável da fração vegetação na

área próxima ao litoral. Esses ganhos e perdas nas duas décadas podem esta associados com a quantidade de chuvas, condições naturais e atividade humana.

**Tabela 5.2.** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste de Sergipe nos anos de 86, 89, 95, e 96.

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,39-0,50)	G-2(0,50-0,53)	G-3(0,53-0,59)
86	34,7%	31,3%	34,0%
89	28,8%	28,3%	42,9%
Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,37-0,48)	G-2(0,48-0,51)	G-3(0,51-0,58)
95	32,0%	36,7%	31,3%
96	34,5%	31,0%	34,5%





**Figura 5.2.5 a,b,c,d** –Fração Vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de Sergipe nos anos de 1986,1989,1995 e 1996.

### 5.3 - Estado de Alagoas

O Estado de Alagoas possui uma área de 27.933,1Km<sup>2</sup>, faz fronteira ao norte e noroeste com Pernambuco, ao sul com Sergipe, a leste com o Oceano Atlântico e a sudoeste com a Bahia na confluência dos rios Moxotó e São Francisco. Sendo marcado por baixas altitudes, 1% do território está acima dos 600 m, 61% abaixo dos 200 m e 86% abaixo dos 300 m. Apresenta quatro unidades geomorfológicas, a saber:

- Baixada Litorânea: prolonga-se da fronteira com Pernambuco até as margens do rio São Francisco em uma largura de 25 km aproximadamente.
- Pediplano: ocupa a maior parte do interior do Estado são relativamente planos, pequenas ondulações formam serra e picos, algumas dessas ondulações se destacam, como a de Serra da Mata Grande e de Água Branca no oeste do Estado.
- Encosta Meridional do Planalto da Borborema: está situado na região centro-norte; corresponde a 1% do território com altitudes superiores a 600 m.

- Planícies Aluviais ou Várzeas: tem sua ocorrência registrada ao longo dos rios da região, estendendo-se até a planície costeira e o delta do São Francisco.

Merece destaque na região o rio São Francisco, que serve como divisa natural entre os Estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. No litoral, há várias lagoas que se formam próximo à desembocadura dos rios, algumas mais importantes como a Manguaba (maior do Estado), Mundaú, Rateio, Jequiá e Poxim.

Alagoas caracteriza-se por apresentar clima quente úmido na maior parte do Estado, com temperaturas na faixa do 24°C. A época em que as chuvas são mais frequentes e abundantes é no outono-inverno, atingindo índices superiores a 1.400 mm por ano. Na porção oeste os ventos úmidos vindos de sudeste são retidos pelas serras, o que vem a provocar chuvas, amenizando desta forma o clima semi-árido. O índice pluviométrico nesta região é menor que as demais regiões do estado. Sua cobertura vegetal é composta por três tipologias vegetacionais que pode ser traduzido em três tipos de vegetação ou formações que são:

Floresta Tropical: ocorre na baixada litorânea e na encosta da Borborema; sendo composta por mata de árvores frondosas.

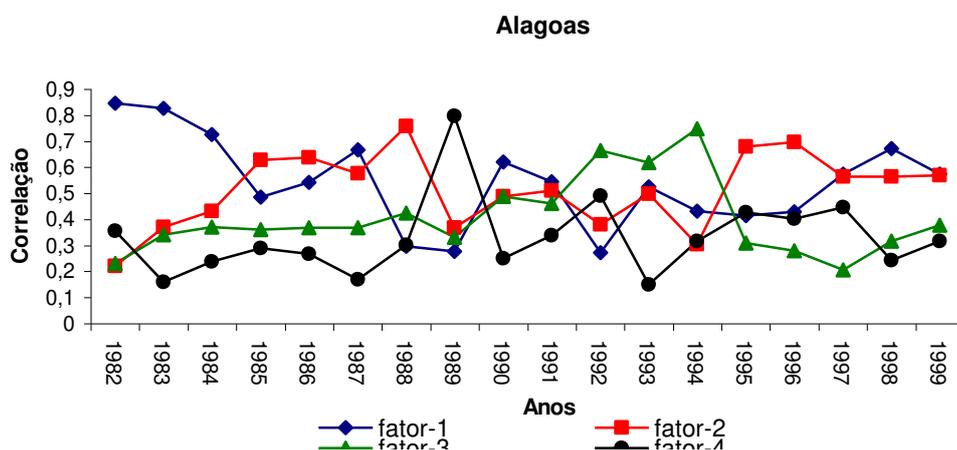
Agreste: situa-se na parte central do estado, entre as áreas de clima úmido e semi-árido; é formada por vegetação de transição – espécie da floresta tropical e da caatinga.

Caatinga: encontrada no oeste da região leste; árvores de pequeno porte e arbustos ([www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)).

### **5.3.1 - Análise temporal e espacial do IVDN no Estado de Alagoas**

Os quatro primeiros fatores comuns temporais explicam 91,7% da variância total dos dados. O primeiro fator temporal do IVDN que explica 31,94% da

variância total apresenta correlações importantes, superiores a 0,8 nos anos de 1982 e 1983 (Figura 5.3.1). A distribuição espacial correspondente a este fator (Figura 5.3.2a), têm contribuições negativas inferiores a -1,0, no sul e sudoeste da região, nas demais áreas são positivas variando entre 0,5 a 1,2. A distribuição espacial do IVDN nos anos de 1982 e 1983, são semelhantes com mínimos inferiores a 0,38 no sul e oeste e máximos superiores a 0,48 em vários núcleos distribuídos no restante da região leste de Alagoas. Os totais pluviométricos em torno 400 mm são encontrados no oeste, nas demais áreas as chuvas são superiores a 600 mm atingindo máximo no litoral leste e nordeste. Salienta-se que em 1983 esses totais foram bem menores nas áreas litorâneas.



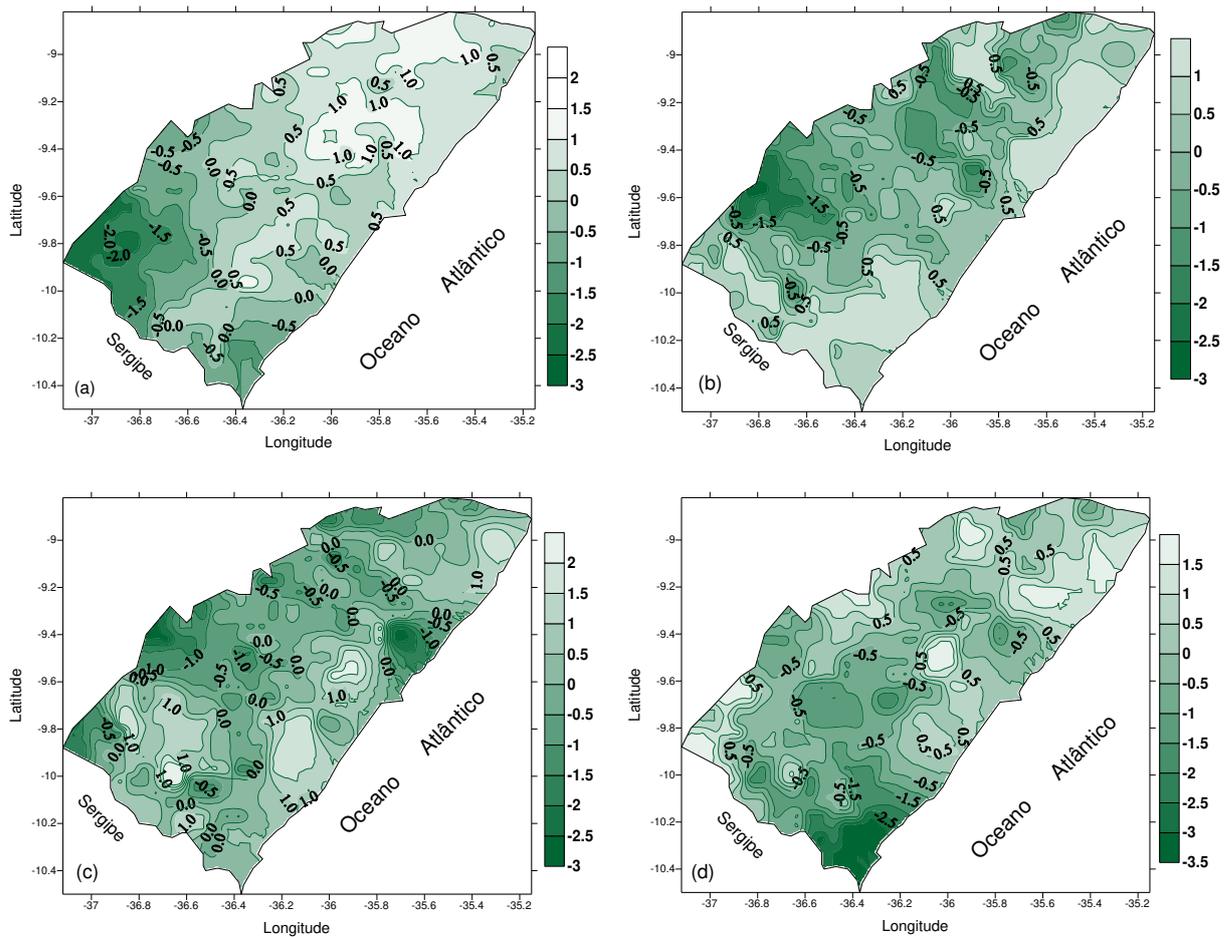
**Figura 5.3.1** - Quatro primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 91,7% da variância total no leste de Alagoas.

O segundo fator comum temporal que explica 28,3% da variância total do IVDN apresenta correlações da ordem de 0,7 em 1988 (Figura 5.3.1). A distribuição espacial associada a este fator, apresenta núcleos negativo inferior a -0,5, em distintos núcleos na região central oeste (Figura 5.3.2b). Contribuições positivas superiores a 0,5, são observados no nordeste, noroeste e sul-sudeste da região. Nas demais áreas contribuições são nulas, ou seja, distribuição homogênea do IVDN. Nas regiões de pesos nulos o IVDN oscila entre 0,41 e 0,45, com valores mínimos de 0,35 no extremo oeste e máximo no central sudeste, noroeste e nordeste do leste de Alagoas. Os maiores e menores

valores do IVDN coincidem com os maiores e menores índices pluviométricos como pode ser visto nas Figuras (Anexo D).

O terceiro fator comum temporal que explica 18,27% da variância total dos dados do IVDN, apresenta correlação mais elevada da ordem de 0,7 em 1994 (Figura 5.3.1). A distribuição espacial associada a este fator, apresenta três pequenos núcleos negativos inferior a -1,0, sendo dois no oeste e um no leste da região. Núcleos com contribuições positivas superior a 1,0, são observados no sudeste, nordeste e centro sudoeste, nas demais áreas as contribuições são quase todas nulas (Figura 5.3.2c). As contribuições nulas evidenciam uma zona de transição do IVDN, separando o agreste e litoral do estado (Figura 5.3.2, c). O mesmo é detectado pelo segundo fator (Figura 5.3.2, b). A distribuição espacial do IVDN médio tem comportamento semelhantes a distribuição espacial do fator 3 em 1994 (Anexo D).

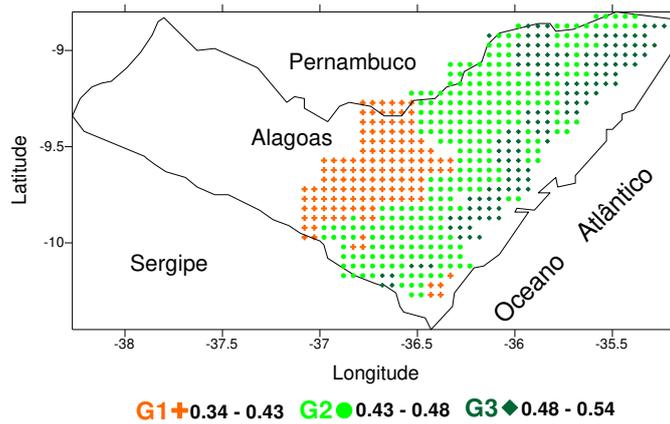
Finalmente o quarto fator comum temporal destaca o ano de 1989 com correlação da ordem de 0,8. O padrão espacial deste fator evidencia uma grande área com contribuições negativas variando de -0,5 a -3,5 em quase toda área com exceção de pequenos núcleos nas áreas centro leste, noroeste, oeste, com contribuições positivas maiores que 0,5 (Figura 5.3.2, d). IVDN variando de 0,46 no oeste e sul a 0,56 no norte e nordeste da região (Anexo D). O ano de 89 foi um ano chuvoso em toda parte com totais pluviométricos acima de 1200 mm.



**Figura 5.3.2 a,b,c,d** - Distribuição espacial dos quatro primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 91,7% da variância total no leste de Alagoas.

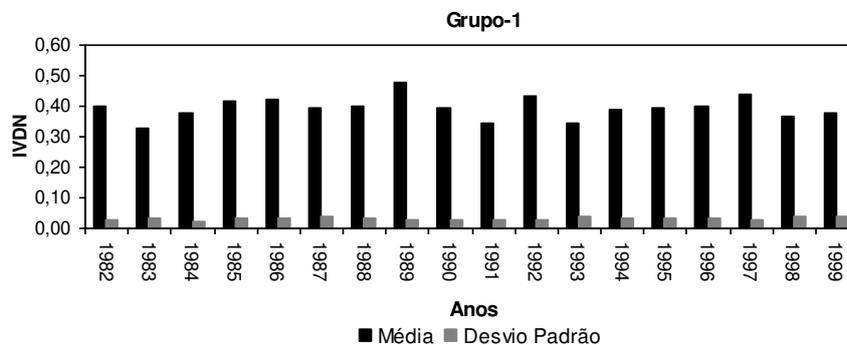
### 5.3.2 - Regiões Homôneas e Fração Vegetação do IVDN no leste de Alagoas

A Figura 5.3.3 apresenta as regiões homogêneas do ponto de vista IVDN no leste de Alagoas. Seguindo a mesma metodologia do método de agrupamento das médias K-means. O leste do Estado de Alagoas foi subdividido em três regiões homogêneas do IVDN, as quais suas principais características estão descritas a seguir.



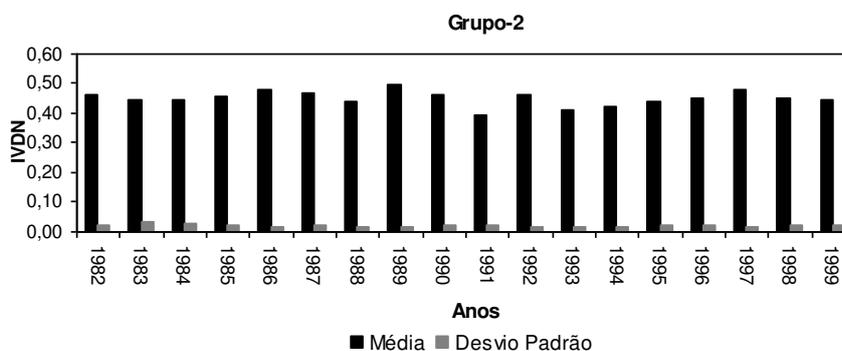
**Figura 5.3.3.**-Regiões homogêneas de IVDN no leste de Alagoas através do método de agrupamento das médias de K-means.

Grupo 1. Situado a oeste da região estudada, possui área de 3.963 km<sup>2</sup>, ou seja, 24,62% da fração vegetação (Figura 5.3.3). O IVDN deste grupo tem média anual de 0,39, mínimo de 0,34 e máximo de 0,43. O menor valor médio do IVDN de 0,33 e desvio de 0,036, foi observada em 1983 (Figura 5.3.4a). Os baixos índices pluviométricos na região contribuíram para os baixos valores do IVDN na região. A maior média do grupo da ordem de 0,48 e desvio padrão de 0,026, foi encontrado em 1989, favorecido pelos altos índices pluviométricos na região (Anexo D). A vegetação predominante nesta área é composta por árvores de pequeno porte e caatinga de varias espécies apresentando, portanto, os menores IVDN e maior variabilidade temporal da área selecionada.



**Figura 5.3.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.

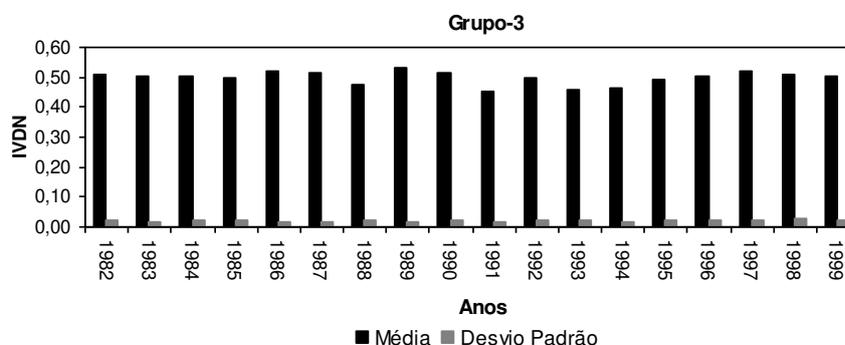
Grupo 2. Compreende uma área de 8.228 Km<sup>2</sup>, ou seja, 51,13% da fração vegetação (Figura 5.3.3), com IVDN médio anual de 0,45, mínimo de 0,43 e máximo de 0,48. A Figura 5.3.4b do comportamento anual do IVDN, destaca o ano 1991 com menor média de 0,40 e desvio padrão de 0,024, embora tenha chovido em torno da media a vegetação apresentou baixo valores do IVDN. Em 1989 como no grupo anterior apresentou maior média de 0,50. A vegetação predominante deste grupo é formada por floresta de transição e caatinga, apresenta menor variabilidade anual do que o grupo 1, devido ao tipo de vegetação e chuvas mais regulares.



**Figura 5.3.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.

Grupo 3. Compreende quase toda a faixa do litoral exceto uma pequena área no sul, com área de aproximadamente 3.902 Km<sup>2</sup>, ou seja, 24,25% da fração vegetação. A média anual do IVDN é 0,50, mínimo de 0,48 e máximo de 0,54 (Figura 5.3.3). A Figura 5.3.4c ilustra o comportamento médio anual do IDVN do grupo 3, pode-se observar menor valor em 1991 da ordem 0,45 desvio padrão de 0,019. Para todas as regiões homogêneas os máximos médios foram em 1989 com menores desvios padrões. Pelo visto em 1989, em todas as regiões as chuvas foram mais regulares e variabilidades menores. Neste grupo a

vegetação predominante é a floresta formada por matas de árvores frondosas e IVDN maior do que dos grupos 1 e 2.



**Figura 5.3.4c** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste de Alagoas.

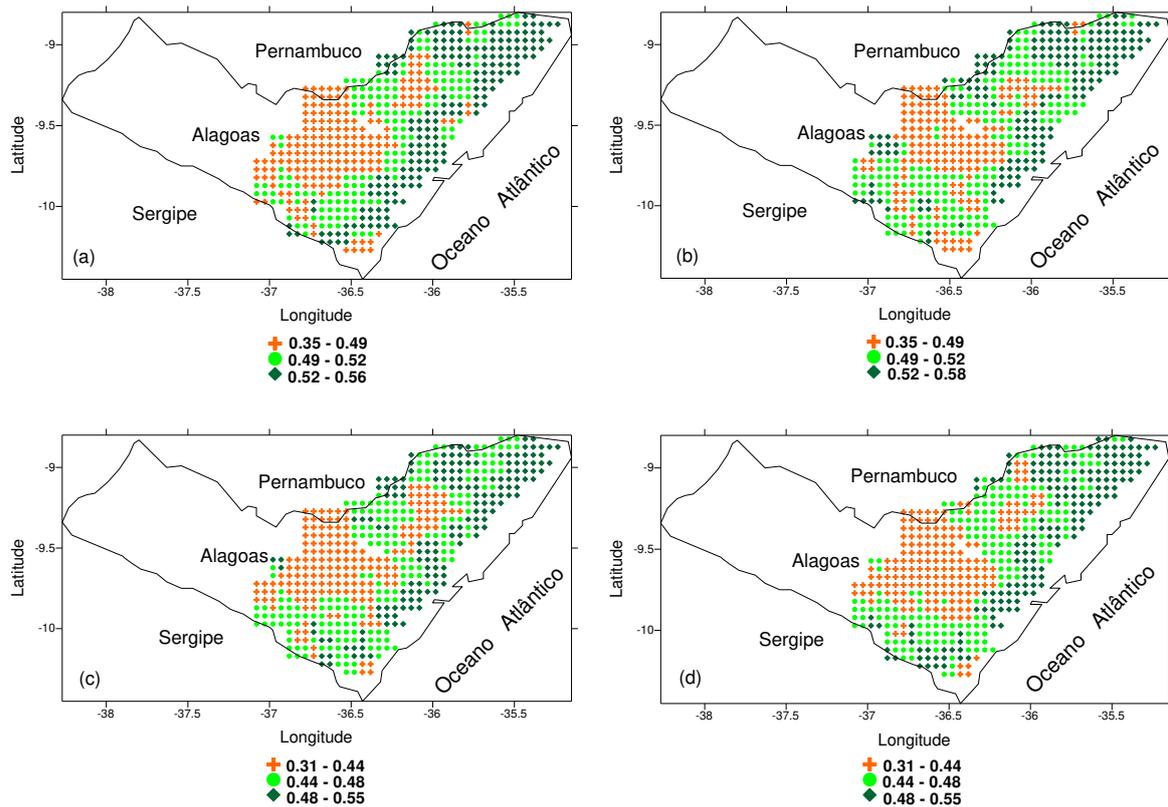
### 5.3.3 - Fração Vegetação no leste de Alagoas

A Tabela 5.3 consta os grupos homogêneos, fração vegetação e intervalos do IVDN nas décadas de 1980 e 1990. Na década de 1980 o grupo 1 com IVDN variando entre 0,35-0,49 a fração vegetação foi reduzida de 4,5% em 1989. O grupo 2 intermediário registrou um aumento de 6,1% em 1989 e o grupo 3 com IVDN entre 0,52-0,58, foi reduzido em 1,6% em 1989. Nesta década a fração vegetada da região agreste (grupo 2) teve um aumento significativo e a fração vegetação da caatinga (grupo 1) teve uma redução, ou seja, houve evolução em 1989 da área da fração do grupo 2 com índices maiores. No grupo 3 de maiores valores do IVND, a redução pode ter ocorrido por causa da grande quantidade d'água em 1989, aumentando a refletância no infravermelho, conseqüentemente, diminuindo os valores do IVDN fazendo com que o grupo 2 fosse aumentado.

Na década de 1990, os valores do IVDN foram bem menores quando comparados com a década de 1980. A área correspondente ao grupo 1 a fração vegetação ficou praticamente a mesma nos dois anos. O grupo 2 a redução da fração vegetação foi 1,8% em 1996, no grupo 3 teve aumento de 1,6%. Observa-se que, para todos os grupos homogêneos os valores de IVDN na década de 1990 foram comparativamente menores do que nos anos 1980. Baseado nos índices pluviométricos das duas décadas estudadas e no comportamento médio anual dos IVDN nas referidas décadas pode está relacionado com a chuva, ação natural e atividades humana. Ante o exposto podemos dizer que a década de 1980 houve uma evolução na área central (Agreste) do leste do Estado de Alagoas e diminuição da mesma área na década de 1990. Observa-se que como o estado é pequeno a região selecionada engloba quase 50% da área total, logo a vegetação é bastante variada e índices relativamente altos.

**Tabela 5.3** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste de Alagoas nos anos de 86, 89, 95 e 96.

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,35-0,49)	G-2(0,49-0,52)	G-3(0,52-0,58)
86	34,3%	31,0%	34,7%
89	29,8%	37,1%	33,1%
Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,31-0,44)	G-2(0,44-0,48)	G-3(0,48-0,55)
95	32,6%	37,3%	30,1%
96	32,8%	35,5%	31,7%



**Figura 5.3.5 a,b,c,d** – Fração Vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de Alagoas nos anos de 1986,1989,1995 e 1996.

## 5.4 - Estado de Pernambuco

O estado de Pernambuco localiza-se na região Nordeste do Brasil, possui uma área de 98.281 Km<sup>2</sup>, possui fronteiras interestaduais com a Paraíba e Ceará ao norte, no extremo oeste com Estado do Piauí, Bahia e Alagoas ao sul e a leste tem seu limite com o Oceano Atlântico.

Os principais rios que servem o Estado são: São Francisco ( sendo o maior e principal rio do estado), Una, Pajeú, Moxotó, Jaboatão, Ipojuca e Capibaribe, Brígida e Ipanema.

A maior parte do território de Pernambuco é compreendida por regiões de planalto com terrenos de formação predominantemente cristalina, localizadas nas porções

centrais do Estado. As planíceis ocupam a faixa de terras litorâneas, tendo a ocorrência de lagos e várzeas.

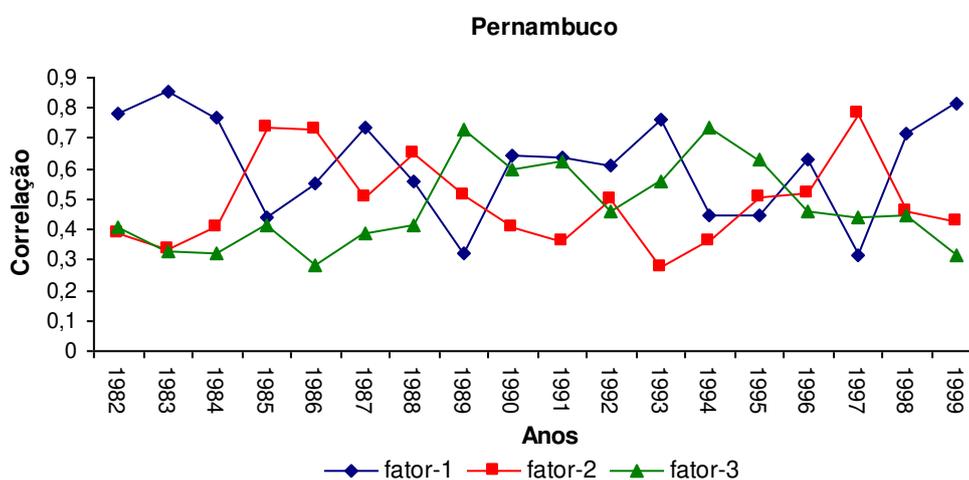
Nas regiões de planalto, as porções de terras de altitudes mais elevadas aproximam-se de 900 metros acima do nível do mar na região do Planalto da Borborema. Na região sudoeste localiza-se o vale do São Francisco, com altitudes variáveis entre 200 e 400 metros acima do nível do mar.

O clima que predomina no território pernambucano é caracterizado como tropical, apresenta gradual diminuição em suas temperaturas conforme avançamos do oeste para o leste, até o Planalto da Borborema, voltando a aumentar até o litoral. As temperaturas médias anuais registradas para o território variam entre 24° e 31°C. Apresenta índices pluviométricos inferiores a 500 mm no interior do Estado e variam em torno de 1500 mm em sua região litorânea, sua diversificação vegetal dispõe-se entre mangue e a floresta tropical localizada mais próxima ao litoral, e a caatinga situada no interior do território, com clima caracterizado com semi-árido. Há entre estas duas regiões, respectivamente chamadas Zona da Mata e Sertão, uma área de transição, conhecida como Agreste. Na vegetação de caráter tropical, na Zona da Mata, predominam conjuntos vegetais como os coqueirais ([www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)).

#### **5.4.1 - Análise temporal e espacial do IVDN no Estado de Pernambuco**

Na Figura 5.4.1 estão representados os três primeiros fatores comuns temporais que explicam 90,8% da variância total dos dados de IVDN. O primeiro fator que explica 40,16% da variância apresenta correlações superiores ou iguais a 0,8 em 1983 e 1999. O padrão espacial deste fator evidencia núcleos com contribuições inferiores a -1,0 o oeste e sudoeste (entre as latitudes de 7,8°S e 9,23°S e longitudes 36,6° e 37,0° W), crescendo na direção do litoral com máximos positivos em torno de 1,5 (Figura 5.4.2a).

Esses anos indicados por este fator foram secos com IVDN mínimos da ordem de 0,24 no oeste e máximo em torno de 0,52 na faixa próxima à costa. Como esperado os índices mais baixos no interior da região estão relacionados com o baixo índice pluviométrico e vegetação de transição agreste. Na região paralela próxima a costa os índices são mais elevados devido o tipo de vegetação e chuvas mais regulares. Os totais pluviométricos oscilaram entre 600 mm, no interior, a 2000 mm no litoral (Braga, 2000). O primeiro fator mostra o comportamento da distribuição espacial do IVDN para anos secos de 1983 e 1999.

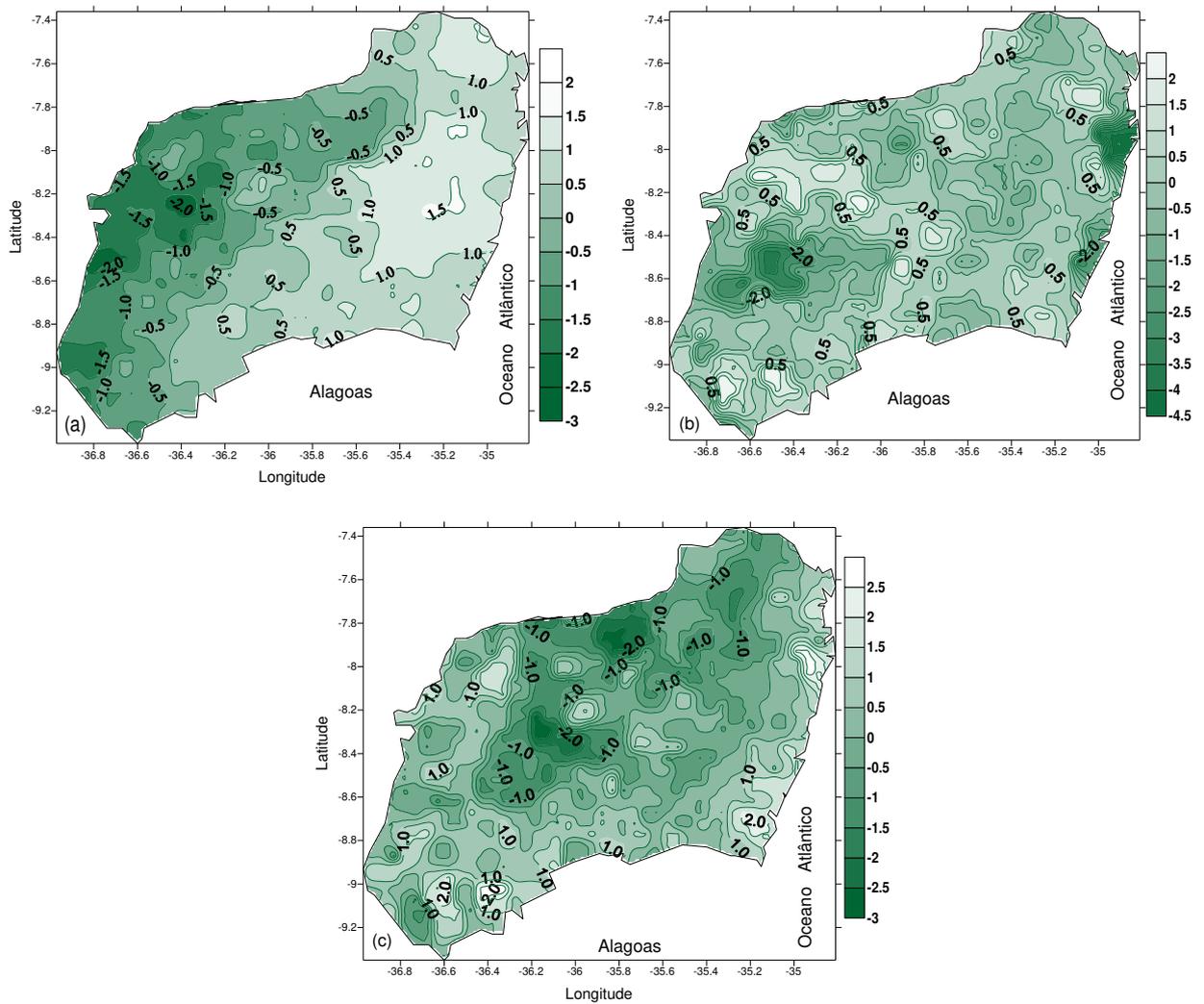


**Figura 5.4.1** - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) que explicam 90,8% da variância total do IVDN no leste de Pernambuco.

O segundo fator que explica 26,17% da variância apresenta máximas correlações em torno de 0,8 em 1985 e 1986 (Figura 5.4.1). O padrão espacial desse fator apresenta contribuições nulas e positivas em quase toda região, com máximos ( $> 1$ ) no centro oeste e sul, valores negativos altos ( $< -2$ ) na região central do sudoeste e pequenos núcleos no leste (Figura 5.4.2b). Do anexo E verifica-se que os mínimos de IVDN são encontrados no litoral onde a vegetação predominante é a Pioneira e Manguezais, com alta salinidade, solo estáveis e alto teor de matéria orgânica (região alagada) e região centro sudoeste as quais coincidem com as menores contribuições negativas (Anexo E1). O

segundo fator comum destaca os anos chuvosos de 1985 e 1986, com totais pluviométricos que variaram entre 800 mm a oeste a 2800 mm no sudeste do litoral (Anexo E).

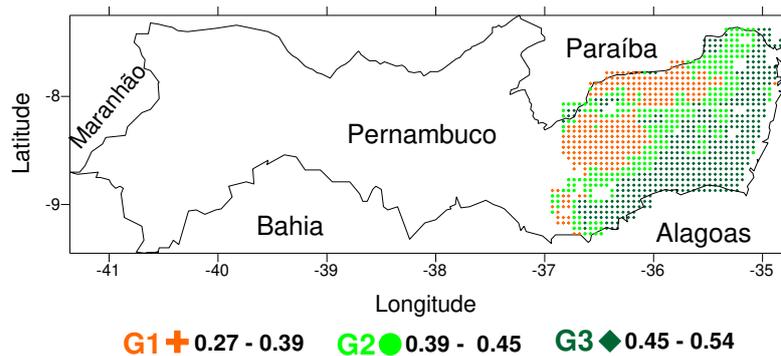
O terceiro fator explica 24,4% da variância total dos dados. As maiores correlações em torno de 0,7 são verificadas nos anos 1989 e 1994 (Figura 5.4.1). O padrão espacial apresenta núcleos máximos negativos ( $<-2$ ) na região central e noroeste. No restante da região o comportamento deste fator é indiferente com contribuições elevadas e baixas, em áreas isoladas conforme observadas na Figura 5.4.2c. Estes dois anos evidenciados por este fator são anos com chuvas um pouco acima da média climatológica. O ano de 1989 apresentou um pouco mais elevado do que em 1994. Isto pode ser explicado pelo fato de 1994 tem sido antecedido pelo ano seco de 1993 e a vegetação não se recuperou totalmente por isso apresentou menores valores do IVDN. Os maiores valores de IVDN superiores 0,56 foram encontrados no ano de 1989 contra 0,47 em 1994 no extremo sudeste do estado. Os menores de 0,36 para os dois anos são encontrados noroeste e centro oeste (Anexo E). Para estes anos os totais anuais pluviométricos variam em média de 400 mm em algumas regiões ao oeste e atingindo valores superiores à 1800mm/ano no sudeste do litoral do estado de Pernambuco. Enfim os maiores valores do IVDN coincidem com as regiões de maiores alturas pluviométricas.



**Figura 5.4.2 a,b,c** - Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 90,8% da variância total no leste de Pernambuco.

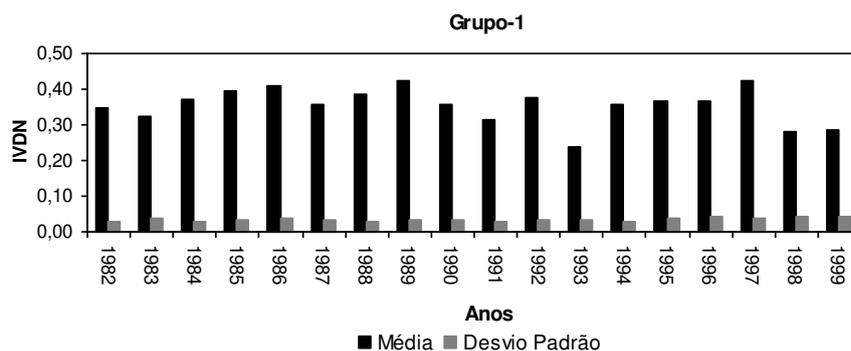
### 5.4.2 - Regiões Homogêneas e Fração Vegetação do IVDN no leste de Pernambuco

Na determinação das regiões homogêneas do IVDN, adotou-se o mesmo procedimento dos estados anteriores. A Figura 5.4.2 ilustra os três grupos homogêneos do IVDN obtido pelo método de K-means para o Estado de Pernambuco. A seguir estão descritas as principais características de cada grupo.



**Figura 5.4.3** – Regiões homogêneas de IVDN no leste de Pernambuco através do método de agrupamento das médias de K-means.

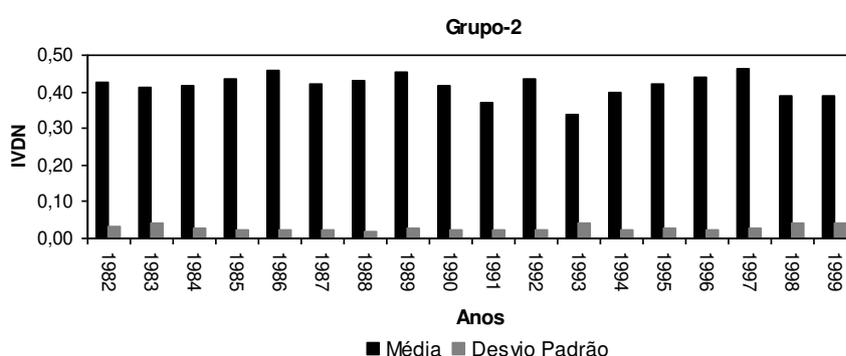
Grupo 1. Compreende uma área de aproximadamente 8.379 Km<sup>2</sup> ou seja, 27,84 % da vegetação do tipo caatinga hipoxerófila, floresta subcaducifólia, com valores anuais IVDN que varia de 0,27 a 0,39 (Figura 5.4.3). O comportamento médio interanual do IVDN e seus respectivos desvios padrões estão ilustrados na Figura 5.4.4a. O menor valor médio anual observado foi no ano de 1993, com 0,24 e desvio padrão 0,034. Valores máximos são observados nos anos de 1989 e 1997, ambos com media anual de 0,43 e desvios padrões de 0,036 e 0,038 respectivamente. Neste grupo a variabilidade anual do IVDN é mais acentuada devido aos diferentes tipos de vegetação caatinga com chuvas escassas.



**Figura 5.4.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.

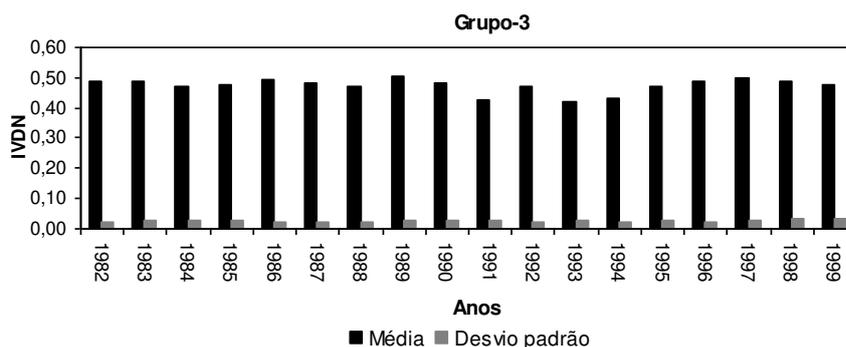
Grupo2. Situado na faixa paralela ao litoral possui uma área de aproximadamente de 8.772 Km<sup>2</sup> (29,0% da fração vegetação), com média anual de 0,42, mínimo de 0,39 e máximo de

0,45 (Figura 5.4.3). O ano de 1993 apresenta menor média anual de 0,34 e desvio padrão de 0,040 (Figura 5.4.4b), como já foi comentado no grupo 1, este ano foi muito seco provocado pelo evento El Niño. Neste grupo variabilidade do IVDN foi menor do que a do grupo 1. Isto está relacionada com sua proximidade com o litoral e tipo de vegetação. Os anos de 1986 e 1997 como o do grupo 1, apresentam a mesma média de 0,46 e desvios de 0,022 e 0,027 respectivamente. Embora 1986 tenha chovido mais que 1997 a vegetação não apresentou variabilidade significativa nestes anos.



**Figura 5.4.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.

Grupo 3. Localizado na região litorânea do estado compreende uma área de aproximadamente 12.947 Km<sup>2</sup>, ou seja, 43,0% da fração vegetação (Figura 5.4.3), com média anual do IVDN de 0,47; mínimo de 0,45 e máximo de 0,54. Observa-se que os anos de 1991 e 1993 apresentam a mesma média de 0,42 porém com variabilidade diferentes, ou seja, 1991 tem desvio padrão de 0,029 contra 0,031 em 1993 (Figura 5.4.4c). O ano de 93 apresentou variabilidade maior do IVDN por ter sido mais seco que 91. Observa-se que as maiores médias desse grupo de 0,50 ocorrem em 1986 e 1997, como na situação anterior. A vegetação predominante deste grupo é a floresta subcaducifólia (árvores de grande porte) e formações florestais (manguezais, matas e restingas) que perde apenas parte das suas folhas durante o período seco (Andrade, 2003).



**Figura 5.4.4c** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste de Pernambuco.

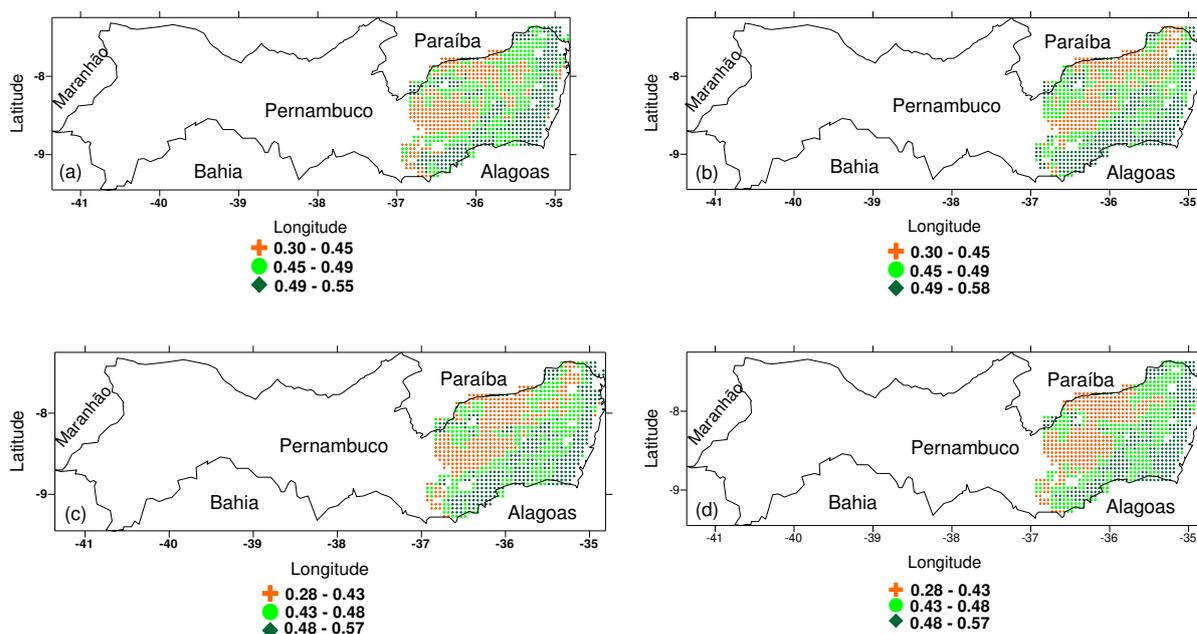
### 5.4.3 - Fração Vegetação no leste do Estado de Pernambuco

Na Tabela 5.4 encontram-se a fração vegetação para os anos selecionados e seus respectivos intervalos do IVDN. Observa-se que na década de 80, a fração vegetada da área com maior IVDN teve um ganho de 4% na faixa litorânea entre os anos de 1986 e 1989, ou seja passou de 32,8% para 36,8%, o grupo 2 com IVDN entre 0,45- 0,49 e área paralela a do grupo 3 diminui em 3,5% em 1989, justificando assim o aumento da área do grupo 3. A fração vegetada do grupo 1 de menor IVDN foi reduzida 0,5%. Verifica-se que na década de 1980 não houve redução da vegetação no leste de Pernambuco.

Para década de 1990 observa-se que os valores do IVDN foram menores do que em 1980. Em 1995 e 1996 o grupo 1 com IVDN menores ( 0,28-0,41) não sofreu alteração na fração vegetação. O grupo 2 registrou um aumento de 1,5% na área da vegetação cuja o IVDN variou entre 0,41- 0,46 significando um aumento da fração vegetação floresta e formações florestais. Finalmente o grupo 3 com vegetação média do tipo floresta subperenifólia (Mata Atlântica) e manguezais, houve redução de da área vegetada de 1,5%. Baseado apenas nos valores do IVDN em cada área homogênea e precipitação anual destes anos estudados, nos leva a concluir que houve uma redução da fração vegetação na faixa leste na década de 1990.

**Tabela 5.4** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste de Pernambuco nos anos de 86, 89, 95 e 96.

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,30-0,45)	G-2(0,45-0,49)	G-3(0,49-0,58)
86	30,4%	36,8%	32,8%
89	29,9%	33,3%	36,8%
Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,28-0,43)	G-2(0,41-0,48)	G-3(0,46-0,57)
95	32,1%	35,7%	32,2%
96	32,1%	37,2%	30,7%



**Figura 5.4.5a,b,c,d**- Fração Vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste de Pernambuco nos anos de 1986, 1989,1995 e 1996.

### 5.5 - Estado da Paraíba

O Estado da Paraíba ocupa 56.585 Km<sup>2</sup> de área territorial brasileira englobando 223 municípios, com uma população estimada de 3.436.716 habitantes. A

Paraíba está situada no extremo leste da região nordeste do Brasil. Tem boa parte do seu território inserido no Polígono da Seca, faz limite ao norte com o Rio Grande Norte, ao sul com Pernambuco, a leste com Oceano Atlântico e a oeste com o Ceará.

O clima varia de acordo com o relevo do Estado. Por exemplo, na Baixada Litorânea e na encosta leste da Borborema predomina o clima tropical úmido, com chuvas de outono a inverno e estação seca durante a primavera/verão.

As chuvas registram seus maiores índices no litoral, passando a diminuir para o interior, voltando a aumentar o índice pluviométrico no topo do planalto da Borborema. Neste planalto predomina o clima semi-árido quente, com exceção da encosta leste. Uma outra tipologia climática ocorre no oeste do Estado, no planalto do rio Piranhas, com clima tropical úmido caracterizado por apresentar chuvas de verão e inverno seco.

Com relação a vegetação ocorrem na Paraíba as seguintes tipologias:

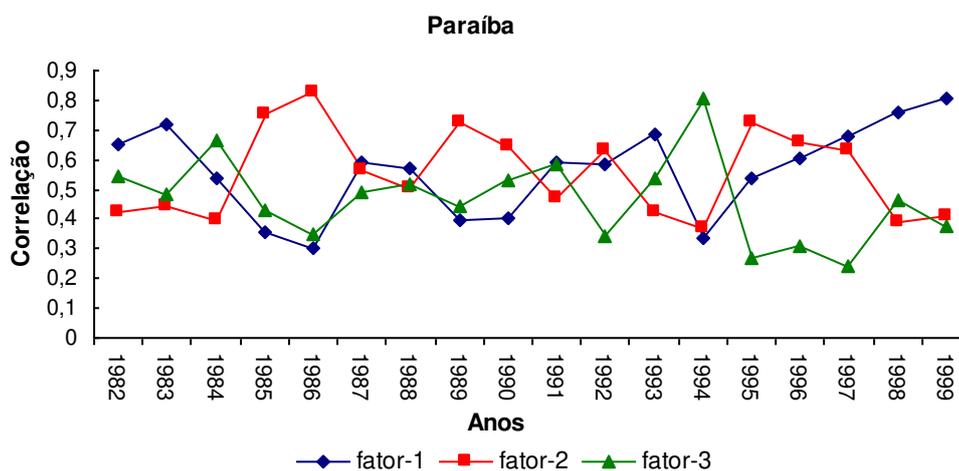
-Floresta Tropical: tem predominância na baixada litorânea e em alguns trechos úmidos do planalto da Borborema (Brejo), sendo composta por grandes arvores.

-Agreste: ocorre na parte leste, menos úmida do planalto. Sua vegetação é constituída por espécies que se misturam, floresta tropical e caatinga (cactos e pequenas arvores e arbustos).

-Caatinga: está presente na porção oeste da Borborema e o planalto do rio de Piranhas caracterizando o sertão, com 65% do território do Estado. Desta forma segundo as condições climáticas, vegetação e relevo, a Paraíba encontra-se dividida em quatro regiões distintas: Zona da Mata (Baixada Litorânea Úmida); Agreste (leste do planalto da Borborema); Brejo (trechos mais úmidos do Agreste) e Sertão (áreas mais secas do estado coberto pela Caatinga) ([www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)).

### **5.5.1 - Análise temporal e espacial do IVDN no Estado da Paraíba**

Os três primeiros fatores comuns temporais explicam 90% da variância total. O primeiro fator comum temporal que explica 33,65% da variância total do IVDN apresenta correlações positivas em todo o período. A Figura 5.5.1 apresenta correlação superior a 0,8 no ano 1999. A distribuição espacial associada a este fator (Figura 5.5.2a) tem contribuições negativas inferiores a -1,5 no extremo oeste e sudoeste, contribuições positivas com pesos superiores a 1, são observados no sudeste, noroeste e região centro leste paralela a região litorânea. O IVDN médio para o ano de 1999 variou de 0,2 a 0,52, os menores valores se encontram no oeste e sudoeste e os maiores no centro norte e este do litoral e sudeste (Anexo F). A precipitação anual do ano de 1999 no leste da Paraíba oscilou de 400 mm no extremo oeste a 1200 mm no litoral, coincidindo com os menores e maiores valores do IVDN. Este padrão evidenciou simplesmente o ano seco 1999 com baixos IVDN em quase toda região da Paraíba.

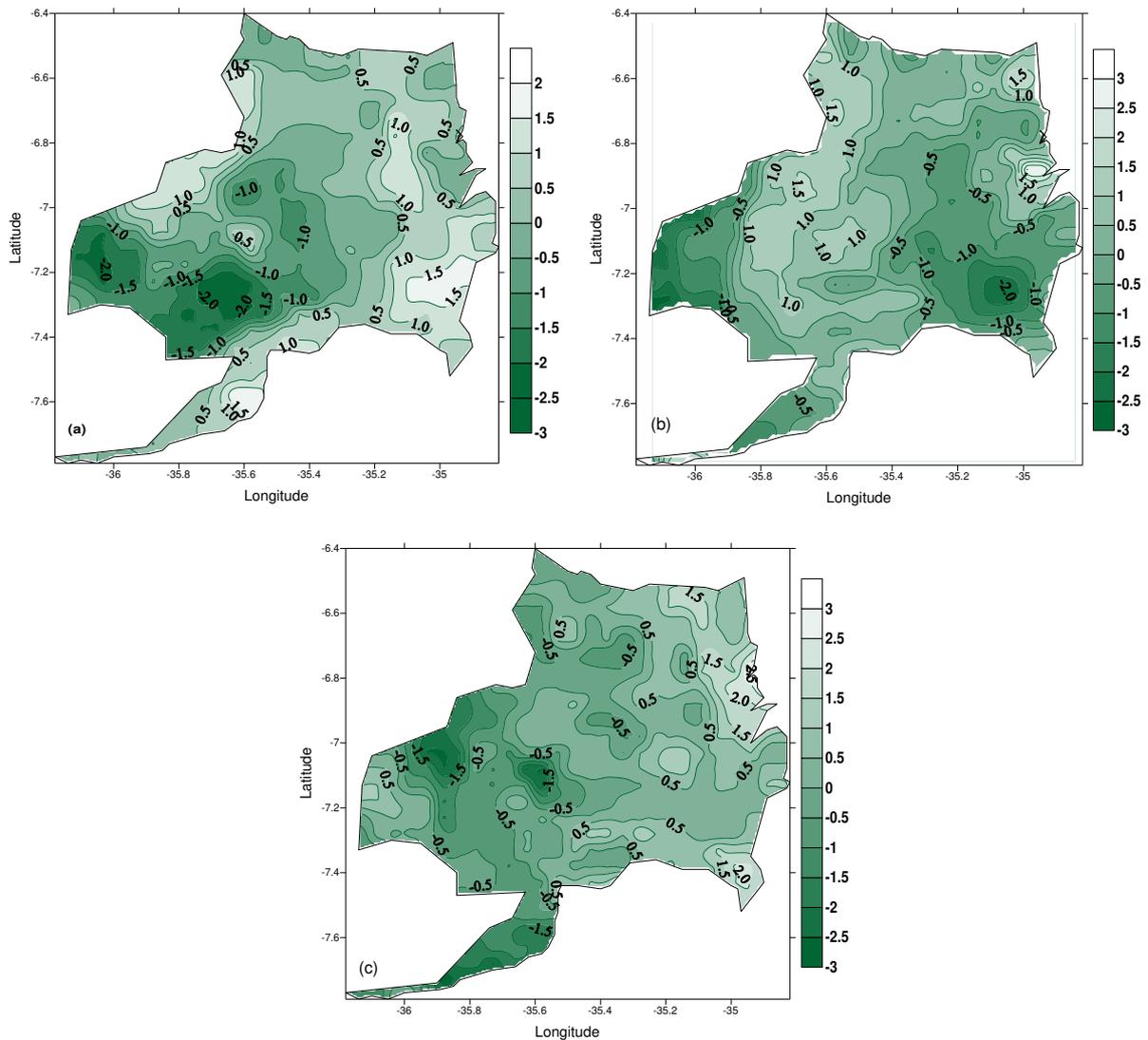


**Figura 5.5.1** - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 90% da variância total no leste da Paraíba.

O segundo fator comum temporal que explica 32,9% da variância total dos dados tem correlação máxima de superior a 0,8 (Figura 5.5.1) em 1986. A distribuição do

padrão espacial correspondente a este fator tem contribuições positivas, maiores que 1 no centro oeste, nordeste e leste do litoral e numa faixa entre o litoral leste e oeste da região. Na parte oeste e sudeste verificam-se dois núcleos bem definidos, onde as contribuições são -1, ou seja, existe um contraste desses índices no ano de 1986, entre o oeste e leste da região estudada (Figura 5.5.2b). O IVDN em 1986 apresenta-se bastante homogêneos, com pouca variabilidade espacial com mínimo em torno de 0,40 e máximo de 0,57 (Anexo F). As alturas pluviométricas nesta região variaram de 500 mm no extremo norte a 2500 mm no sudeste da região leste da Paraíba (Anexo F). Este fator ressaltou comportamento médio anual do ano de 1986.

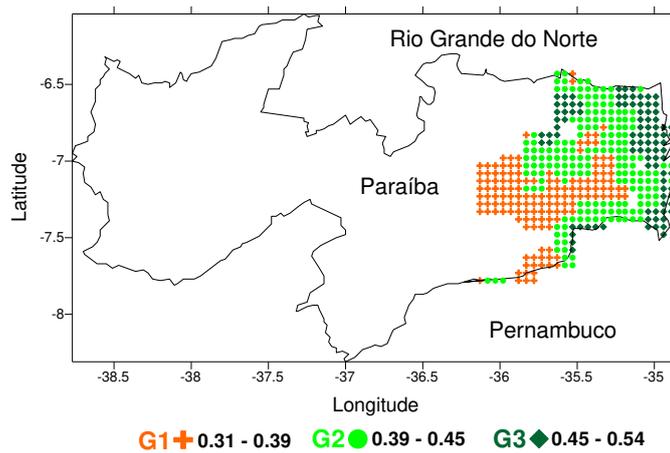
Finalmente o terceiro fator que explica 23,5% da variância, destaca o ano de 1994, com correlação positiva superior a 0,7 (Figura 5.5.1). A distribuição espacial associada a este fator, mostra contribuições negativas inferior a -0,5, no nordeste e núcleos inferiores a -1,5 são observados no oeste, centro oeste e sul da área leste estudada (Figura 5.5.2c). Para o ano de 1994, a distribuição espacial do IVDN apresenta mínimos inferiores a 0,4 em quase toda região com exceção de pequenos núcleos da ordem de 0,44 no norte, nordeste e sudeste do leste do Nordeste. Este ano choveu acima da média, com totais anuais 600 mm no oeste a 2600 mm a faixa litorânea da região. Observa-se que este terceiro fator evidenciou o ano de IVDN mais regular do período. Pois, neste ano a vegetação se desenvolveu bem com variabilidade entre  $(0,38 > \text{IVDN} < 0,44)$  em quase toda área, conforme é mostrado (Anexo F).



**Figura 5.5.2 a,b,c** - Distribuição espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 90% da variância total no leste da Paraíba.

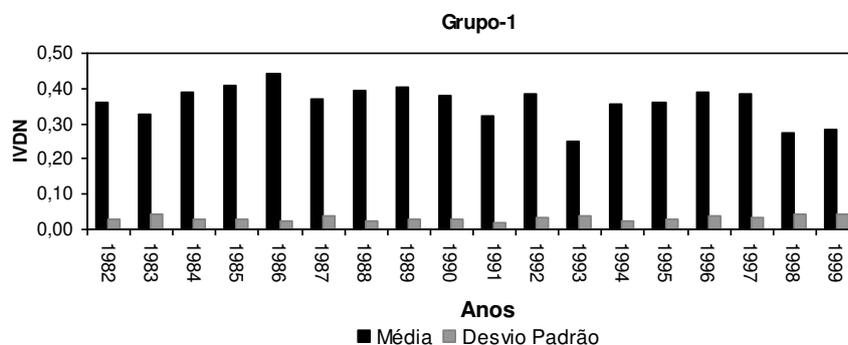
### 5.5.2.-Regiões Homogêneas e Fração Vegetação do IVDN no leste da Paraíba

A delimitação dos três grupos homogêneos do IVDN pelo método aglomerativo de K-means são mostradas na Figura 5.5.3. A descrição das principais características destas regiões é descrita a seguir.



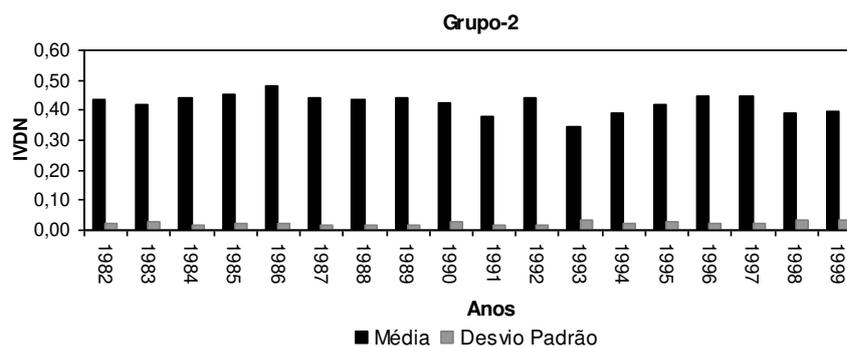
**Figura 5.5.3** - Regiões homogêneas de IVDN no leste da Paraíba através do método de agrupamento das médias de K-means.

Grupo 1. Corresponde uma área de 4.327 km<sup>2</sup> (34,0% de fração vegetação), com maior concentração da vegetação a oeste, centro e sudoeste do leste da Paraíba (Figura 5.5.3). A vegetação nesta região é do tipo floresta decídua e a caatinga com média anual do IVDN de 0,36, mínimo de 0,31 e máximo de 0,39. A Figura 5.5.4a mostra, que o menor IVDN de 0,25 com desvio padrão 0,038 ocorreu no ano de 1993. Este foi um ano seco (El Niño), e o anterior a ele 1992 também, o que prejudicou drasticamente o desenvolvimento da vegetação. O ano de 1986, apresentou mais uma média de 0,44 e desvio padrão de 0,024. Para este grupo o ano de 1986 apresenta uma maior variabilidade do IVDN, isto pode está relacionado com o tipo de vegetação do grupo.



**Figura 5.5.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 1 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.

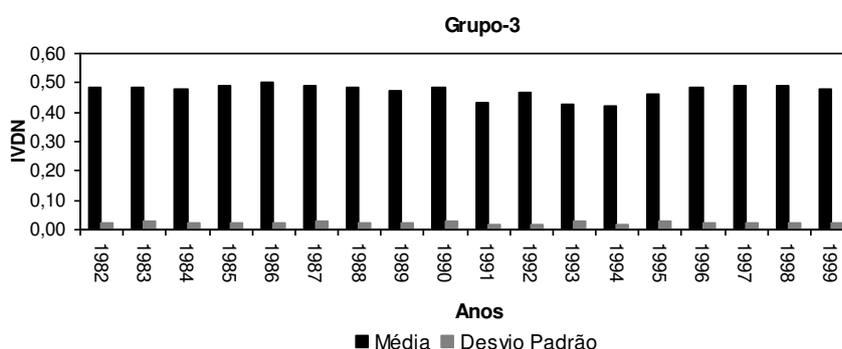
Grupo2. Localiza-se paralelamente à costa leste, estendendo-se de norte a sul, penetrando para o interior oeste da região em torno de 7,0°S. Compreende uma área de 5.506 Km<sup>2</sup>, ou seja, 43,4% de fração vegetação média. Neste grupo a predominância da vegetação é do tipo mata perenifólia de altitude (brejo) e floresta decídua (agreste), Mata subcaducifólia de transição, com IVDN médio 0,42, mínimo de 0,39 e máximo de 0,45. Na Figura 5.5.4b mostra que no ano de 1993 ocorreu a menor média de 0,34 com desvio padrão pequeno de 0,035, ou seja, apresentando variabilidade menor que a do grupo 1, devido a maior proximidade com costa e tipo de vegetação. A maior média verificou-se também em 1986, com IVDN de 0,48 e desvio padrão de 0,021. O comportamento anual médio do IVDN deste grupo se assemelha com o do grupo 1, porém com menor variabilidade anual.



**Figura 5.5.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.

Grupo 3. Situado na faixa litorânea do leste da Paraíba e numa pequena área a noroeste e sul. Compreende uma área de aproximadamente 2.873 Km<sup>2</sup> (22,6% de fração vegetação). A vegetação nesta área é a floresta pluvial perenifólia (Mata Atlântica), Vegetação pioneira e Manguezais (Figura 5.5.3), apresenta um IVDN médio 0,47, com mínimo de 0,45 e máximo de 0,54. A Figura 5.5.4c mostra o comportamento médio anual do IVDN e seus respectivos desvios padrões. A menor média anual de 0,42 e desvio padrão de 0,019 são encontrados em 1994, o qual ocorreu chuva acima da média. Os totais anuais das chuvas na região variaram de 600 mm no extremo oeste a mais 2600 mm no sudeste do leste como

foi mencionado anteriormente. Observa-se que os índices menores no norte e extremo leste da região litorânea estão relacionados com o tipo de vegetação, Pioneira e manguezais com elevada salinidade, solo estáveis e alto teor de matéria orgânica, elevando a refletância no infravermelho, conseqüentemente diminuindo o IVDN. Nas demais áreas deste grupo os IVDN encontrados são os maiores da região leste como já era esperado. Para este grupo a variabilidade interanual do IVDN é pequena com chuvas mais regulares e a vegetação permanecendo verde o ano inteiro.



**Figura 5.5.4c** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 3 no período de 1982-1999 no leste da Paraíba.

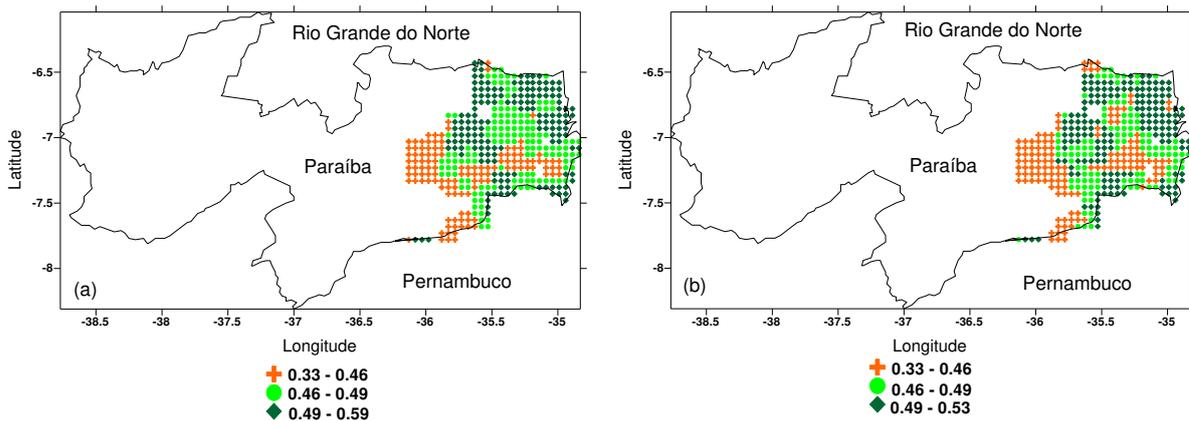
### 5.5.3 - Fração vegetação no leste da Paraíba

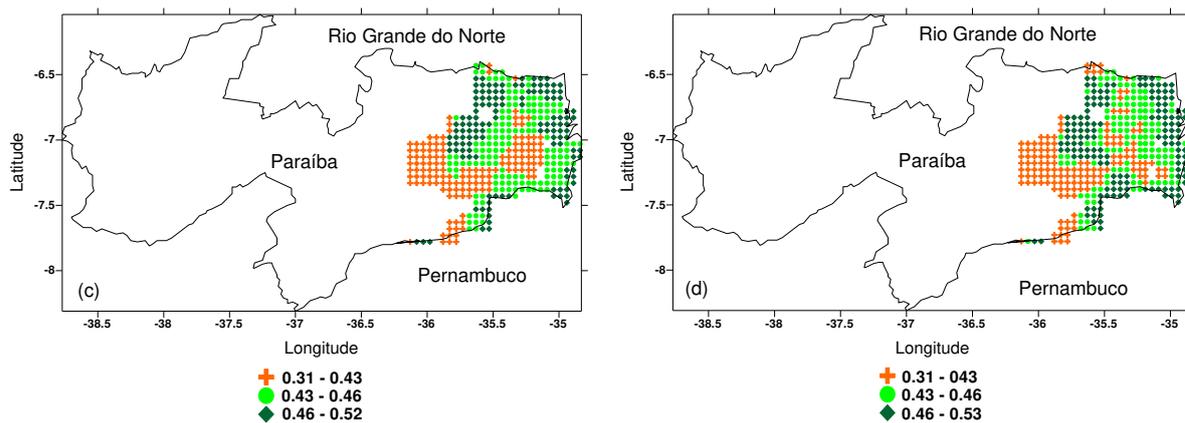
A Tabela 5.5 mostra as regiões de IVDN e fração vegetação para dois anos da década de 1980 e dois da década de 1990. Observa-se que no leste da Paraíba a fração vegetação do grupo 1 de menor índice ( $0,38 > IVDN < 0,46$ ) foi aumentada em 1986, significando que na região do brejo a fração vegetação sofreu algum tipo de mudança, a área inicial foi acrescida de 3,3%. Para o grupo 2 a fração vegetação na década de 1980 com índice entre 0,43 e 0,46 foi reduzido 5,7% em 1986. Já o grupo 3 área próximo ao litorânea teve um aumento da fração vegetada de 2,4%, significando que a vegetação não

sofreu redução. Na década de 1990 a região do agreste e brejo (grupo 2) a fração vegetada foi reduzida 5,4% em 1996 em relação ao ano de 1995. No grupo 3 verifica-se que em 1996 houve um aumento significativo da fração vegetada de 4,5% em relação a 1995.

**Tabela 5.5** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste da Paraíba nos anos de 86,89, 95 e 96.

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,38-0,46)	G-2(0,46-0,49)	G-3(0,49-0,59)
86	28,6%	33,6%	37,8%
89	31,9%	27,9%	40,2%
Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,31-0,43)	G-2(0,43-0,46)	G-3(0,46-0,53)
95	33,0%	36,0%	31,0%
96	33,8%	30,7%	35,5%





**Figura 5.5.5** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos de IVDN no leste da Paraíba nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996.

## 5.6 - Estado do Rio Grande do Norte

O Estado do Rio Grande do Norte localiza-se no extremo nordeste brasileiro, limitando-se ao norte e a leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado da Paraíba e a Oeste com o Estado do Ceará, possui uma área total de 53.306,8 Km<sup>2</sup>, ou seja, 0,62% do território nacional, em seus 166 municípios habitam aproximadamente 2.770.302 pessoas.

Formações rochas cristalinas e sedimentares compõem a estrutura geológica do Estado; as rochas cristalinas predominam no nordeste oriental; e a sedimentares são encontradas na parte ocidental, nas bacias sedimentares costeiras (faixa Litorânea). A exemplo da hidrografia de outros estados nordestinos, também os rios norte-riograndenses seguem para duas direções diferentes. Alguns desembocam no litoral leste e outros no litoral norte. O litoral é caracterizado por dunas cobertas por vegetação rala. Observa-se no Estado a ocorrência de três tipos de climas:

-Tropical úmido: ocorre no litoral leste em uma faixa de aproximadamente 80 km, com temperaturas médias em torno de 24°C; os índices pluviométricos registrados

são de 1000 mm, decrescendo no sentido costa-interior chegando a atingir 600 mm por ano.

-Tropical semi-úmido: está presente no extremo oeste do Estado, com chuvas durante o outono e temperaturas elevadas. Nas regiões serranas (sudoeste) o volume de água ultrapassa os 800 mm ao ano.

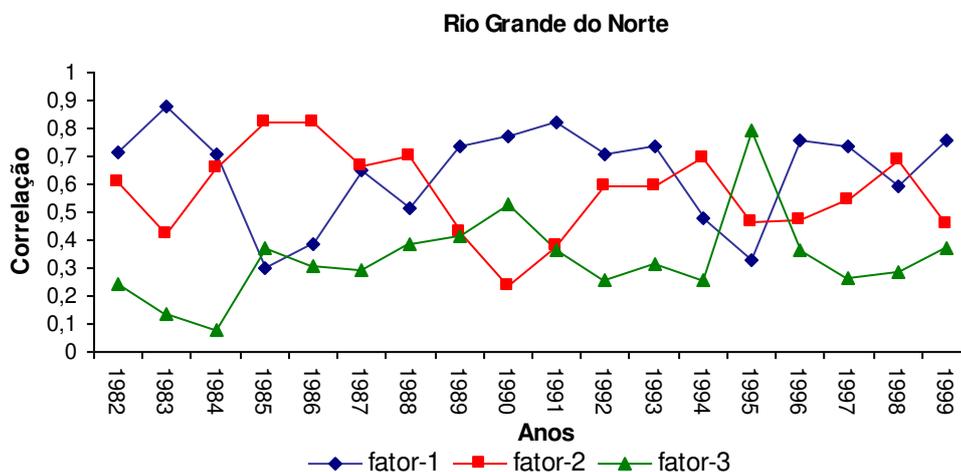
-Semi-árido quente: tipifica as demais áreas do Estado, inclusive o litoral norte, suas temperaturas médias são em torno de 26°C, com chuvas irregulares ocasionando períodos de seca com índices inferiores a 600 mm ao ano são registrados.

Com relação à vegetação, predominam no Estado a caatinga, formada por espécies cactáceas, arbustivas e árvores de pequeno porte, localizando-se na porção central e oeste do Estado. Em contrapartida, a floresta tropical composta de árvores com grandes folhagens, somente pode ser vista no extremo sudeste. Áreas de agreste são composta entre floresta tropical e caatinga, o qual domina a parte leste excetuando o sudeste, onde a vegetação não chega ao litoral ([ambientebrasil.com.br](http://ambientebrasil.com.br)).

### **5.6.1 - Análise temporal e espacial do IVDN no Estado do Rio Grande do Norte**

Os três primeiros fatores comuns temporais explicam 92% da variância total do INDV. O primeiro fator comum temporal que explica 44,0% da variância tem correlações elevadas da ordem de 0,8 nos anos de 1983 e 1991 (Figura 5.6.1). A distribuição espacial associada a este primeiro fator, apresenta contribuições negativas inferiores a -0,5 em cerca de 50% da área, em direção interior, na área próxima ao litoral as contribuições são positivas alcançando valores superiores a 1,0 na costa leste do Estado (Figura 5.6.2a). Este fator evidenciou os dois anos com pouca chuva e IVDN médio variando entre 0,24 (no interior) e 0,44 (litoral) (Anexo G). Ressalta-se, porém que em 1991, no interior da área leste choveu um pouco mais do que no litoral conseqüentemente

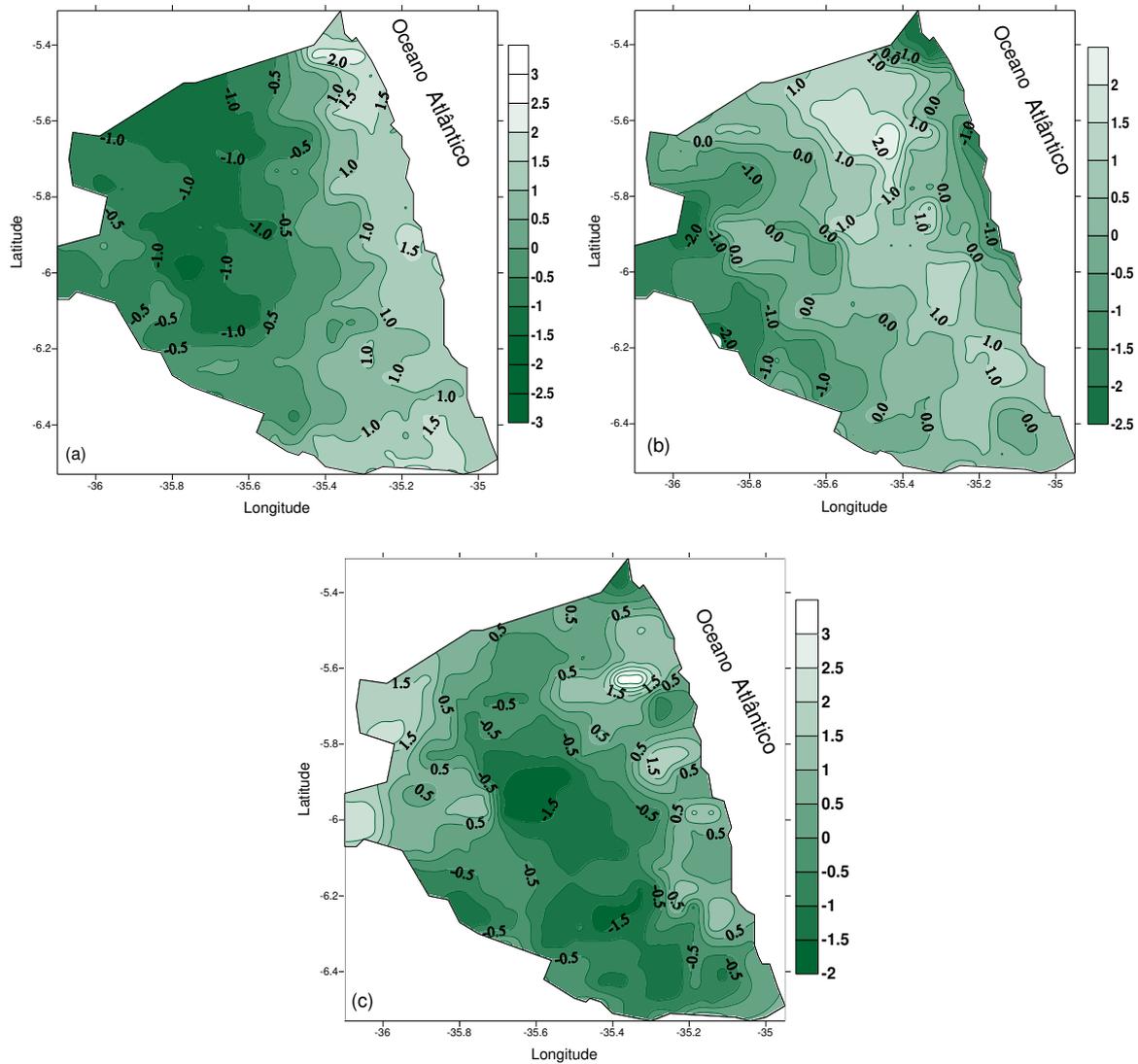
IVDN menores no litoral. As chuvas na região em 1983 tiveram índice pluviométrico baixíssimo, inferiores a 250 mm no oeste e região central, os mais elevados são observados no nordeste e sudeste do litoral (Anexo G).



**Figura 5.6.1** - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) do IVDN que explicam 92% da variância total no leste do Rio Grande do Norte.

O segundo fator comum temporal que explica 34,67% da variância total dos dados do IVDN apresenta correlações maiores ou igual a 0,8 em 1985 e 1986 (Figura 5.6.1). A distribuição espacial correspondente a este fator verifica-se a existência de núcleos negativos inferior a -1,0, no oeste, sudoeste, e leste do Rio Grande do Norte. Contribuições positivas superiores a 1,0 são observadas na diagonal que se estende deste o sudeste a noroeste da região como é mostrado na Figura 5.6.2b. O IVDN nestes anos variam entre 0,38 (no interior) e superior a 0,50 centro nordeste da região leste, as regiões com valores mais elevados do IVDN tiveram seus totais anuais da precipitação acima de 1800 mm como pode ser verificados na distribuição espacial dos anos 1985 e 1986 (Anexo G). O segundo fator destacou os anos com IVDN elevados e precipitações bem acima da média climatológica. O terceiro fator explica 13,42% da variância total do IVDN apresenta correlação da ordem de 0,8 em 1995 (Figura 5.6.1). O padrão espacial deste fator (Figura 5.6.2c) apresenta contribuições negativas inferiores a -0,5 em quase toda região do leste da

área de estudo, com exceções de alguns núcleos positivos com contribuições acima de 1,5 no oeste, leste e nordeste do Rio Grande do Norte.

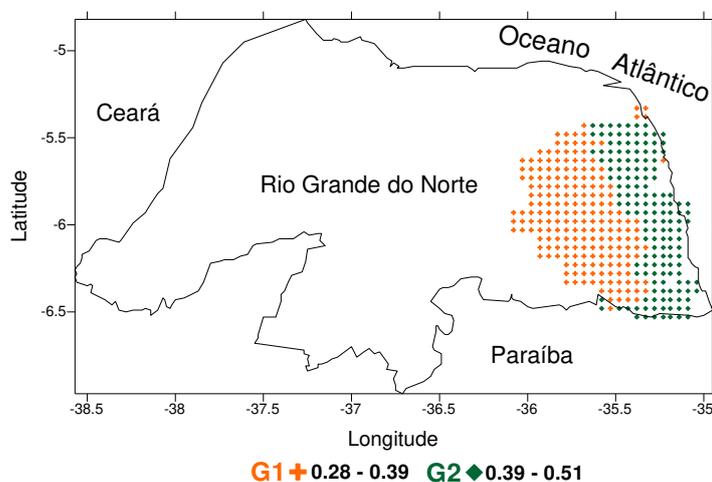


**Figura 5.6.2 a,b,c** – Distribuição Espacial dos três primeiros fatores comuns de IVDN que explicam 92% da variância total no leste do Rio Grande do Norte.

### 5.6.2 - Regiões Homogêneas e Fração Vegetação de IVDN no leste Rio Grande do Norte

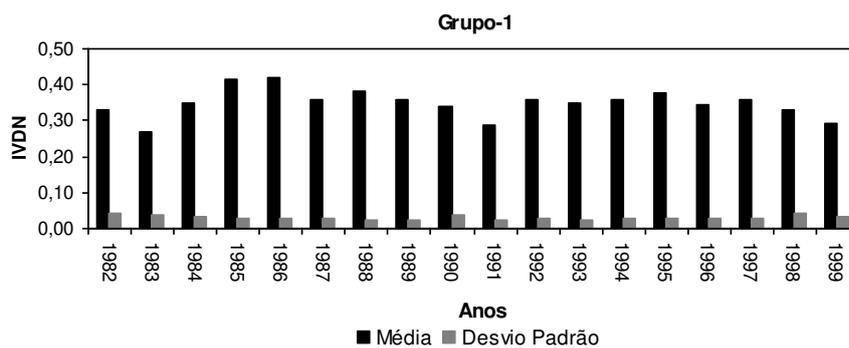
O estado do Rio Grande do Norte foi dividido em duas regiões homogêneas do ponto de vista do IVDN (Figura 5.6.3). Os grupos foram obtidos através do método de K-means, as regiões homogêneas e suas principais características estão descritas a seguir.

Observa-se que, a região leste do Rio Grande do Norte área vegetada é bem menor do que os demais estados e ficou resumida em apenas dois grupos.



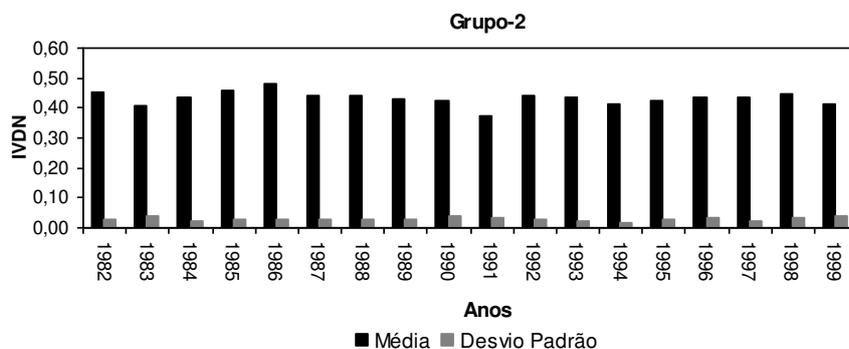
**Figura 5.6.3** - Regiões homogêneas de IVDN no leste do Rio Grande do Norte através do método de agrupamento das médias de K-means.

Grupo 1. Situado na área interior com 5.990 Km<sup>2</sup>, ou seja, 56,73% da fração vegetação média com cobertura do tipo floresta decídua (agreste) e caatinga (Figura 5.6.3). O IVDN médio anual de 0,35, mínimo de 0,28 e máximo de 0,39. A Figura 5.6.4a mostra o comportamento da média anual do IVDN e seus respectivos desvios padrões. A menor média de 0,25 foi detectada em 1983 com totais anuais pluviométricos inferiores a 200 mm a oeste e centro leste e máximo superiores a 800 mm no sudeste e extremo nordeste da área leste estudada (Anexo G). No período estudado o ano de 1986, foi o que apresentou o IVDN mais elevado de 0,42 e desvio padrão de 0,030. Os índices mais elevados estão associados com as maiores precipitações em 1986, onde foi registrando totais pluviométricos entre 800 mm no oeste e sudoeste e superiores a 2000 mm na faixa litorânea leste. Este grupo apresenta forte variabilidade interanual do IVDN.



**Figura 5.6.4a** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo1 no período de 1982-1999 no leste do Rio Grande do Norte.

Grupo 2. Localiza-se na faixa litorânea leste e sudeste, apresentando área de 4.567,75 Km<sup>2</sup> e 43,27% da fração média vegetação (Figura 5.6.3). Nesta região, observa-se uma média anual do IVDN de 0,43, mínimo de 0,39 e máximo de 0,51, as chuvas são mais regulares e mais abundantes do o grupo 1. A Figura 5.6.4b ilustra o comportamento médio anual do IVDN e seus respectivos desvios-padrão. A menor média de 0,37 do IVDN verificou-se em 1991 e a maior de 0,48 em 1986. Como esperado este grupo apresenta variabilidade menor do que o anterior. Salienta-se que no sudeste da região embora em pouca quantidade se destaca a floresta tropical com árvores de grande porte, favorecendo aparecimento de IVDNs mais elevados.



**Figura 5.6.4b** - Média e desvio padrão anual de IVDN do grupo 2 no período de 1982-1999 no leste do Estado do Rio Grande do Norte.

### 5.6.3 - Fração Vegetação no leste do Rio Grande do Norte

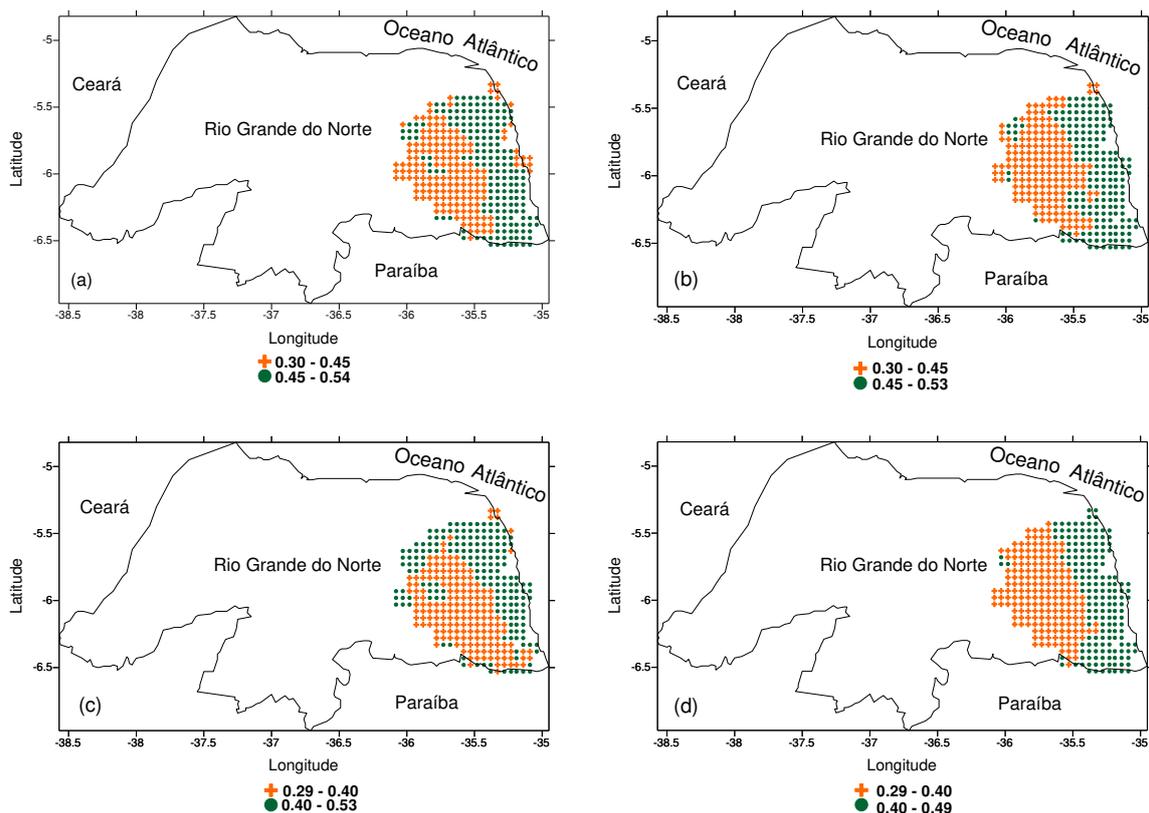
A Tabela 5.6 apresenta a fração vegetação de cada grupo homogêneas do IVDN para região leste do Rio Grande do Norte nos anos de 1986, 1989, 1995 e 1996. Observa-se que na década de 1980 o grupo 2, com valores do IVDN entre 0,45 e 0,54, teve uma redução da fração vegetada 0,9% de 1986 para 1989, enquanto que no grupo 1, localizado interior da região, ocorreu um aumento de 0,9% no IVDN de valores entre 0,30-0,45. Na década de 1990, houve um aumento da área com vegetação caatinga e agreste de 2% de 1995 para 1996 e redução da fração vegetação 2% no grupo da faixa do litoral ( $0,40 > \text{IVDN} < 0,53$ ). Diante do quadro apresentado pode-se pensar que na década de 1990 houve uma redução da vegetação tipo floresta e aumento da área da fração vegetada do grupo 1. Isto pode esta relacionado com a quantidade de chuva, ação do homem ou mesmo condições naturais.

Tendo em vista a pouca área vegetada da região, observa-se que houve uma redução significativa da fração vegetação nas duas décadas na região litorânea e grupo 2.

**Tabela 5.6** - Fração Vegetação dos grupos homogêneos no leste do Rio Grande do Norte nos anos de 86, 89, 95 e 96.

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,3-0,45)	G-2(0,45-0,54)
86	48,1%	51,9%
89	49,0%	51,0%

Fração Vegetação (IVDN)	G-1(0,29-0,40)	G-2(0,40-0,53)
95	49,6%	50,4%
96	51,6%	48,4%



**Figura 5.6.5 a,b,c,d** – Fração Vegetação dos grupos homogêneos do IVDN no leste do Rio Grande do Norte nos anos de 1986,1989,1995 e 1996.

## 5.7 – Síntese das características da vegetação no leste do Nordeste do Brasil

A Figura 5.6.6 ilustra uma síntese das principais características das regiões homogêneas do IVDN para os Estado da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

Observou-se que os maiores valores de IVDN encontram-se no litoral passando a decrescer para o interior, concordando com a distribuição espacial dos totais anuais pluviométricos.

Na década de 1980 os índices foram superiores aos da década de 1990 em todas as regiões homogêneas dos Estados, por exemplo:

-Bahia: a maior área de domínio para esta região (grupo 3) são dos maiores máximos de IVDN , seguido do grupo 2 e grupo 1. Na década de 1980 a fração vegetação do grupo 3 com predominância de Hiléia Baiana, teve um aumento de 0,2%, já na década de 1990 ocorreu uma redução de 2,4% da fração vegetação.

Na área de predominância de floresta Estacional Semi-decídua, ocorreu um aumento na fração vegetação nas décadas de 1980 e 1990. No grupo 1 de predominância de Floresta Decídua (Mata do Cipó), na década de 1980 houve uma redução de 3% e em 1990 um aumento de 2,2% na fração vegetada. Desta forma, pode-se pensar que na década de 1990 houve indícios de redução na fração vegetação no leste da Bahia.

-Sergipe: as áreas homogêneas para o estado estão geograficamente bem dispersadas, com maior domínio na região do grupo 3 com 46,3% da fração vegetação com IVDN elevados.

Na década de 80 verificou-se um aumento de 8,9% na fração vegetação para o grupo 3 e redução nos grupos 1 e 2. Para os grupos 3 e 1, na década de 90, ocorreu um aumento de 3,2% e 2,5% respectivamente e uma redução no segundo grupo. Sendo assim pode-se concluir que na década de 90, verificou-se um aumento significativo na vegetação da Mata Atlântica.

-Alagoas: neste estado o grupo 2, com IVDNs entre 0,43 e 0,48, apresenta 51,13% da fração vegetação.

Na década de 80, ocorreu um aumento de 6,1% na fração vegetativa do grupo 2 e redução nos demais grupos. Já na década de 90, o aumento da fração vegetação ocorreu no grupo 3 (com maiores valores de IVDN), com redução no grupo 2 e aumento pouco significativo no primeiro grupo de 0,2%, mostrando assim um ligeiro aumento na fração vegetação do grupo 3 e diminuição no grupo 1 (agreste).

-Pernambuco: apresenta regiões homogêneas bem definidas com maior área no grupo 3 localizado na região próxima ao litoral.

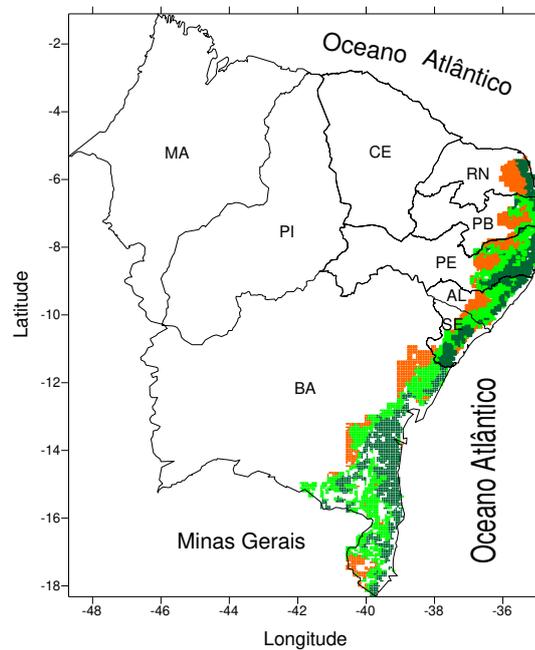
Na década de 80, ocorreu um aumento de 4% na fração vegetação do grupo 3 e redução nos grupos 1 e 2. Na década de 90 a fração vegetação do grupo 1 manteve-se constante em 95 e 96, o grupo 3 apresentou uma redução de 1,5% na fração vegetação (predominância de floresta subperenifólia) e aumento na fração vegetação do grupo 2. Assim sendo verifica-se um aumento da vegetação na região litorânea na década de 80 e uma redução na década de 90.

-Paraíba: No leste do estado da Paraíba, a fração vegetação da área acatingada e parte do agreste foram aumentadas, na região do brejo reduzida e aumentada na região Mata Atlântica. Na década de 90 observa-se que a fração vegetação do grupo 3 aumentou em 4,5% e 2,4% na década de 80. A região do agreste (grupo 1) e brejo (grupo 2) nas duas décadas tiveram redução na fração vegetada superior a 5%. Os resultados observa-se que na década de 90 ocorreu aumento da fração vegetação na área acatingada, agreste e brejo e redução na região da Mata Atlântica.

-Rio Grande do Norte: o estado foi dividido em apenas duas regiões homogêneas, um com 56,73% da fração vegetação e IVDN entre 0,28 e 0,39 e outro com 43,27% e IVDN entre 0,39 e 0,51. Verificou-se que na década de 80 houve uma redução de 0,9% na fração vegetativa para o grupo 1 e conseqüentemente um aumento de 0,9% para o grupo 2. Na década de 90 a fração vegetação apresentou um comportamento semelhante ao

da década anterior, ou seja, redução na fração vegetação na região litorânea e aumento na região mais ao interior. O Estado do Rio Grande do Norte nas duas décadas apresentou redução da vegetação remanescente da Mata Atlântica e aumento na fração no agreste e caatinga.

Com efeito, os resultados obtidos para as regiões de maiores IVDNs, estão diretamente ligadas as maiores alturas pluviométricas, concordando com os resultados obtidos por Braga (2000) para o Nordeste Brasileiro e com Sakar e Kafatos (2004) para o sub-continente Indiano.



**Figura 5.6.6** - Fração Vegetação média para o período de 1982 a 1999 no leste dos Estados do Nordeste (Ba, Se, Al, Pe, Pb e Rn).

## **6 - CONCLUSÕES E SUGESTÃO**

- Os padrões espaciais obtidos através da ACP indicam forte dependência do IVDN as variabilidades anuais da precipitação em toda área estudada, embora se observou que nem sempre as maiores precipitações correspondem aos maiores valores de IVDN.

- Em geral, os IVDN dos anos mais secos correlacionaram-se melhor com primeiros fatores, os anos normais ou chuvosos com os segundos fatores e anos em torno da média com o terceiros fatores em quase todos os estados.

- As maiores variabilidades interanuais do IVDN foram observadas para a vegetação do tipo agreste e caatinga em todos os estados independentes dos anos.

- Os valores mais elevados do IVDN ocorreram na década de 1980, com exceção de Sergipe que ocorreu na década de 1990.

- Em geral a parametrização da quantidade da fração vegetação efetuada em cada grupo homogêneo, revelou que, na década de 1980 houve um aumento da fração na região próxima ao litoral em quase todos os estados. Já na década de 1990 evidencia indícios de redução na quantidade da fração vegetação nos estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, com exceção de Sergipe e Alagoas.

Os resultados obtidos sugerem:

- Determinar a variabilidade sazonal do IVDN e relacioná-lo com os principais fenômenos atmosféricos atuantes no leste do Nordeste, assim como utilizar satélites ambientais de maior resolução espacial para quantificar áreas degradadas e não degradadas da fração da vegetação.

## **7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, S. A. O. Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitações pluviométricas. Tese de Doutorado em Ecologia, Brasília. Universidade de Brasília (DF), p.316, 1997.

AMBIENTE BRASIL – ESTADUAL - Descrição e Características dos Estados Brasileiros. <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>, 2004. Acesso em: 27 de janeiro de 2004.

ANDRADE, M.C.D. Atlas Escolar de Pernambuco, 2ª edição, p. 160, 2003.

BARBOSA, A.H. Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-1985. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p.163, 1998.

BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E; LARENCE, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. Curitiba, Anais, v. 2, p. 30-37, 1993.

BOUROCHE, J.M.; SAPOTA, G. L'analyse des Données. Paris, Presses Universitaires de France, 2ª edição, p.127, 1983.

BRAGA, C.C. Inter-relações entre Padrões de Índices de Vegetação e de Pluviometria no Nordeste do Brasil. Campina Grande, CDRN/CCT/UFPB. 2000. 129p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

BRAGA, C.C.; De BRITO, J. I.B.; SANSIGOLO, C.A.; RAO, T.V.R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 11, p. 149-157, 2003.

CAILLIEZ, F.; PAGES, J.P. Introduction a L'Analyses des Données, p.616. 1976.

CEBALLOS, J.C.; BRAGA, C.C. Missing data assessment in a solarimetric network. International Journal of Climatology, v. 15, n.3, p.325-340, 1995.

DIRETORIA DE ASSUNTOS METROPOLITANOS. Textos e dados sobre a preservação da Mata Atlântica. <<http://genesis.unisantos.com.br>>, 2004. Acesso em: 20 de maio de 2004.

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.

EVERITT, B. Cluster Analysis. Heinemann Education Books, London: Academic Press, 3 edição p. 170, 1993.

FLORESTA BRASIL – MATA ATLÂNTICA – Remanescentes da Mata Atlântica. <[www.florestabrasil.com.br/mataatlant.htm](http://www.florestabrasil.com.br/mataatlant.htm)> , 2004. Acesso em: 25 de janeiro de 2004.

FUNDAÇÃO SOS MATA /INPE/ISA. Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica. Associação no Domínio da Mata Atlântica, 1998.

GARAYLDE, E.J.G.; da SILVA, M.G.A.; TAVARES, A. de SÁ. Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1986, Brasília. Anais., v1, p.119-124, 1986.

GOODRUM, G.; KIDWELL, K. B.; WINSTON, W (Eds.). NOAA KLM user's guide. Washington, D. C. NOAA/NESDIS/NCDC/CSD/SSB, 2001.

GONG, X., RICHMAN, M.B. 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.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). ATLAS NACIONAL DO BRASIL (REGIÃO NORDESTE). Rio de Janeiro, (sem paginação), 1985.

LIU, W.T.H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. *International Journal of Climatology*. v. 14, p. 343-354, 1994.

LIU, W.T.H.; KOGAN, F.N. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*. v. 17, n. 14, p. 2761-2782, 1996.

MASELLI, F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal área by the analysis of multiyear NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. v 89, p. 423-433, 2004.

MELO, M.L.D. de. Efeito da Vegetação em Simulações Numéricas com o Modelo RAMS. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia- UFCG), Campina Grande, p.108, 2003.

NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. *Remote Sensing of Environment*. v. 50, p. 107-120, 1994.

PARKINSON, C.L. "Earth from above". University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, p. 107-111, 1997.

REGIÃO NORDESTE. Climatologia de Precipitação e Temperatura. <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>> 2004. Acesso em: 20 de maio de 2004.

RICHMAN, M. B. Review article on rotation of principal components. *Journal of Climatology*, v.6, p.293-335, 1986.

SAKAR, S.; KAFATOS, M. Interannual variability of vegetation over the Indian sub-continent and its relation to the different meteorological parameters. *Remote Sensing of Environment*. v. 90, p. 268-280, 2004.

SOS MATA - Mata Atlântica e suas formações. <[www.sosmatatlantica.org.br](http://www.sosmatatlantica.org.br)>, 2004. Acesso em: 20 de janeiro de 2004.

STRANG, D.M.G. Análise Climatológica Pluviométrica do Nordeste Brasileiro . Relatório IAE-M-02/72, Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, 70 p. 1972.

WARD, J.H. Hierarchical grouping of optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, v. 58, p. 236-244, 1963.

WESSELS, K.J.; PRINCE, S.D.; FROST, P.E.; ZYL, D. van. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*. v. 91, p. 47-67, 2004.

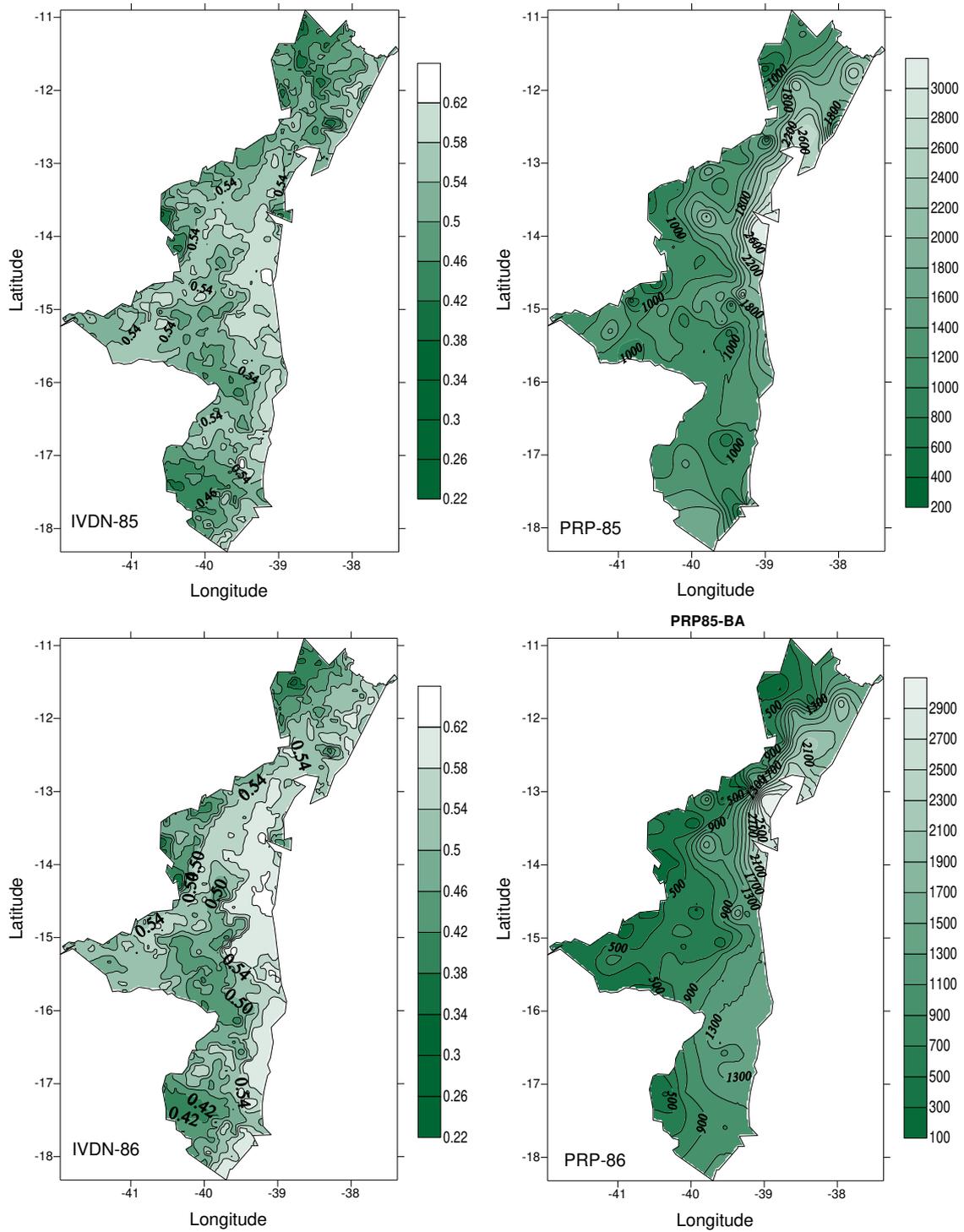
WHITE, D.; RICHMAN, M.; YARNAL, B. Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology*. v. 11, p. 1-25, 1991.

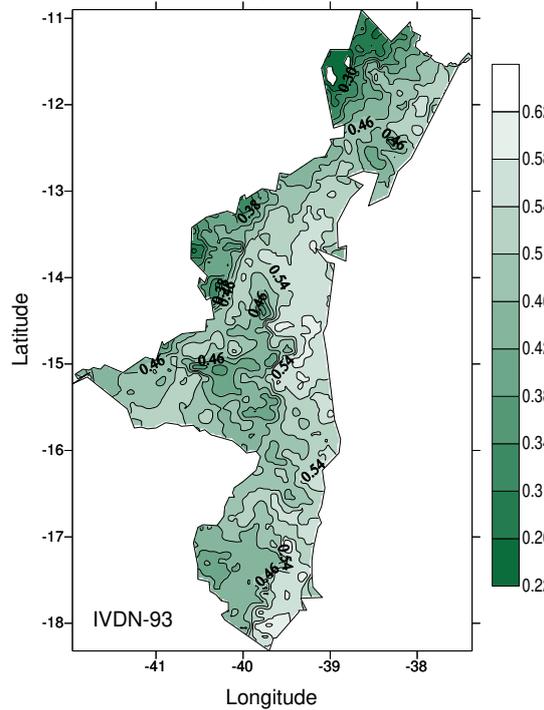
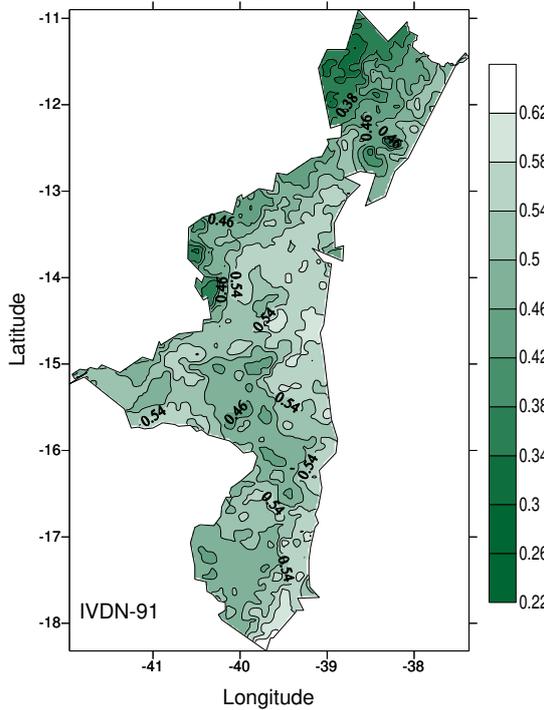
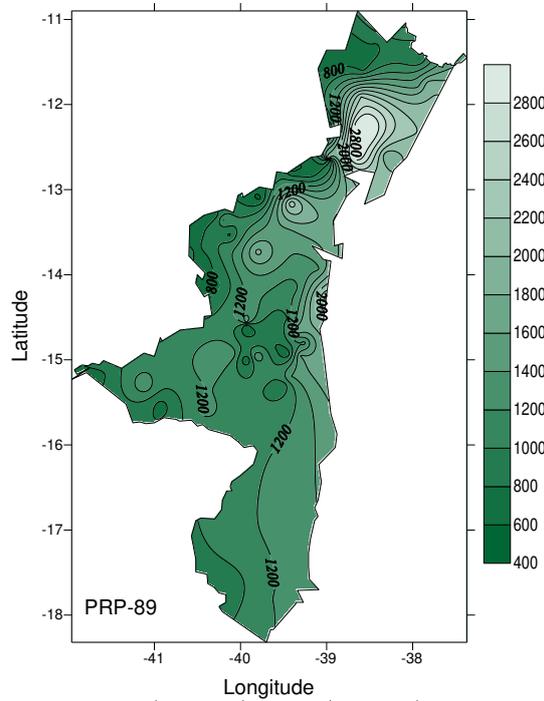
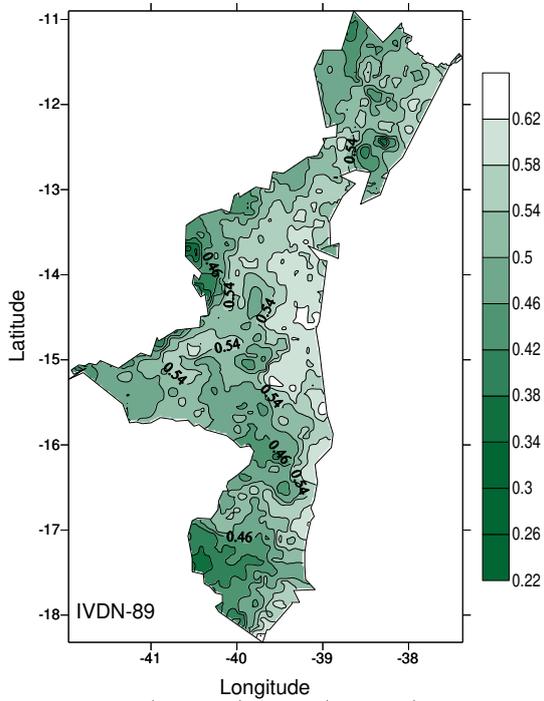
WILKS, S.D. Statistical methods in the atmospheric sciences. London, Academic Press. 464p. 1995.

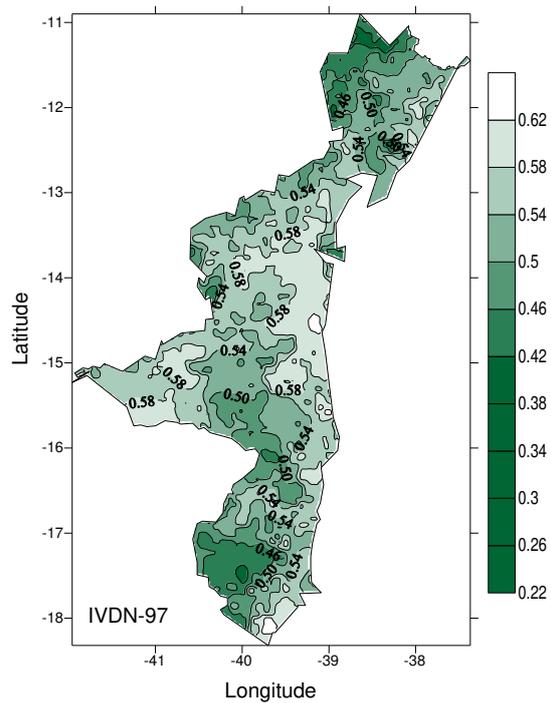
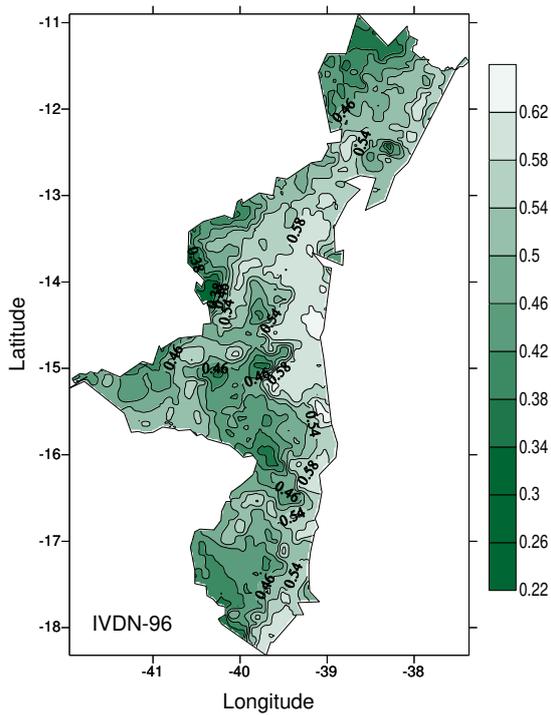
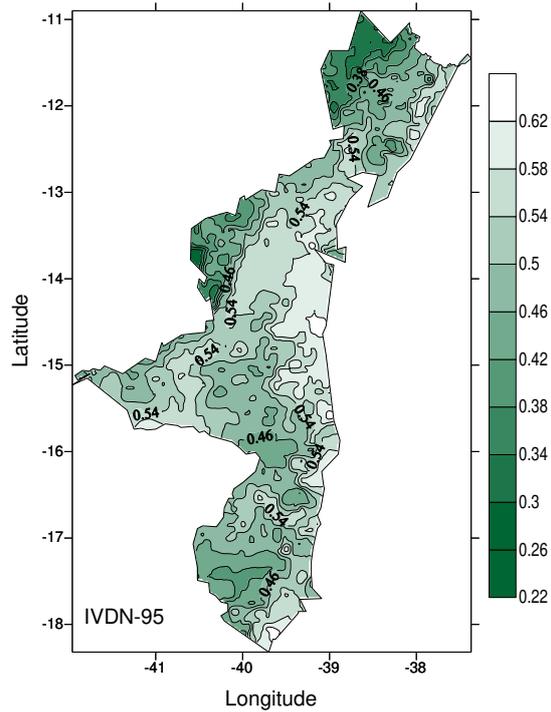
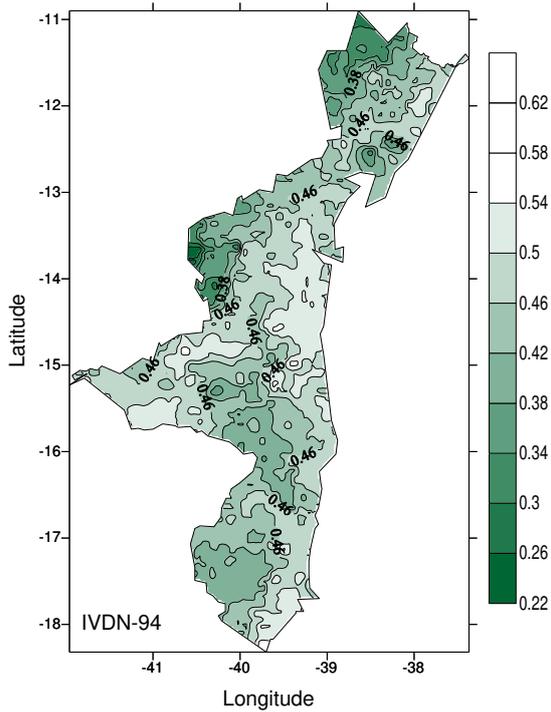
Anexo A- Autovalores mais significativos segundo o critério de Kaiser.

Estados	Fator	Componentes Rotacionais		
		Autovalores	Variância (%)	Acumulada (%)
Bahia	1	6,667	37,094	37,094
	2	5,988	33,267	70,361
	3	3,715	20,639	91,00
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	18	100	100	100
Sergipe	1	6,236	34,642	34,642
	2	5,732	31,847	66,489
	3	3,143	17,459	83,948
	4.	1,387	7,707	91,652
	.	.	.	.
	18	100	100	100
Alagoas	1	5,748	31,936	31,936
	2	5,107	28,374	60,310
	3	3,288	18,267	78,577
	4	2,364	13,131	91,708
	.	.	.	.
	18	100	100	100
Pernambuco	1	7,228	40,157	40,157
	2	4,711	26,173	66,329
	3	4,398	24,432	90,762
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	18	100	100	100
Paraíba	1	6,058	33,654	33,654
	2	5,924	32,909	66,563
	3	4,238	23,544	90,107
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	18	100	100	100
Rio G. Norte	1	7,923	44,018	44,018
	2	6,240	34,669	78,687
	3	2,417	13,425	92,112
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	18	100	100	100

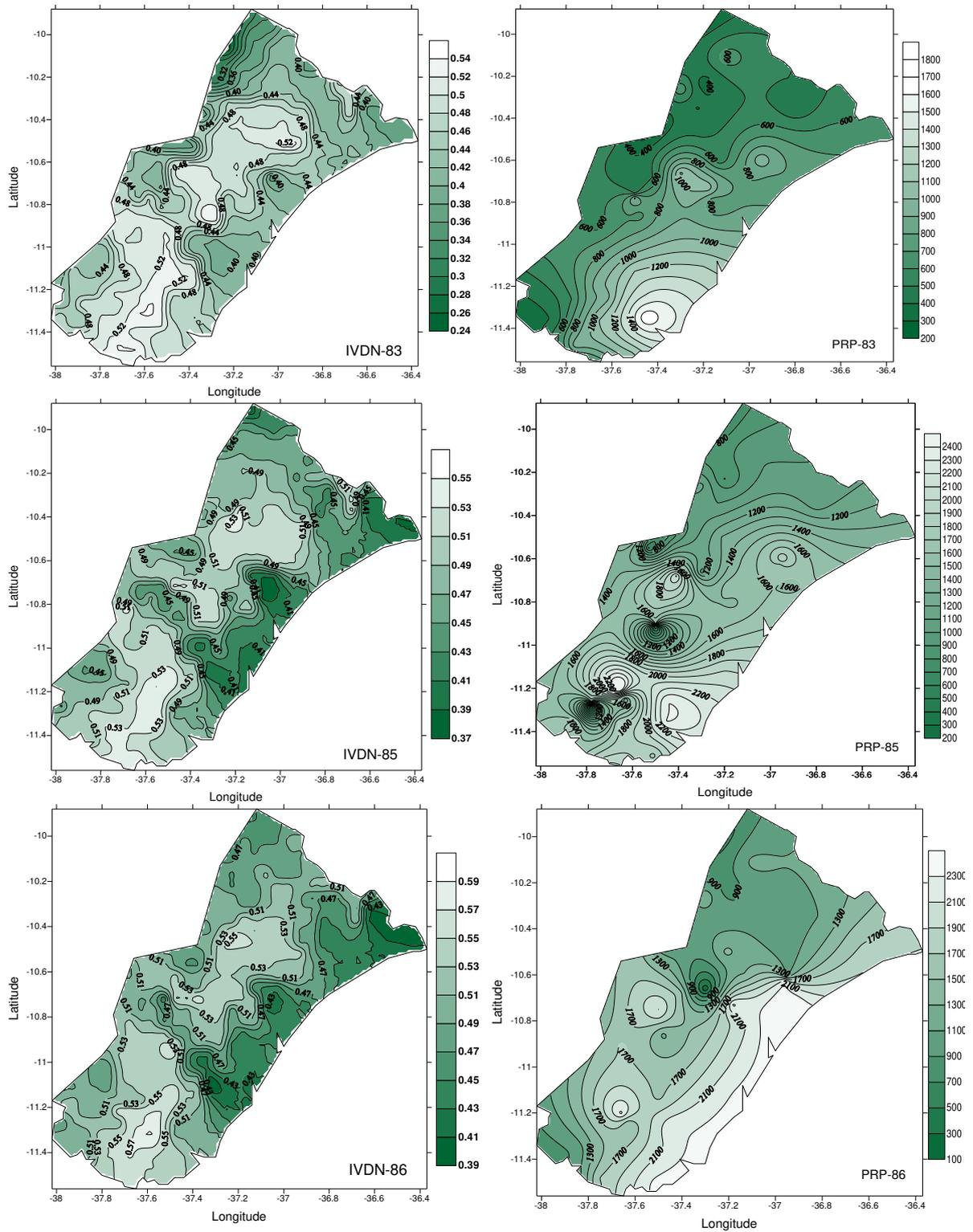
Anexo B – Distribuição espacial do IVDN e das precipitações na Bahia nos anos de 85, 86, 89, 91, 93, 94, 95, 96, 97.

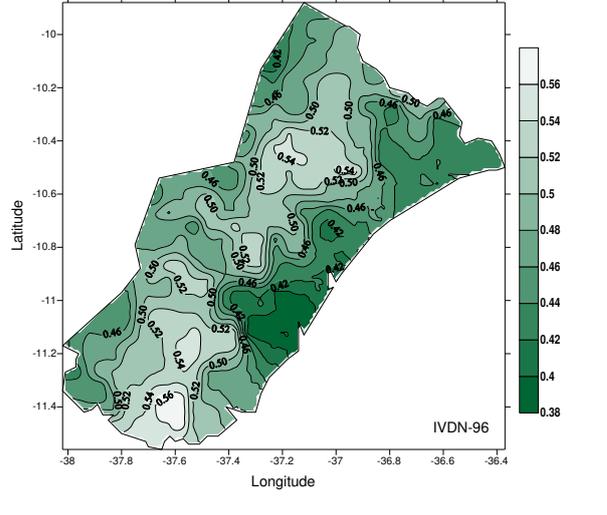
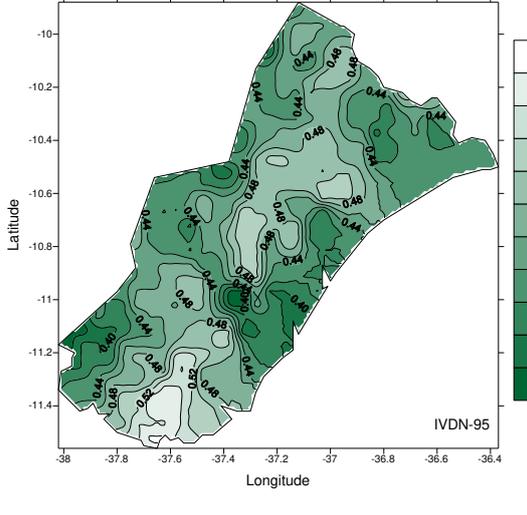
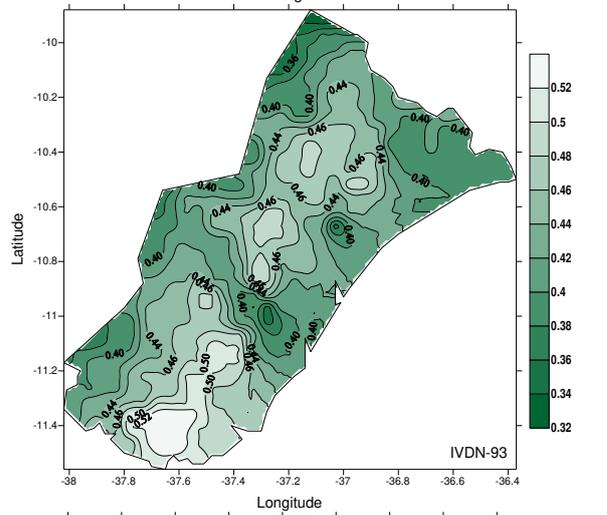
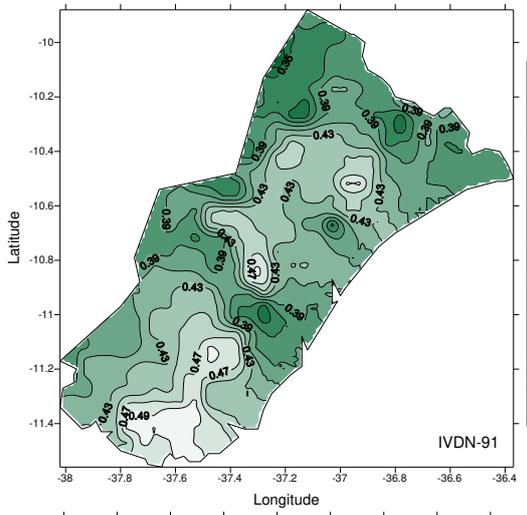
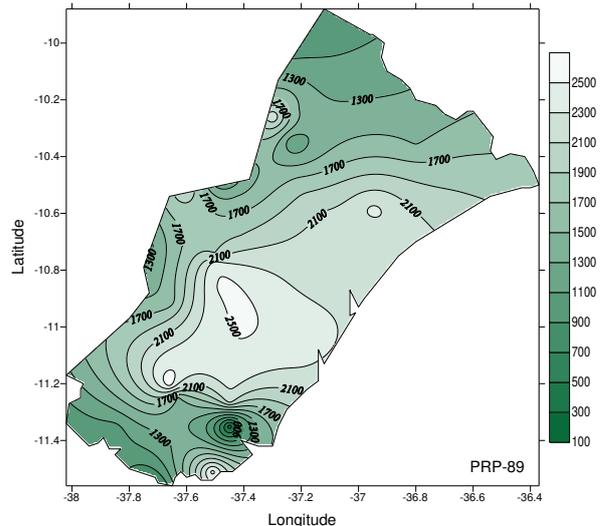
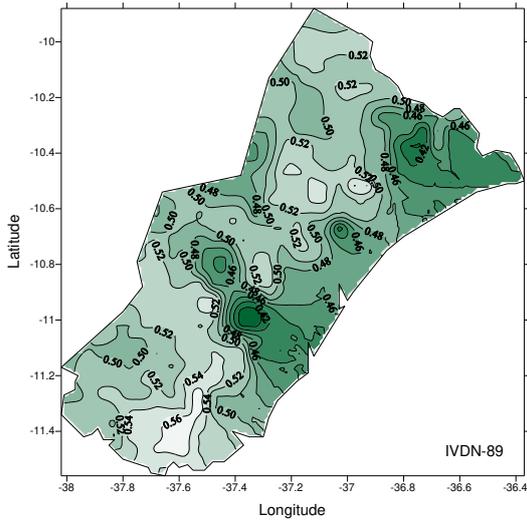




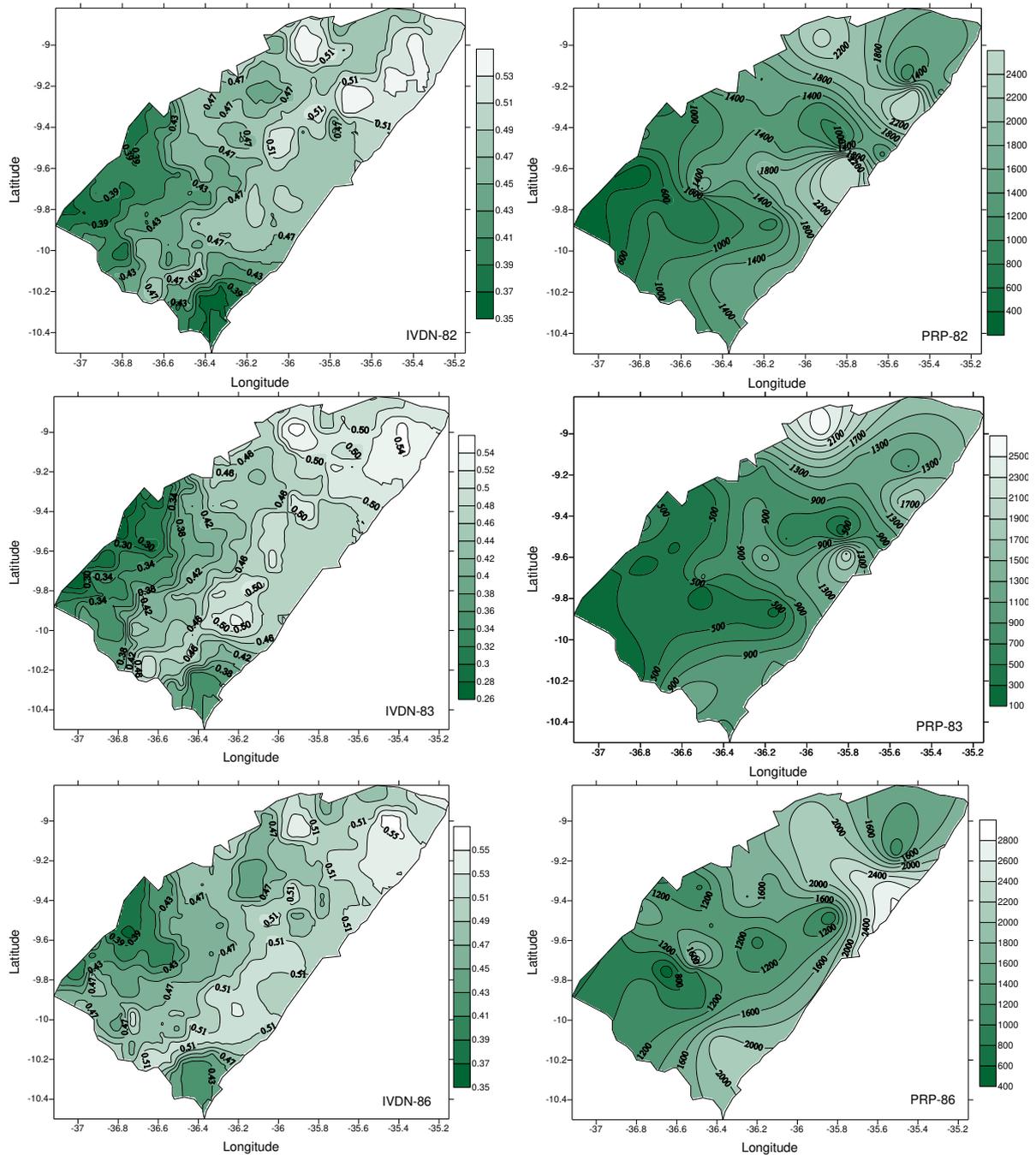


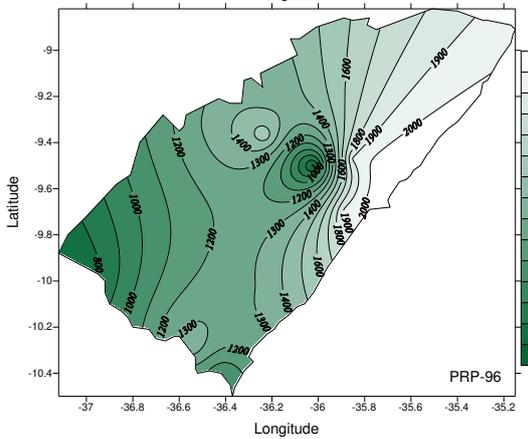
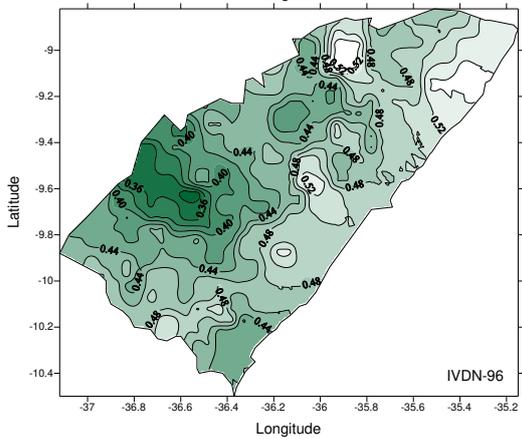
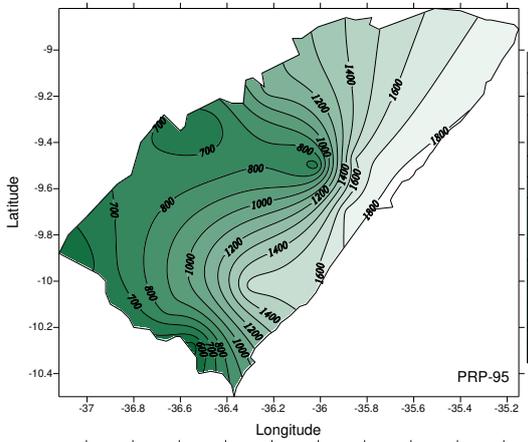
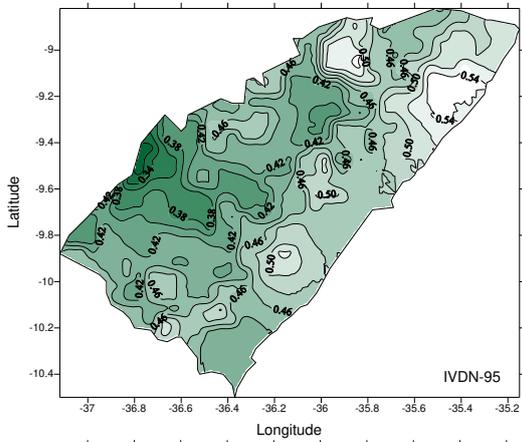
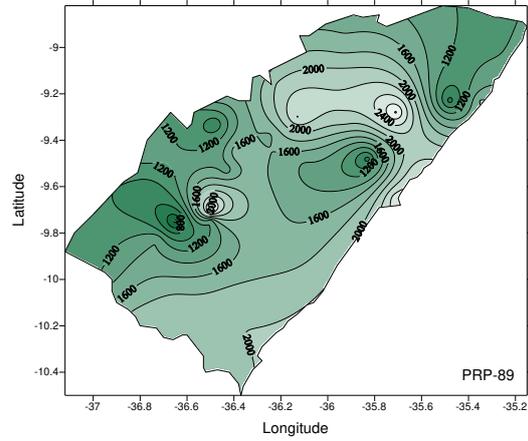
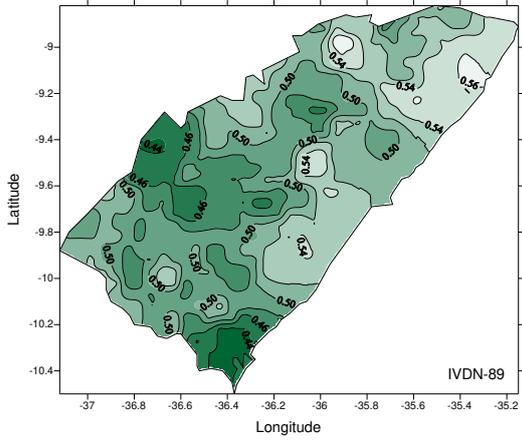
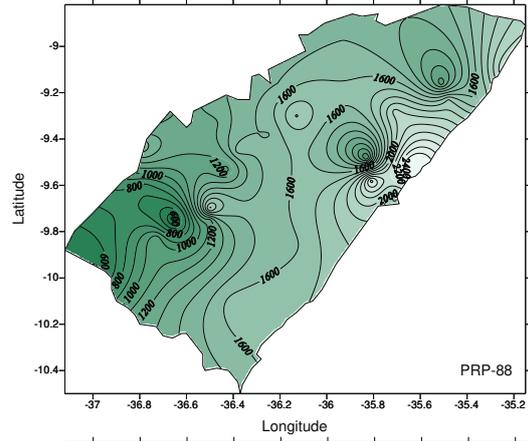
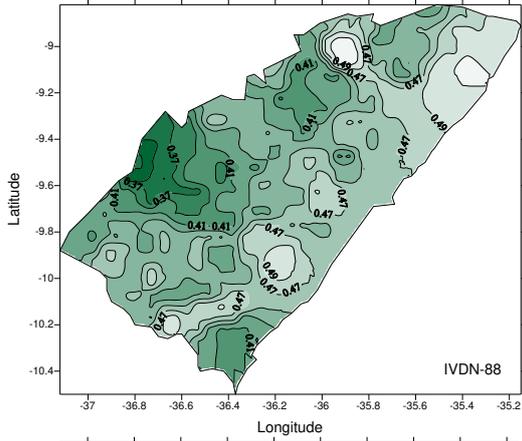
Anexo C- Distribuição espacial do IVDN e das precipitações em Sergipe nos anos de 83, 85, 86, 89, 91, 93, 95, 96.



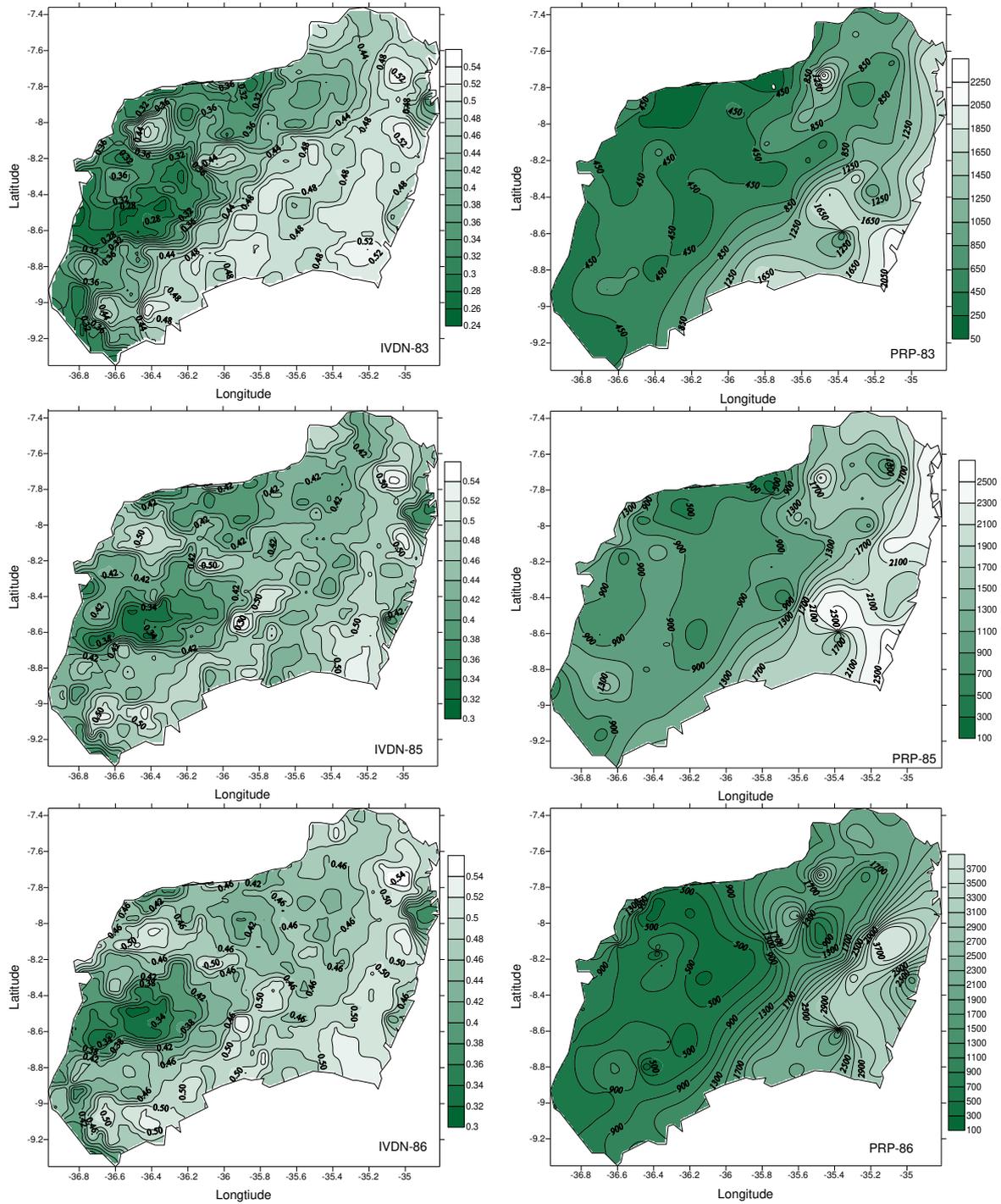


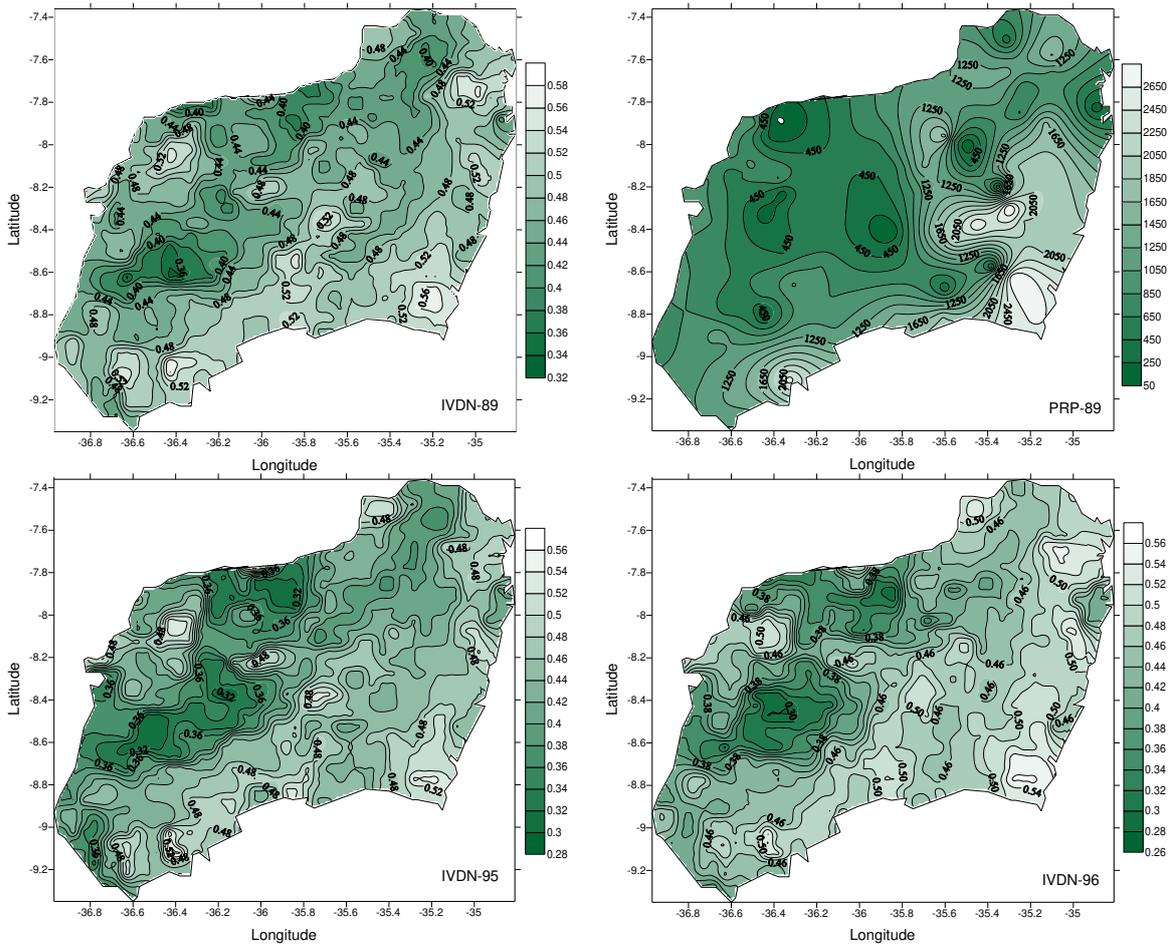
Anexo D- Distribuição espacial do IVDN e das precipitações em Alagoas nos anos de 82, 83, 88, 89, 95, 96.



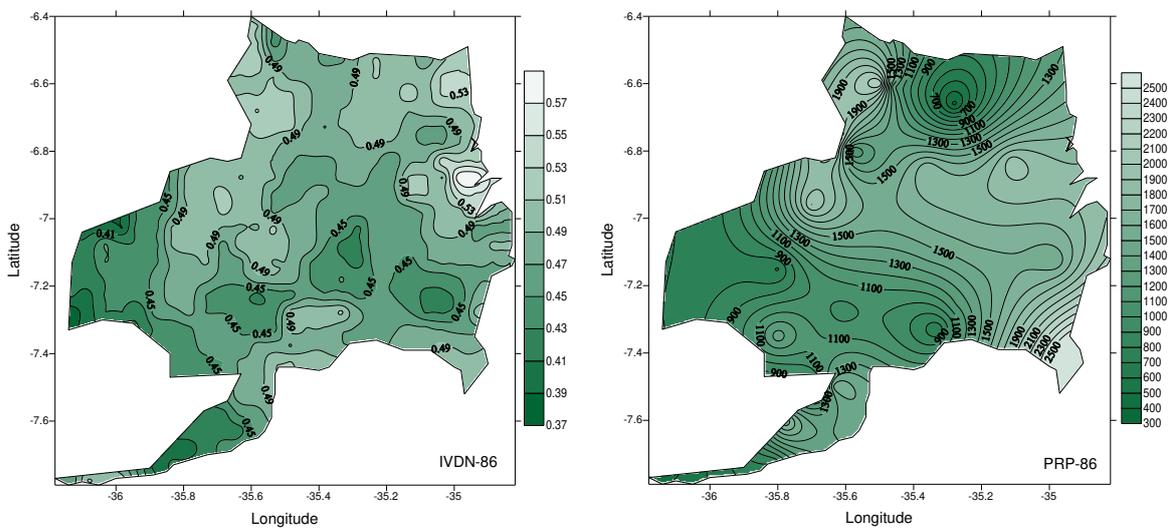


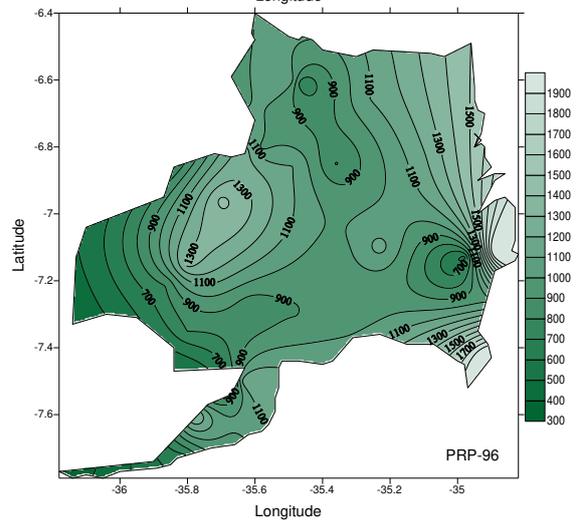
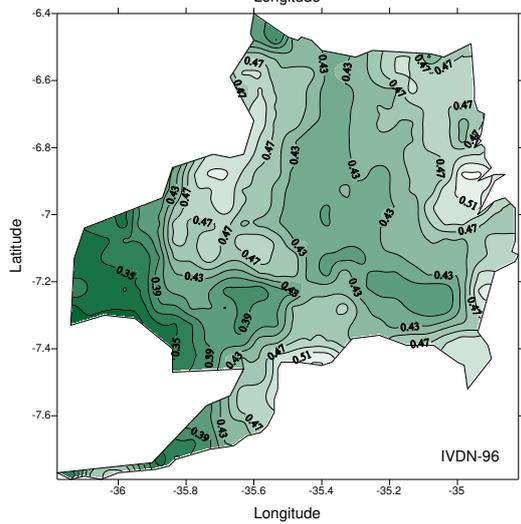
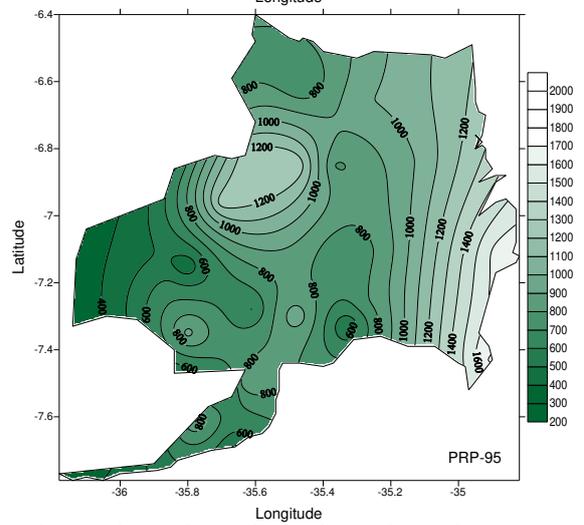
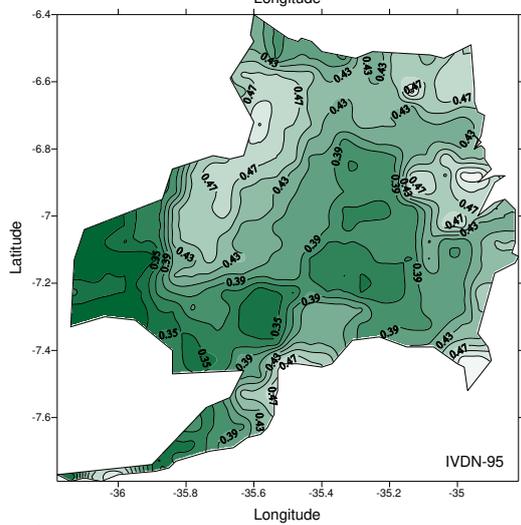
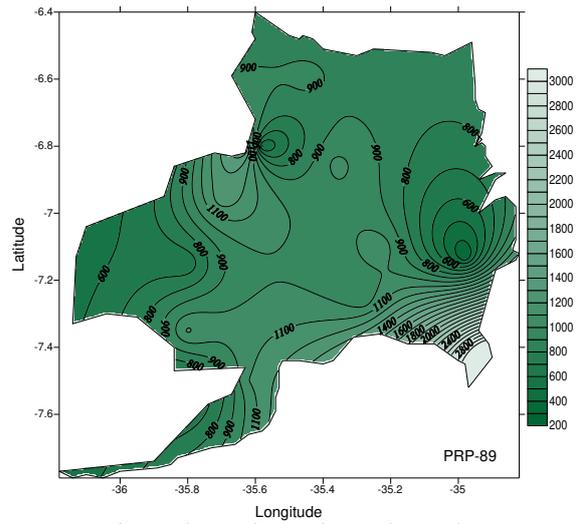
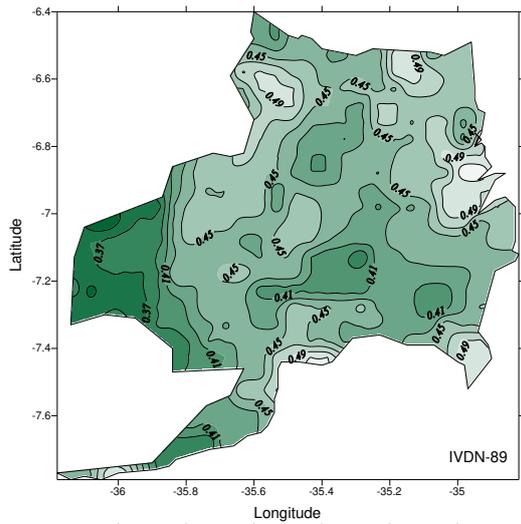
Anexo E - Distribuição espacial do IVDN e das precipitações em Pernambuco nos anos de 83, 85, 86, 89, 95, 96.

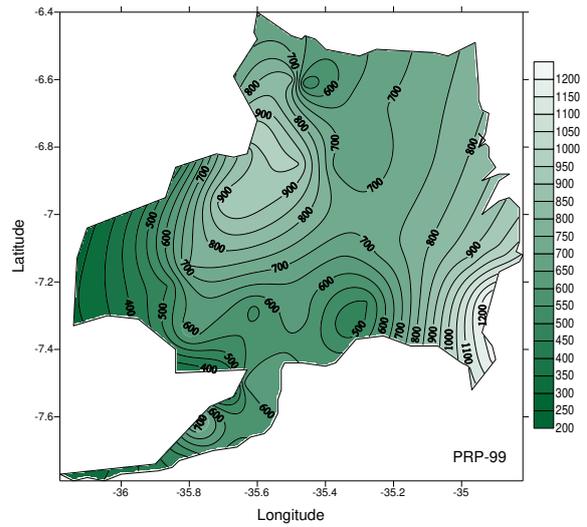
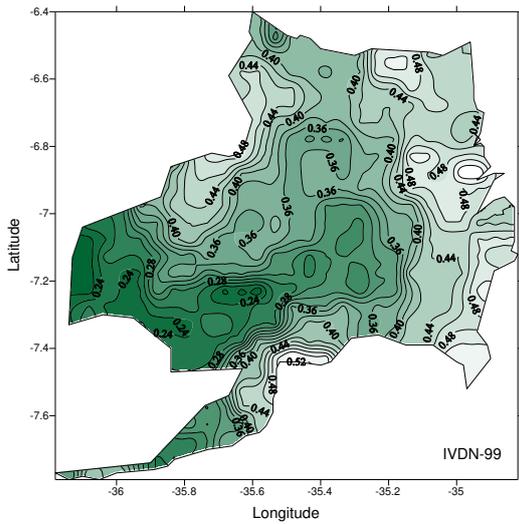




Anexo F - Distribuição espacial do IVDN e das precipitações na Paraíba nos anos de 86, 89, 95, 96, 99.







Anexo G - Distribuição espacial do IVDN e das precipitações em Rio Grande do Norte nos anos de 83, 85, 86, 89, 91, 95, 96.

