



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTIMATIVAS E TENDÊNCIAS DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS COM BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO RIO GRANDE DO  
NORTE E NA PARAÍBA**

**CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS**

**Campina Grande - Paraíba**

**Fevereiro de 2006**

**CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS**

**ESTIMATIVAS E TENDÊNCIAS DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS COM BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO RIO GRANDE DO  
NORTE E NA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de Concentração: **Meteorologia de Meso e Grande Escalas**

Sub-área: **Climatologia**

Orientador: **Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito**

Campina Grande - Paraíba

Fevereiro de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S337e Santos, Carlos Antonio Costa dos Santos  
2006 Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba/ Carlos Antonio Costa dos Santos. — Campina Grande, 2006.  
98f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: José Ivaldo Barbosa de Brito.

1— Mudanças Climática 2— Climatologia 3— Semi-Árido 4— RCLIMDEX  
1.9.0 I- Título

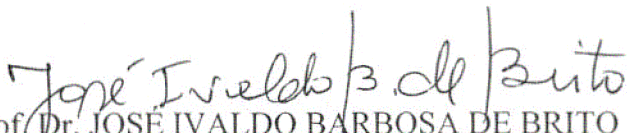
CDU 551.58

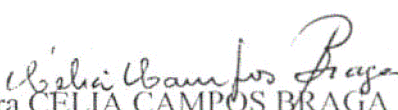
CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS


ESTIMATIVAS E TENDÊNCIAS DE ÍNDICES DE DETECÇÃO DE  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO RIO  
GRANDE DO NORTE E NA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2006

BANCA EXAMINADORA

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

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

  
Prof. Dr. TERCIO AMBRIZZI  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade de São Paulo

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho principalmente a DEUS, o motivo maior da minha existência, sem Ele minha vida não teria nenhum sentido de ser.

*Pois, por meio dele, Deus criou tudo, no céu e na terra, tanto o que se vê como o que não se vê, inclusive todos os poderes espirituais, as forças, os governos e as autoridades. Por meio dele e para ele, Deus criou todo o Universo. (Carta de Paulo aos Colossenses 1:16).*

Aos meus queridos familiares: Maria do Socorro Costa dos Santos (mãe), Ana Deborah Costa Alves (irmã), José Neres da Costa e Maria Eufrásia de Almeida Costa (avós) e Nivagma Dias Clidório (esposa), ofereço.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, minha eterna gratidão por tudo que conquistei, pela fé suficiente para enfrentar os obstáculos e superá-los, pela capacidade que me concedeu em executar um dos principais objetivos da minha vida, pelas pessoas maravilhosas que cruzaram o meu caminho, pelos amigos que compartilharam comigo as dificuldades e as vitórias, enfim, por tudo.

A minha mãe, Maria do Socorro Costa dos Santos, pelo incentivo e exemplo de amor e honestidade.

A minha esposa, Nivagma Dias Clidório, pelo amor, dedicação, companheirismo e compreensão, Te Amo!

A minha família que nos momentos difíceis e na alegria compartilhamos juntos.

Ao professor e orientador desse trabalho, José Ivaldo Barbosa de Brito, pela dedicação, incentivo e por acreditar no meu trabalho.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

A Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), através do Banco de Dados do DCA/CCT/UFCG.

Aos Núcleos Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos.

Aos professores, Célia Campos Braga, Enio Pereira de Souza e Manoel Gomes Filho do DCA/CCT/UFCG e Tércio Ambrizzi do IAG/USP, pelas valiosas sugestões na elaboração desse trabalho.

A Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, na pessoa do professor Bernardo Barbosa da Silva e Divanete Rocha da Cruz, secretária dessa coordenação, pelo apoio e amizade.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas/CCT/UFCG.

Em especial, ao amigo Bergson Guedes Bezerra, pela amizade, companheirismo e apoio.

Ao amigo Janúncio Bezerra de Melo, pela amizade e confiança depositada.

Aos colegas, Kleber Ataíde, Ana Cleide, Lincoln Eloi, João Hugo, Hudson Ellen, Francisco de Assis, Isaier, Cícera, Saulo de Tasso, Rafael Ferreira e Alexandre (in memoriam).

Enfim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta da elaboração deste trabalho, **muito obrigado!!!**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iv
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. OBJETIVOS .....	04
2.1. Objetivo Geral .....	04
2.2. Objetivos Específicos .....	04
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	05
3.1. Variabilidade e Mudança Climática .....	05
3.2. Observações Globais .....	12
3.3. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas .....	17
3.4. Observações Regionais .....	21
3.5. Impacto das Mudanças Climáticas nos Ecossistemas Brasileiros .....	24
3.6. Climatologia do Nordeste do Brasil .....	27
3.7. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) .....	30
3.8. Agricultura e Mudanças Climáticas .....	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	37
4.1 Coleta de Dados .....	37
4.2. Metodologia .....	38
4.2.1. Software RCLimindex 1.9.0 .....	38



4.2.2. Controle de Qualidade dos Dados .....	40
4.2.3. Formato de Entrada dos Dados .....	41
4.2.4. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI .....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
5.1. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI .....	47
5.2. Índices Climáticos e TSM .....	56
5.3. Índices Climáticos e IVDN .....	63
5.4. Índices Climáticos e Área Colhida .....	69
6. CONCLUSÕES .....	75
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
8. ANEXOS .....	92

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1	Distribuição espacial das localidades escolhidas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	38
FIGURA 2	Distribuição espacial das tendências dos Dias Consecutivos Secos (DCS), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .	49
FIGURA 3	Distribuição espacial das tendências dos Dias Consecutivos Úmidos (DCU), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.	49
FIGURA 4	Distribuição espacial das tendências da Precipitação Total Anual (PRCPTOT), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	51
FIGURA 5	Distribuição espacial das tendências do Número de Dias em um ano em que a Precipitação foi acima de 50 mm (R50mm), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	51
FIGURA 6	Distribuição espacial das tendências do Índice Simples de Intensidade Diária (SDII), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	53
FIGURA 7	Distribuição espacial das tendências da Quantidade Máxima de Precipitação em um dia (Rx1day), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	54
FIGURA 8	Distribuição espacial das tendências da Quantidade Máxima de Precipitação em cinco dias consecutivos (Rx5day), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	54
FIGURA 9	Distribuição espacial das tendências dos Dias Muito Úmidos (R95p), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba .....	55
FIGURA 10	Distribuição espacial das tendências dos Dias Extremamente Úmidos (R99p), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.	55
FIGURA 11	Variabilidade temporal dos índices DCS e TNA, ( $r = 0,266$ ) .....	59
FIGURA 12	Variabilidade temporal dos índices DCS e TSA, ( $r = -0,225$ ) .....	59
FIGURA 13	Variabilidade temporal dos índices R95p e Niño 1+2, ( $r = -0,408$ ) .....	60

FIGURA 14	Variabilidade temporal dos índices R95p e Niño 3, ( $r = -0,382$ ) .....	60
FIGURA 15	Variabilidade temporal dos índices R95p e TNA, ( $r = -0,394$ ) .....	61
FIGURA 16	Variabilidade temporal dos índices Rx5day e Niño 1+2, ( $r = -0,340$ ) .....	61
FIGURA 17	Variabilidade temporal dos índices Rx5day e Niño 3, ( $r = -0,291$ ) .....	62
FIGURA 18	Variabilidade temporal dos índices Rx5day e TNA, ( $r = -0,231$ ) .....	62
FIGURA 19	Variabilidade temporal do índice DCU e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,452$ ) .....	66
FIGURA 20	Variabilidade temporal do índice DCU e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,786$ ) .....	66
FIGURA 21	Variabilidade temporal do índice R95p e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,604$ ) .....	67
FIGURA 22	Variabilidade temporal do índice R95p e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,848$ ) .....	67
FIGURA 23	Variabilidade temporal do índice Rx5day e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,567$ ) .....	68
FIGURA 24	Variabilidade temporal do índice Rx5day e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,901$ ) .....	68
FIGURA 25	Variabilidade temporal do índice DCU e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,521$ ) .....	72
FIGURA 26	Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,557$ ) .....	72
FIGURA 27	Variabilidade temporal do índice Rx5day e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,662$ ) .....	73
FIGURA 28	Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,482$ ) .....	73
FIGURA 29	Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida de algodão arbóreo, algodão herbáceo e sisal, ( $r = 0,291$ ) .....	74

LISTA DE TABELAS

Pág.

TABELA 1	Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O .....	14
TABELA 2	Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM	57
TABELA 3	Correlações entre os índices extremos de chuva e o IVDN .....	64
TABELA 4	Correlações entre os índices extremos de chuva e a Área Colhida .....	71
TABELA 5	Índices de chuva com suas definições e unidades. RR é o valor da precipitação diária. Um dia úmido tem RR≥1mm e um dia seco tem RR<1mm. Todos os índices são calculados anualmente de janeiro a dezembro .....	92
TABELA 6	Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 44 estações .....	93
TABELA 7	Correlações simples entre os índices selecionados, anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, TNA e TSA, IVDN e Área colhida (AC) do Sertão (SER), Agreste, Zona da Mata e Litoral (LIT) e algodão arbóreo, herbáceo e sisal (ALG. E SISAL) .....	95
TABELA 8	Tendências dos índices (DCS, DCU, SDII, PRCPTOT e R50mm) dependentes da precipitação pluvial referentes às 44 estações .....	97
TABELA 9	Tendências dos índices (R95p, R99p, Rx1day e Rx5day) dependentes da precipitação pluvial referentes às 44 estações .....	98

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS

RN - Rio Grande do Norte

PB - Paraíba

GEE - Gases de efeito estufa

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

ONU - Organização das Nações Unidas

OMM - Organização Meteorológica Mundial

IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

TNA - Tropical Northern Atlantic (Atlântico Tropical Norte)

TSA - Tropical Southern Atlantic (Atlântico Tropical Sul)

NCEP - Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

MCG - Modelo de Circulação Geral

ppmv - Partes por milhão e volume

ppbv - Partes por bilhão e volume

ENOS - El Niño Oscilação Sul

CCI/CLIVAR - International Research Programme on Climate Variability Predictability (Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática)

ETCCDMI - Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas)

DPO - Oscilação Decadal do Pacífico

NEB - Nordeste do Brasil

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer (Radiômetro Avançado de Alta Resolução)

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica)

GIMMS - Global Inventory Modeling and Monitoring Study (Estudo de Monitoramento e Modelagem Inventaria Global)

GSFC - Goddard Space Flight Center (Centro Espacial de Vôo Goddard)

NASA - National Aeronautics & Space Administration (Agência National Aeronáutica e Espacial)

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

DCA - Departamento de Ciências Atmosféricas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

PRCPTOT - Precipitação total anual nos dias úmidos

SDII - Índice simples de intensidade diária

DCS - Dias consecutivos secos

DCU - Dias consecutivos úmidos

Rx1day - Quantidade máxima de precipitação em um dia

Rx5day - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias

R50mm - Número de dias com precipitação acima de 50mm

R95p - Dias muito úmidos

R99p - Dias extremamente úmidos

## SÍMBOLOS

NO<sub>x</sub> - Óxido de Nitrogênio

O<sub>3</sub> - Ozônio

N<sub>2</sub> - Nitrogênio

O<sub>2</sub> - Oxigênio

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CH<sub>4</sub> - Metano

N<sub>2</sub>O - Óxido Nitroso

H<sub>2</sub>O - Vapor D'água

CO - Monóxido de Carbono

°C - Graus Celsius

cm - Centímetro

m - Metro

mm - Milímetro

mm/ano - Milímetro por ano

$\mu\text{m}$  - Micrômetro

$\alpha_1$  - Reflectância na região do vermelho

$\alpha_2$  - Reflectância na região do infravermelho próximo

km - Quilômetro

std - Desvio - Padrão

PRCP - Precipitação

TMAX - Temperatura Máxima

TMIN - Temperatura Mínima

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é estimar e verificar a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial diária, definidos pela OMM, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, analisar suas relações com o IVDN, com as anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, TNA e TSA e com áreas de produção agrícola do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão. Utilizou-se dados diários de 44 postos de precipitação pluvial da antiga rede de postos pluviométricos da SUDENE e dos núcleos estaduais de meteorologia e recursos hídricos, os quais apresentaram dados com qualidade confiável e representam todas as microrregiões dos dois Estados, dados de IVDN cedidos pelo NOAA/AVHRR, da área colhida disponibilizados pelo IBGE e dados das anomalias de TSM obtidos através da NOAA. Os resultados obtidos mostram um aumento predominante nos índices Dias Consecutivos Úmidos (DCU), Precipitação Total Anual (PRCPTOT), Quantidade Máxima de Precipitação em um dia (Rx1day) e Dias Extremamente Úmidos (R99p). As tendências dos DCS estão melhores correlacionadas com as condições do Oceano Atlântico, enquanto os índices de precipitações extremas (R95p e Rx5day) mostraram correlações com significância estatística de 99% com as duas regiões do Pacífico e com a região TNA, do Atlântico. Os índices DCU, R95p e Rx5day apresentaram correlações significantes com o IVDN das duas áreas analisadas. Conclui-se que nos dois Estados houve um aumento do número de dias com chuvas, o total anual de chuva aumentou, porém com menores eventos extremos, assim como, a quantidade máxima de precipitação em um dia e o número de dias extremamente úmidos. Com isso, as alterações nos regimes climáticos apontam para um caráter global, porém não pode ser afirmado categoricamente que estas tendências estão relacionadas com uma mudança global do clima, pois, para localidades isoladas verificaram-se tendências negativas e positivas em todos os índices analisados o que demonstra o aspecto regional. De acordo com os resultados obtidos pode-se observar que a atuação do ENOS tem grande influência sobre o clima do NEB, principalmente sobre os eventos extremos. Os índices extremos de chuva demonstraram boa correlação com a dinâmica da vegetação. Enquanto, a área colhida de produção agrícola do Sertão, dos dois Estados, está relacionada com DCU e precipitações extremas.

**Palavras – Chaves:** RCLimdex 1.9.0, mudanças climáticas, semi-árido.



## ABSTRACT

The objective of this work is to compute and to analyze the tendencies of the climates changes detection indices, dependent of the daily pluvial precipitation, defined by OMM, on the states of Rio Grande do Norte and Paraíba, as well as, to analyze their relationships with NDVI, with the SST anomalies in the areas of Niño 1+2, Niño 3, TNA and TSA and with areas of agricultural production of the Agreste, Forest Zone and Coast Areas and of the Semi-arid Area. For reach the objectives were used daily precipitation data from 44 sites from the SUDENE and from the meteorology state centers, which presented data with reliable quality and represent all the areas of both States, besides presenting a good space distribution. Data of IVDN, of areas of agricultural production and of SST anomalies also were used. The obtained results showed a predominant increase in the indices Consecutive Wet Days (CWD), Annual Total Wet-Day Precipitation (PRCPTOT), Max 1-day precipitation amount (Rx1day) and Extremely wet days (R99p). The Consecutive Dry Day (CDD) tendencies are correlated with the conditions of the Atlantic Ocean, while the indices of extreme precipitations (R95p and Rx5day) showed correlations with statistical significance of 99% with the two areas of the Pacific Ocean and with the area TNA of the Atlantic Ocean. The indices CWD, very wet days (R95p) and Max 5-day precipitation amount (Rx5day) presented significant correlations with NDVI of the two analyzed areas. It is concluded that there was an increase of the CWD on both States, the annual total precipitation increased, however with smaller extreme events, as well as, the Rx1day and the R99p. With that, the alterations in the climatic regimes show a global character, however it cannot be affirmed categorically that these tendencies are related with a global change of the climate, because, negative and positive tendencies for isolated places were verified in all the analyzed indexes what demonstrates the regional aspect. In agreement with the obtained results it can be observed that the performance of ENOS has great influence on the climate of NEB, mainly on the extreme events. The maximum event intensity demonstrated good correlation with the dynamics of the vegetation. While, the harvested area of agricultural production of the Semi-arid region, of both States, it is related with DCU and extreme precipitations.

**Keywords: RClimdex 1.9.0, climate change, semi-arid.**

## 1. INTRODUÇÃO

A atmosfera, camada de ar que envolve o planeta Terra, é constituída por vários gases. Os principais são o Nitrogênio ( $N_2$ ) e o Oxigênio ( $O_2$ ) que, juntos compõem cerca de 99% da atmosfera. Outros gases encontram-se presentes em pequenas quantidades. Dentre estes, estão os *gases de efeito estufa* (GEE) como, dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ), o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o vapor d'água ( $H_2O$ ). Estes gases são assim denominados, por terem a capacidade de reter o calor na atmosfera, do mesmo modo que o revestimento de uma estufa para cultivo de plantas. O efeito estufa é um fenômeno natural. O vapor d'água e o dióxido de carbono têm a propriedade de permitir que as ondas eletromagnéticas que chegam do Sol atravessem a atmosfera e aqueçam a superfície terrestre e dificultar a saída da radiação infravermelha emitida pela Terra. Isto impede que ocorra uma perda demasiada de calor irradiado para o espaço, especialmente à noite, mantendo, assim, a Terra aquecida.

Quando se fala em mudança climática e em aquecimento global, refere-se ao incremento, além do nível normal, da capacidade da atmosfera em reter calor. Isto vem acontecendo devido a um progressivo aumento na concentração dos GEE na atmosfera nos últimos 100 anos. Tal aumento tem sido provocado pelas atividades humanas que

produzem emissões destes gases. Este aumento no efeito estufa poderá ter consequências sérias para a vida na Terra. Entre os GEE que estão aumentando de concentração, o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, é o que tem maior contribuição para o aquecimento global. Suas emissões representam aproximadamente 55% do total das emissões mundiais de GEE. O tempo de permanência do gás carbono na atmosfera é, no mínimo, de cem anos. Isto significa que as emissões de hoje têm efeitos de longa duração, podendo resultar em impactos no regime climático ao longo de séculos. Por sua vez, a quantidade de metano emitida para atmosfera é bem menor, mas seu poder estufa (potencial de aquecimento) é vinte vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (Moreira, 2003).

Conforme o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) da Organização das Nações Unidas (ONU) como resultado do aumento da concentração de GEE na atmosfera, a temperatura média global deverá aumentar, tomando como base o ano de 1990, entre 1,4 e 5,8°C até o ano de 2100, o que representa um aumento maior e mais rápido do que inicialmente projetado pelos primeiros modelos climatológicos (1,5 a 3,5°C).

Além do aumento da temperatura do planeta, outros impactos ambientais podem ocorrer em consequência das mudanças climáticas, tais como: mudanças no regime de precipitação nas diferentes regiões do globo, na agricultura, nas florestas, nos recursos hídricos, nas áreas costeiras, os impactos nas espécies biológicas e nas áreas naturais e na saúde são alguns exemplos de pontos que terão impactos decorrentes das mudanças climáticas exemplificando a grande vulnerabilidade associada aos sistemas naturais (IPCC, 2002).

Por outro lado, outros fatores que podem modificar o clima de uma região são o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. Estes fatores alteram o clima regional e

assim, contribui para as alterações no sistema global. Entretanto, localmente estes fatores podem ter uma importância mais relevante do que os GEE.

Em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semi-árido, as mudanças climáticas mais drásticas podem ocorrer através da soma das ações produzidas pelos GEE com o mau uso e desflorestamento dos ecossistemas locais.

Em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial. De acordo com as tendências destas variáveis para um determinado local é observado se ocorreram mudanças no clima. Entretanto, para melhor definir esta questão a OMM criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de mudanças climáticas. Ao todo foram definidos 27 (vinte e sete) índices, sendo que alguns destes são aplicados para latitudes médias, outros para os trópicos e parte deles são válidos para qualquer local. Destes índices 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar.

Em regiões como o Nordeste do Brasil, principalmente no semi-árido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como, da sua variabilidade e de mudança em longo prazo. Portanto, para este trabalho, que tem como objetivo verificar possíveis mudanças climáticas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba utilizou-se os índices de detecção de mudanças climáticas dependentes da precipitação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 – Objetivo Geral**

A presente pesquisa objetivou analisar a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial diária, definidos pela OMM, para os estados do RN e PB, assim como, analisar suas relações com o IVDN, com as anomalias de temperatura nas regiões de Niño 1+2<sup>1</sup>, Niño 3<sup>1</sup>, TNA<sup>1</sup> e TSA<sup>1</sup> e com áreas de produção agrícola do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão.

### **2.2 – Objetivos Específicos**

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- estimativa das séries de dias consecutivos secos e úmidos;
- análise da tendência da precipitação total anual;
- construção de uma série histórica com o número de dias anuais em que a precipitação foi superior a 50 mm;
- análise da tendência da precipitação máxima mensal em 1 e 5 dias consecutivos;
- estimativa das séries de dias muito úmidos e extremamente úmidos;
- verificação da relação entre a tendência anual de longo prazo da precipitação pluvial com o IVDN, anomalias da TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico e com áreas de produção agrícola;

---

<sup>1</sup> Regiões do Pacífico e Atlântico definidas pelo NCEP (Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América).

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - Variabilidade e Mudança Climática**

Segundo Tucci (2002) as definições utilizadas na literatura, sobre alterações climáticas, se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2001) define mudança climática como sendo as mudanças temporais do clima devido à variabilidade natural e/ou resultados de atividades humanas. Outros autores adotam, para o mesmo termo, a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente às atividades humanas que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período.

De forma geral, o termo “variabilidade climática” é utilizado para as variações de clima em função dos condicionantes naturais do planeta e suas interações, daí a denominação de variabilidade natural do clima. Já as “mudanças climáticas” seriam as alterações na variabilidade natural do clima devido às atividades humanas. Desta forma, é necessário identificar se está ocorrendo alteração na variabilidade natural para se poder afirmar que está havendo mudança climática. Em outras palavras, a variabilidade climática é a flutuação do clima em um período de tempo inferior a uma década após cessar o efeito

do evento o clima retorna aos valores anteriores. Enquanto, na mudança climática, o clima não retorna aos padrões anteriores, ou seja, ele passa a apresentar novas características.

De acordo com Conti (2000) para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a evolução do comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para outro ou mesmo de uma década para outra, podendo-se verificar flutuações a curto, médio e longo prazos.

Existe uma série de dificuldades para separar os efeitos das atividades humanas no clima e a sua variabilidade natural, sobretudo, porque o sistema climático é extremamente complexo e sua dinâmica ainda não é completamente compreendida, por mais que se tenha avançado no conhecimento sobre o sistema Terra-Atmosfera.

Com o questionamento sobre o desmatamento das florestas, redução da camada de ozônio e o agravamento do efeito estufa a preocupação com o comportamento climático do globo devido aos efeitos antrópicos agravou-se na década de 80. Tucci (2002) acredita que o acidente nuclear de Chernobyl foi um grande divisor deste processo, pois este acidente mostrou de maneira inequívoca que ações produzidas em uma parte da Terra poderiam afetar as populações de regiões muito distantes da fonte. Portanto, ficou evidente que a queima de combustíveis fósseis em um dado local pode modificar a concentração de CO<sub>2</sub> globalmente.

Utilizando-se da prerrogativa de que o aumento na quantidade de CO<sub>2</sub> produz uma elevação da temperatura da baixa atmosfera, vários eventos foram organizados no sentido de discutir a problemática da mudança climática global e assim foi implantado em 1988, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial – (OMM), o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, com o objetivo de: (1) avaliar as informações científicas existentes sobre a mudança

do clima, (2) avaliar os impactos ambientais e socioeconômicos da mudança do clima e (3) formular estratégias de respostas a estes impactos.

Os Relatórios de Avaliação do IPCC o tornam mais conhecido, pois são amplamente reconhecidos como as fontes mais confiáveis de informações sobre a mudança do clima. O Primeiro destes Relatórios foi finalizado em agosto de 1990 e serviu de base para a negociação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Em 1992 o IPCC também concluiu seu Suplemento para continuar auxiliando o processo da Convenção.

O Painel elaborou o Segundo Relatório de Avaliação, em 1995, não apenas atualizando as informações da Primeira Avaliação, mas também incluindo a nova área temática de questões técnicas relacionadas com os aspectos econômicos da mudança do clima. Neste documento foram discutidos o sistema climático físico, fatores que induzem à mudança do clima e análises do clima no passado além de sugerir que o balanço das evidências indica uma nítida influência do homem sobre o clima através das emissões de GEE (IPCC, 1995).

Com o Terceiro Relatório de Avaliação, anunciado oficialmente em 21 de janeiro de 2001, o IPCC afirmou que há novas e mais fortes evidências de que a maior causa do aquecimento global observado nos últimos 50 anos é atribuível a atividades humanas (IPCC, 2001). Os cenários para os próximos 100 anos (até 2100), são o aumento da temperatura média global entre 1,4 a 5,8 °C e aumento no nível dos mares causado pela expansão térmica dos oceanos e o derretimento das calotas polares entre 0,09 e 0,88 metros. Se as previsões se confirmarem, espera-se um aumento na incidência de ondas de calor, inundações e secas. Por isto, o IPCC procura estabelecer normas internacionais de controle



de emissões dos GEE, como o Protocolo de Kyoto. O acordo, assinado em 1997, que entrou em vigor, a partir de 14 de fevereiro de 2005.

Segundo Abreu (2000), a ferramenta utilizada atualmente para a investigação destas possíveis mudanças climáticas são os chamados Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Estes modelos descrevem a atmosfera de forma global, utilizando equações matemáticas para prescrever as leis físicas que regem a atmosfera. De acordo com a mesma autora, tais modelos são importantes para que se possam avaliar as implicações de uma mudança na composição química da atmosfera. Porém, chama atenção para o fato dos modelos atuais serem limitados pelo conhecimento científico sobre a dinâmica da atmosfera e aos recursos computacionais disponíveis.

Mesmo existindo toda uma credibilidade envolvendo o IPCC, em função de que em suas reuniões estão presentes cientistas do mundo inteiro, representando diferentes áreas do conhecimento, e que utilizam os MCGAs para a elaboração de cenários de mudanças climáticas devido ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, alguns cientistas colocam em dúvida as afirmações de seus Relatórios de Avaliação.

Mesmo assim, devido ao seu grau de responsabilidade, o IPCC continua a apresentar cenários, confiáveis, de mudanças climáticas, bem como, diagnósticos das condições atuais do clima. A propósito, o relatório do IPCC de 2001 aponta o século XX como o mais quente do milênio, presumivelmente devido, em grande parte, à atividade econômica humana (usinas de energia e automóveis), responsável pela emissão de GEE (principalmente o CO<sub>2</sub>), cujo acúmulo favorece o aquecimento global. Existem, porém, argumentos contrários ao aumento da temperatura e, segundo Molion (1995; 2001), é

provável que os MCGAs não sejam adequados para tais previsões, embora eles sejam, no presente, as únicas ferramentas disponíveis para este tipo de estudo.

Os modelos matemáticos utilizados pelo IPCC enfrentam vários questionamentos. Soon e Baliunas (2003) explicam que cada vez fica mais claro que o registro principal adotado pelo IPCC apresenta uma tendência a subestimar variações climáticas naturais em escalas de tempo que vão de várias décadas a um século. Através da análise de fósseis biológicos, taxas de acúmulo de gelo, sedimentos no leito marinho e anéis das árvores, entre outros indicadores denominados de “*Proxy* paleoclimáticos”.

De maneira geral, Soon e Baliunas (2003) sugerem que as medições que fundamentam as políticas globais estão incorretas e esclarecem que o objetivo principal do estudo foi conseguir a compreensão da alteração climática em níveis locais e regionais e não globais porque estas são medidas mais relevantes de mudança, em um sentido prático.

No estudo citado anteriormente foram analisados, por exemplo, arquivos documentais sobre assentamentos vikings na Groenlândia (986 d.C.), variações das geleiras na Argentina e registros isotópicos de estalagmites da Caverna do Buda, na China. A pesquisa demonstrou que as últimas ondas de calor e frio podem corresponder a variações climáticas naturais e não a emissões de GEE como se acredita e que, ao contrário do que afirma o IPCC (2001), o século XX não foi o mais quente do milênio.

Indicadores *proxy* climáticos de várias localidades confirmam a existência global de uma anomalia climática denominada Período Medieval Temperado (800 a 1300 d.C.), durante o qual estima-se que a temperatura foi maior do que a do século XX. Por exemplo, a análise de indicadores *proxy* marinhos na região denominada *Piscina Quente do Pacífico* (parte Ocidental do Pacífico) demonstrou que, durante este período, a temperatura na

superfície marinha chegou a um máximo de 30°C, enquanto nas duas últimas décadas ficou apenas entre 28°C e 29°C. Além disto, confirmou-se à existência de uma Pequena Idade do Gelo (1300 a 1900 d.C.) com temperaturas baixas extremas (Soon e Baliunas, 2003). Estas hipóteses são compartilhadas por outros cientistas, como, por exemplo, Lindzen e Giannitsis (2002).

Vale salientar que, pesquisadores como Karoly et al. (2005), discordam de Soon e Baliunas (2003), pois, acham as mudanças regionais do clima localmente importante, mas sem efeito global e por serem localizadas, os problemas produzidos são de soluções menos complicadas do que as mudanças globais. Apesar das discrepâncias, especialistas são concludentes ao afirmar que existe um grande número de incertezas quando se trata de determinar em que proporção o aquecimento da Terra se deve a causas naturais ou às emissões de GEE.

É importante ressaltar que as previsões de mudanças climáticas, associadas às ações antrópicas, não se referem propriamente ao efeito estufa que é uma propriedade natural da atmosfera, mas sim à intensificação deste efeito, quando, pelas atividades antrópicas, gases-estufa são lançados na atmosfera, reforçando o bloqueio à saída da radiação infravermelha para o espaço. A questão é se a injeção destes gases na atmosfera, pela ação do homem, promoveria o aquecimento do planeta (Steinke, 2004).

Segundo Alves (2001) a adição de CO<sub>2</sub> na atmosfera, pela ação humana, corresponde apenas a um mecanismo forçante do aquecimento do Planeta, o que não significa que o aquecimento terá de ocorrer. O homem não só queima biomassa e combustíveis fósseis como também altera a superfície do planeta através, por exemplo, das atividades de urbanização. Tais atividades contribuem para um aumento da reflectância

(albedo) do Planeta, o que reduz a entrada de energia solar no Sistema Terra-Atmosfera, estabelecendo, assim, um mecanismo climático forçante ao resfriamento. Se estes dois mecanismos forçantes tiverem a mesma intensidade, sendo de sentidos opostos, a temperatura do Planeta não se alteraria. Se as intensidades forem diferentes, poderia haver aquecimento ou resfriamento, se todas as demais condições se mantivessem constantes. Portanto, a adição de CO<sub>2</sub> na atmosfera pelo homem não implica, necessariamente, em aquecimento do Planeta.

Em seus estudos sobre o tema, Molion (1995) ressalta que existem problemas de representatividade, tanto espacial como temporal, das séries históricas de temperatura do ar, o que torna difícil sua homogeneização e, conseqüentemente, a construção de uma média confiável para o globo, e afirma que de maneira geral, a interpretação destas séries temporais longas depende da boa vontade em se aceitar a validade das várias hipóteses e técnicas de correção aplicadas aos dados anteriores a 1940.

Com a atual base de dados, em princípio, não é possível concluir se houve um aumento de 0,5°C na temperatura média do ar (oceano) nos últimos 150 anos e mesmo que o aquecimento tivesse ocorrido, estudos mostram que sua maior parte ocorreu antes de 1950, quando a liberação de carbono devido ao consumo de petróleo era inferior a 30% do que é hoje e a destruição de florestas tropicais era incipiente. Ou seja, se houve o aquecimento, muito provavelmente não foi provocado pelo homem (Molion, 1995).

Assim, Molion (2001) ressalta ainda que se os resultados das previsões realizadas pelos MGCAs fossem considerados, o aumento de 25% na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, observado nos últimos 150 anos, já deveria ter provocado um incremento na temperatura média da Terra entre 0,5 e 2,0°C. Porém, observa-se que os desvios da

temperatura média global do ar próximo à superfície, com relação à média do período de 1961-1990, aumentaram cerca de 0,56°C desde 1850, ou seja, no limite inferior da previsão dos modelos.

Conforme ressalta Molion (2001) entre 1920 e 1945, a temperatura aumentou 0,37°C, entre 1945 e 1978 diminuiu 0,14°C e entre 1978 e 1999 voltou a aumentar 0,32°C. O primeiro período de aquecimento (1920-1945) coincide com o período em que a atividade vulcânica foi a mais fraca dos últimos 400 anos. Neste período, o albedo planetário diminuiu e a Terra se aqueceu cerca de 0,4°C naturalmente.

O segundo período de aquecimento (1978 – 1999), de acordo com Molion (2001), tem causado maior polêmica, pois não foi verificado em todas as partes do mundo, sendo possível até que não tenha sido real, mas sim, resultado de outras influências tais como, mudanças de instrumentos de observação ou a falta de manutenção dos mesmos, mudanças no ambiente circundante à estação meteorológica ou mesmo sua relocação.

Apesar das incertezas sobre o aquecimento global descritos por Molion (2001); Alves (2001) e Soom e Baliunas (2003). Muitos pesquisadores têm demonstrado com dados relativamente confiáveis que nas últimas cinco décadas a atmosfera terrestre tem experimentado um processo de aquecimento global. Na próxima seção, denominada de observações globais são apresentados alguns artigos desenvolvidos por diversos pesquisadores demonstrando os aumentos do aquecimento global.

### **3.2 - Observações Globais**

Várias projeções, com diferentes cenários e taxas de emissão de gases pela atividade humana que causam o efeito-estufa, têm previsto um aquecimento global na superfície

terrestre. Outras alterações previstas nestas simulações são o aumento da precipitação, maior ocorrência de precipitações intensas originadas por processos convectivos, maior frequência de cheias e ocorrências de secas mais severas e mais prolongadas (Houghton et al., 1996; Karl et al., 1996).

Antes de descrever os números sobre o aquecimento global apresentados pelo IPCC e OMM é oportuno mostrar a evolução dos gases de efeito estufa do período pré-industrial até 1994 (Tabela 1). Pois, de acordo com os organismos acima citados, as mudanças mais importantes para o clima e induzidas pela humanidade no meio ambiente incluem a composição gasosa da atmosfera, a quantidade e tipo de aerossóis e a condição da superfície terrestre. Os GEE com longo tempo de vida e que parecem estar sendo influenciados diretamente pela ação do homem incluem o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os halocarbonos. É notório que ocorreu um aumento da concentração com o decorrer do tempo, contribuindo para a intensificação do efeito estufa.

O tempo de vida indica o tempo no qual a atmosfera estará sob influência de cada um destes gases. Desta forma, verifica-se que o  $\text{CO}_2$  é um gás com grande potencial para alterar as condições da atmosfera, pois seu tempo de vida médio pode chegar até 200 anos.

**Tabela 1:** Evolução da concentração de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

	CO <sub>2</sub> (ppmv)	CH <sub>4</sub> (ppbv)	N <sub>2</sub> O (ppbv)
Concentração no período pré – industrial	280	700	275
Concentração em 1994	358 (≅27,8%)	1720 (≅145,7%)	312 (≅13,4%)
Tempo de vida na atmosfera (anos)	50-200	12	120

Fonte: Cortez (2004)

Segundo IPCC (1994; 2001), nas observações e informações contidas nos seus relatórios, observa-se que o clima mudou no último século. A temperatura média global aumentou entre 0,5 e 1 °C; o nível do mar subiu de 10 a 25 cm e a precipitação global sobre os continentes aumentou cerca de 1%.

O vapor de água é um importante fator do efeito estufa, mas, até este momento, a ação antropogênica não possui interferência significativa em seu volume total. O mesmo não ocorre com os demais GEE, como mostrado na Tabela 1.

De acordo com Guetter e Prates (2002) o derretimento das geleiras e dos pólos aumentaria o nível dos oceanos. Com o aumento do nível dos oceanos desapareceriam alguns países insulares (como Tuvalu, no Oceano Pacífico, cuja população será absorvida pela Nova Zelândia, conforme tratado já assinado) e os lençóis freáticos e *aquíferos* (corpos de rocha porosa que atuam como área de armazenamento natural para os lençóis freáticos) costeiros serão afetados pela salinização.

Estima-se que o nível médio global do mar já subiu pelo menos 10 cm no último século e pode subir mais 50 cm até 2100. Para um país quase ao nível do mar como Bangladesh, que já é freqüente vítima de inundações e furacões, isto pode ser catastrófico.

Poderá ocorrer o aumento da temperatura dos oceanos, o que aumentaria a frequência e a potência de tempestades, ciclones e furacões, sem falar da potenciação de efeitos como do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul).

Ecossistemas mais sensíveis seriam afetados, podendo assim, colocar em risco espécies animais e vegetais, que talvez não pudessem se adaptar. Animais e vegetais migrariam para novas regiões.

Segundo Guetter e Prates (2002), na prática isto já está acontecendo. Já sabe-se que borboletas do hemisfério norte tiveram seu ciclo de vida encurtado, a vegetação boreal está invadindo regiões árticas, além dos recifes de corais que estão morrendo rapidamente, sendo que em 1998 (ano comprovadamente mais quente em, pelo menos, 100 anos) 16% dos corais do planeta morreram.

Ainda de acordo com o IPCC (2001) diversas doenças tropicais tendem a atingir novas regiões, que antes estavam “seguras” atrás de barreiras climáticas. Dentre estas doenças destacam-se a malária, a febre amarela e a dengue. A propósito, a região dos Andes, onde o mosquito *aedes aegypti* (transmissor da dengue e da febre amarela) estava restrito a regiões até 1000 m de altitude já está se proliferando até 2000 m.

Por outro lado, a OMM começou a manter registros de temperatura em 1860 e, diante destes dados, o ano de 2002 foi o segundo mais quente, perdendo apenas para 1998. O ano de 2001 foi o terceiro mais quente. Desde 1976 a temperatura média global aumentou cerca de 3 vezes mais rápido do que no século anterior. Na última década, de acordo com a OMM, foi confirmado um aumento de 0,6°C na temperatura mundial.



A alteração persistente da temperatura global tem potencial para provocar impactos nos sistemas ecológicos naturais e sistemas socioeconômicos. Espera-se que estes sistemas, de alguma forma, se adaptem às mudanças climáticas. Por outro lado, estudos científicos indicam uma menor taxa de adaptação dos sistemas ecológicos naturais do que a taxa prevista para ocorrência das mudanças climáticas. O aumento da concentração dos GEE aumenta a magnitude da interferência no sistema climático, aumentando a probabilidade de ocorrência de diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas (IPCC, 2001).

O aumento da temperatura altera o ciclo das chuvas em diversos continentes, porque o ciclo de *evapotranspiração* (evaporação da água mais a transpiração das plantas) será acelerado. Em uma região pode ocorrer um aumento das chuvas, agravando a intensidade de tempestades e do período de enchentes, furacões, tufões e nevascas. Ao mesmo tempo, outras regiões podem estar submetidas a vigorosas secas, com índices pluviométricos inferiores ao que seria normal na mesma época e estação do ano. Portanto, o grande desafio é investigar se o aumento global da temperatura média da atmosfera já afetou as condições climáticas regionais e locais e em que ordem de magnitude.

De acordo com Cortez (2004), o aumento da utilização de combustíveis fósseis (derivados de petróleo, carvão, turfa, gás natural) libera  $\text{CO}_2$  aumentando a sua concentração na atmosfera. As queimadas e a destruição das florestas também contribuem para o aumento do  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Na prática, pela queima dos combustíveis fósseis e das florestas, libera-se carbono que a natureza havia estocado ao longo do tempo. Uma planta, durante o seu processo de crescimento, captura  $\text{CO}_2$  da atmosfera pela fotossíntese e também acumula carbono, sendo que a partir de sua maturidade passa a mantê-lo estocado, porque se mantém em equilíbrio dinâmico na absorção e liberação de  $\text{CO}_2$ . O processo de

acumulação de carbono pelas plantas em crescimento é o que se chama de *seqüestro de carbono* (a capacidade que as plantas tem de absorver o carbono atmosférico, principalmente na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e convertê-lo em substâncias úteis ao seu crescimento e metabolismo). É por isto que a floresta é um importante sumidouro de CO<sub>2</sub>.

Desde 1970 inúmeros estudos mostraram que o planeta passa por um rápido processo de aquecimento que, segundo IPCC (2001), é decorrente da crescente concentração dos GEE e, por consequência, inicia-se um acelerado processo de mudanças climáticas. Os estudos do IPCC iniciaram o processo de avaliação das possíveis consequências do aquecimento global e das mudanças climáticas decorrentes.

Em meio às controvérsias sobre as mudanças climáticas globais e com intuito de melhor definir esta questão a OMM, através da equipe de peritos do CCI/CLIVAR, criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de mudanças climáticas. Na próxima seção são mostrados alguns números obtidos por meio dos índices introduzidos pelo grupo de trabalho.

### **3.3 – Índices de Detecção de Mudanças Climáticas**

Recentemente o interesse dos cientistas pelo estudo da variabilidade e mudança do clima vem aumentando, principalmente, devido ao possível papel de atividade humana na observada mudança climática.

Muitos dos estudos de variabilidade e mudança do clima consideram as variações de precipitação pluvial como um índice de detecção de mudanças climáticas porque tem um registro observacional razoavelmente longo e de qualidade. Diversos outros estudos usaram

a temperatura média global da superfície para estabelecer o grau e o significado das mudanças no clima durante o último século. Isto porque, espera-se que a temperatura média global responda à mudança na forçante radiativa associada com GEE crescentes. A temperatura média global também é um indicador simples da variabilidade interna do clima em simulações com modelos e em observações e, também, é comumente usada como o índice mais simples de variabilidade e mudança do clima global (Braganza et al., 2003).

Segundo Braganza et al. (2004), estudos recentes utilizaram alguns outros índices simples de padrões da temperatura de superfície, entre eles: o contraste de temperatura entre o oceano e a superfície, o gradiente térmico meridional, o contraste inter-hemisférico e a magnitude do ciclo anual, para descrever a variabilidade e a mudança do clima global. Estes índices são associados com fatores dinâmicos que determinam aspectos da ampla circulação atmosférica. Espera-se que eles contêm informação independente da temperatura média global para variações internas do clima. Os índices também representam as características principais da modelagem da temperatura superficial e dos GEE crescentes na atmosfera. Por isto, eles devem ter uma resposta coerente para o efeito estufa da mudança do clima.

A análise dos extremos climáticos desperta um grande interesse, entre outras razões, porque causam enormes perdas e transtornos econômicos. Os extremos climáticos podem ser definidos pela ocorrência de valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam um determinado nível, correspondendo a uma pequena probabilidade.

O verão europeu de 2003 foi especialmente anômalo criando questionamentos se as temperaturas altas foram consequência da tendência de aquecimento observada no planeta.

Os pesquisadores Klein Tank e Konnem (2003), determinaram as tendências dos períodos extremos de temperatura e obtiveram que desde 1976 a 1999 produziu-se um aumento dos casos extremos e da variabilidade de temperaturas. Folland et al. (1999), com a finalidade de atenderem as necessidades traçadas pelo IPCC, propuseram índices térmicos baseados em percentís para representar as ondas de calor no verão e de frio no inverno. Além disto, Folland et al. (2002), recomendaram a comparação das tendências em distintos índices climáticos para comprovar se a variabilidade climática nas distintas regiões do planeta tem a mesma consistência física.

Plummer et al. (1999), examinaram mudanças em extremos de clima para a Austrália e Nova Zelândia. Groisman et al. (1999), desenvolveram o primeiro estudo de chuvas extremas para diversos países do globo. Eles examinaram os extremos, para oito países: Canadá, Estados Unidos, México, Antiga União Soviética, China, Austrália, Noruega, e Polônia, usando a distribuição e modelagem estatística “gama”. Mais recentemente, foram publicados os trabalhos de Klein Tank e Konnen (2003) e Haylock e Goodess (2004) examinando as tendências e a variabilidade dos índices extremos para quase toda Europa.

Durante a década de 1990 e mais recentemente, vários Seminários Internacionais desenvolveram índices para extremos de clima (Folland et al., 1999; Nicholls e Murray, 1999). O objetivo era criar uma quantidade de índices que poderiam ser calculados para uma variedade de climas e habilitado para a comparação entre regiões.

Havia também um desejo de realizar análises mais regionais, com uma necessidade maior de incluir resultados de regiões que faltam estudos publicados. Em particular, países em desenvolvimento, devido, terem recursos insuficientes para empreender tais análises,

acesso limitado de dados, menos registros digitalizados e qualidade reduzida de dados para as análises de extremos que são muito sensíveis. O Sudeste da Ásia e o Pacífico foram identificados como uma região fundamental (Manton e Nicholls, 1999), em particular devido a sua vulnerabilidade com respeito à alta densidade populacional, variabilidade de chuva devido o ENOS e a exposição aos ciclones tropicais. Frich et al. (2002), analisaram tendências lineares com dez índices de clima para uma grande parte da América do Norte, Europa, Ásia e o Pacífico.

A Equipe de Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices - ETCCDMI) foi estabelecida em conjunto com o CCI/CLIVAR conselho que monitora índices climáticos. Seguindo a publicação de Frich et al. (2002), o ETCCDMI identificou regiões fundamentais para promover estudos sobre mudanças climáticas: o Caribe, América do Sul e Central, África e Ásia Central e Oeste. Eles decidiram que o melhor modo de estabelecer pesquisas nestas regiões era através de seminários regionais (Manton et al., 2001). Em 2001 foram organizados dois dos tais seminários: em Marrocos para cobrir os países africanos do norte (Easterling et al., 2003); e na Jamaica para cobrir o Caribe (Peterson et al., 2002).

Até recentemente, poucos trabalhos foram publicados sobre extremos de chuva na América do Sul. Devido à implementação de vários projetos na Bacia do Rio La Plata-Paraná no sudeste da América do Sul, vários documentos recentes estudaram os extremos de chuva nesta bacia e os uniram à circulação regional.

Pesquisas sobre mudanças nos extremos de chuva observaram um aumento, comparado com os resultados publicados recentemente, desde o 2º Relatório de Avaliação

do IPCC (Nicholls et al., 1996), identificando uma necessidade maior em tal estudo. Alguns países, entre eles, os Estados Unidos da América (Karl e Knight, 1998), Austrália (Haylock e Nicholls, 2000), Reino Unido (Osborn et al., 2000) e alguns países europeus, como a Suíça (Frei e Schar, 2001), Itália (Brunetti et al., 2002), Noruega (Benestad e Melsom, 2002) e Bélgica (Vaes et al., 2002) realizaram estudos sobre eventos extremos de chuva. Estudos regionais são, porém, menos freqüentes e a diversidade de métodos empregados para estudos entre países tornam os estudos específicos mais difíceis.

A mudança climática global pode ser intensificada localmente pelas mudanças regionais. Por exemplo, a construção de um grande reservatório gera um microclima em seu entorno. As grandes metrópoles geram ilhas de calor que modificam o seu clima, práticas agrícolas inadequadas podem gerar degradações de vastas áreas podendo vir a modificar o clima local (Ayoade, 1996). Portanto, se faz necessário apresentar uma seção sobre as observações regionais.

### **3.4 - Observações Regionais**

De forma geral, na América Latina, tem-se observado uma grande variedade de alterações que podem ser resultantes não só da variabilidade climática natural como da interferência humana no sistema. Tem-se notado variações principalmente no ciclo hidrológico e na temperatura média.

Aparentemente o ciclo hidrológico tem apresentado variações no decorrer dos anos na América Latina. De acordo com dados do IPCC (2002), tem-se detectado uma redução de 20% das áreas de geleiras no Peru. O Chile e a Argentina também mostram diminuição das áreas de geleiras associada a uma diminuição do escoamento superficial. Os rios das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil mostram tendências negativas de vazão; no entanto,

esta diminuição também está relacionada aos processos de manejo e irrigação do solo. Segundo Marengo et al. (1998), a precipitação na região Amazônica (parte norte e sul) apresenta variações multidecadais. Entre 1950 e 1976, foi detectado um período úmido na Amazônia e, desde 1977, a umidade tem diminuído, possivelmente relacionado com a Oscilação Decadal do Pacífico (DPO).

A região ao sul de 50° S apresenta uma tendência de aquecimento, segundo IPCC (2002), e regiões do Chile e Argentina mostram taxas de aquecimento variando entre 1,2 e 3,0 °C em 100 anos. A série temporal de temperatura para a América do Sul evidencia a presença de uma variação em meados dos anos 70, apontando uma elevação da temperatura média (IPCC, 2001). De acordo com Trenberth (1990), este aumento de temperatura pode estar associado à rápida variação da climatologia do Oceano Pacífico.

Tem-se observado mudanças na circulação atmosférica de grande escala. Nos últimos 20 anos, Marengo e Rogers (2000), observaram um menor número de frentes frias no sul do Brasil durante o inverno, o que foi associado à variação na posição média do anticiclone do Atlântico Sul. Nas regiões de latitudes médias da América do Sul, observaram-se mudanças na circulação zonal e variações interdecadais.

Os pesquisadores Hastenrath e Greischar (1993), examinaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas sobre o NEB e não encontraram tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na Região. Já outros trabalhos, como os de Ropelewski e Halpert (1987; 1989), mostram que a precipitação nesta Região é bastante sensível a extremos de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial associado ao ENOS, assim como, as anomalias de temperatura da

superfície do Atlântico, associadas ao dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical.

Tendências de chuva de longo prazo em estações do sul da América do Sul foram examinadas por Minetti (1998) e Minetti et al. (2003). Eles encontraram que para o período de 1931-1999 tinha havido uma diminuição constante na chuva anual para uma grande área a oeste dos Andes e um aumento para o leste na Argentina central. Eles identificaram uma terceira região no norte da Argentina que tinha havido um aumento constante até a década de 1980 quando eventos fortes de El Niño causaram um declínio geral. Foram observadas tendências semelhantes em algumas estações no sul da América do Sul por Rusticucci e Penalba (2000). Eles notaram que na estação chilena Valdivia tinha ocorrido uma grande diminuição na precipitação anual total durante o período de 1901-1990, principalmente devido a uma diminuição na precipitação de inverno. Eles sugeriram que isto deveria estar acontecendo devido a uma mudança no comportamento frontal dos sistemas de latitudes médias como tinha sido observado na Austrália (Allan e Haylock, 1993).

Um recente estudo desenvolvido por Liebmann et al. (2004), identificou tendências lineares sazonais de precipitação da América do Sul central durante 1976-1999, e mostrou que a tendência positiva maior aconteceu ao sul de 20°S e sobre o sul do Brasil durante janeiro-março, enquanto de 1948-1975 a tendência é também positiva, mas com menos da metade do declínio. A tendência ocorreu, devido um aumento no percentual de dias chuvosos, e um aumento na média de dias chuvosos. A tendência de precipitação é relacionada com a tendência positiva da TSM do Oceano Atlântico, mas aparentemente não casualmente. Porém, todos estes estudos não mostram nenhuma indicação na tendência de eventos de chuva extremos.



Com base nestes estudos desenvolvidos com o intuito de verificar a existência e os impactos das mudanças climáticas globais, torna-se necessário abordar na próxima seção os impactos destas mudanças nos ecossistemas brasileiros.

### **3.5 – Impactos das Mudanças Climáticas nos Ecossistemas Brasileiros**

A incerteza com relação ao sinal das mudanças na precipitação torna, no momento, impossível estabelecer categoricamente os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas e sobre a atividade agrícola, principalmente, quando considera-se que, estando a maior parte do país situada em regiões tropicais e subtropicais, fora do alcance de geadas e temperaturas muito baixas (exceção feita ao Sul e áreas montanhosas do Sudeste), o fator climático determinante é o regime de chuvas. Segundo Rocha (2001), há ainda grande incerteza sobre as mudanças nos regimes pluviométricos, em escala regional.

De modo geral, os aumentos previstos de temperatura para o país causariam aumento da evaporação à superfície, provocando alterações nos balanços hídricos da vegetação natural e de culturas agrícolas. Em regiões onde a agricultura predominante é de sequeiro e a insuficiência e irregularidade das chuvas já a torna marginal, como na maior parte do Semi-Árido e em partes do Cerrado, um quadro de maior evaporação, principalmente para aumentos de temperatura acima de 3°C, resultaria em menor quantidade de água no solo e poderia tornar a prática agrícola ainda mais marginal. A não ser que, tal alteração climática fosse acompanhada de aumento e/ou maior regularidade das chuvas (Nobre, 2001).

Ainda com respeito ao aumento de temperatura, Nobre (2001) imagina que a linha que demarca áreas atingidas por geadas migraria para o sul. Apesar de ser hipótese razoável para a temperatura média, não se pode afirmar categoricamente que isto irá ocorrer. Mesmo

que a temperatura média se eleve, não se descarta a hipótese de que extremos do tempo e do clima, como frentes frias muito intensas, tornem-se até mais frequentes devido a “aceleração” do ciclo hidrológico em escala planetária.

Entretanto, a confiabilidade é baixa sobre as previsões de mudanças na frequência de ocorrência dos extremos do tempo e do clima. Espera-se que a incerteza na estimativa regional das alterações da precipitação e na estimativa do comportamento dos extremos seja reduzida substancialmente nesta próxima década, através do uso de modelos climáticos mais completos, que levem em conta explicitamente o clima regional.

O desmatamento, como resultado das atividades humanas na Amazônia, aumentou rapidamente nas recentes décadas e há evidências de que este desmatamento afetou características da baixa atmosfera. De acordo com Nobre et al. (1991), que estimam uma diminuição de 15 a 30% da precipitação sobre a Amazônia caso a região seja toda desmatada. Contudo, os autores comentam que esta diminuição na umidade não parece estar relacionada aos efeitos do desmatamento ocorridos na região, podendo ser resposta de uma variação climática mais profunda.

As regiões Sul e Sudeste do Brasil têm apresentado um aquecimento sistemático desde o início do século XX (Sansigolo et al., 1992), o que deve estar associado à crescente urbanização. O aquecimento sistemático do Atlântico Sul desde 1950, tal como aponta Venegas et al. (1996; 1998), é um outro fator que contribuiria para o aumento da temperatura nestas regiões. Segundo estudos realizados por Victoria (1998), a região Amazônica apresentou um aumento de temperatura de 0,63 °C num intervalo de 100 anos.

Prudêncio et al. (1999), analisando dados de 32 estações pluviométricas do litoral de Santa Catarina, com séries de dados variando entre 1961 a 1995, constataram que em doze

estações houve aumento significativo na precipitação total anual, em uma houve diminuição, e nas restantes não houve tendência significativa. Estes dados mostram que muitas alterações têm caráter regional, e não estão relacionadas a uma mudança global do clima. Berlato et al. (1995), estudando dados de precipitação de 17 locais do Rio Grande do Sul, não identificaram tendências de longo prazo na precipitação pluvial anual, ressaltando que as reduções e incrementos que se observaram em curto período se referem, possivelmente, à flutuação natural da precipitação pluvial. A precipitação pluvial total anual apresenta tendência crescente dentro do período estudado; porém, quando analisada por trimestre, somente a precipitação pluvial no quarto trimestre apresenta tendência crescente.

Marengo (2004), identificou uma tendência de chuva positiva e fraca na Amazônia inteira, com tendências de chuva negativa/positiva na seção norte/sul da bacia. Ele conclui que estas tendências são menos importantes que a variabilidade de escala decadal da chuva em ambos os lados da bacia. Previamente, Hastenrath e Greischar (1993) e Marengo et al. (1998), acharam tendências de chuva positivas no nordeste do Brasil, enquanto também foram descobertas tendências de chuva positivas no sul do Brasil e no norte da Argentina (Barros et al., 2000).

Como no presente trabalho o objetivo geral é investigar o comportamento dos índices de detecção de mudanças climáticas do elemento precipitação pluvial nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba é, portanto, importante descrever de forma simplificada a climatologia do Nordeste do Brasil (NEB).

### 3.6 - Climatologia do Nordeste do Brasil

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferentes regimes de precipitação e temperatura. De norte a sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais.

No NEB observa-se uma grande variedade climática, podendo-se verificar desde o clima semi-árido no interior da Região, com precipitação média total anual inferior a 500 mm/ano, até o clima tropical, observado principalmente na costa leste da Região, com precipitação acumulada anual superior a 1500 mm (Kousky e Chu, 1978). De acordo com Hastenrath e Lamb (1977), a parte norte da Região recebe entre 1000 e 1200 mm/ano. Grande parte do Nordeste possui uma grande homogeneidade sazonal e espacial da temperatura. Somente no sul da Bahia é verificada uma maior variabilidade sazonal da temperatura, em função da penetração das massas relativamente frias nos meses de inverno.

Diferentes regimes de chuvas são identificados no NEB. No norte da região a estação chuvosa principal é fevereiro-março-maio, no sul e sudeste as chuvas ocorrem principalmente durante o período de dezembro a fevereiro e no leste a estação chuvosa é abril-maio-julho. A principal estação chuvosa do NEB, incluindo o norte e o leste da região que explica 60% da chuva anual, é de março a julho e a estação seca, para a maior parte da região, ocorre de setembro a dezembro (Rao et al., 1993).

O máximo de precipitação no norte do Nordeste, que é uma região que tem período chuvoso de fevereiro a maio, deve-se ao deslocamento anual da ZCIT para latitudes mais ao sul no Hemisfério Norte, o que afeta o NEB, principalmente nos meses de abril e maio (Hastenrath e Lamb, 1977; Uvo et al., 1998). O máximo no sul da região está associado à penetração de frentes frias vindas do sul que alcançam latitudes mais baixas nos meses de

novembro a fevereiro (Alves e Kayano, 1991). Já na região costeira, o máximo de maio a julho está ligado à maior atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade média para o continente e à ação das frentes frias remanescentes que se propagam ao longo da costa (Kousky, 1979; Markhan e Melain, 1977; Alves e Kayano, 1991).

Por outro lado, Yamazaki e Rao (1977), observando imagens de satélite, sugeriram a importância dos distúrbios de leste na precipitação do NEB. Chan (1990), observou que estes se propagam sobre o Oceano Atlântico, em direção ao continente, durante o outono e inverno.

Kousky (1979;1980), notou também que o máximo de chuvas no leste do NEB, de maio a julho, está possivelmente associado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior. Cavalcanti (1982), mostrou que as linhas de instabilidade contribuem para a precipitação nas costas norte e nordeste da América do Sul, tendo maior frequência nos meses de outono e inverno no Hemisfério Sul e menor na primavera e verão. As linhas se formam em longitudes sobre o norte do NEB no verão e outono e ao oeste de Belém no inverno e primavera. Segundo Cavalcanti (1982), a presença da ZCIT próxima à região, que provoca baixas pressões, favorece o desenvolvimento de cumulonimbus na costa, sugerindo esta forma de associação entre os sistemas locais e de grande escala.

Outro fator importante que deve ser considerado é a variação sazonal dos ventos na costa que é relacionada à posição da alta pressão subtropical do Atlântico Sul. Segundo Hastenrath e Lamb (1977), a alta subtropical começa a se intensificar nas estações frias

alcançando o máximo em julho. O estudo dos ventos sobre o Atlântico Sul feito por Servain (1990), mostrou que os ventos na costa do NEB são de leste/nordeste no começo do ano e de sudeste durante o período de abril a julho, o que coincide com a época chuvosa no leste da região. Portanto, durante a estação chuvosa de outono/inverno sobre o leste do NEB, os ventos sopram perpendiculares à costa, de sudeste. Estes ventos parecem favorecer a ocorrência da zona de convergência noturna associada à brisa terrestre.

Outro fator que favorece as chuvas na região é a presença do vórtice ciclônico em altos níveis, cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia. Segundo Gan (1982), os vórtices são observados nos meses de setembro a abril, tendo maior frequência em janeiro. Eles favorecem as chuvas no norte e nordeste da região e céu claro na parte sul e central da região durante estes meses.

As variações interanuais de chuvas no leste do NEB podem ser atribuídas às anomalias na posição e intensidade da ZCIT, causadas por anomalias positivas na temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul, conforme o estudo de Moura e Shukla (1981), Alves e Repelli (1992), e pela ocorrência do El Niño no Pacífico Equatorial.

A estes sistemas de grande escala se superpõe efeitos locais (topografia, mecanismos de brisa e aquecimento diurno) que podem gerar sistemas de meso e micro escalas, tais como: linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e aglomerados de cumulonimbus (Tucci, 2003).

O Nordeste brasileiro, diferentemente da Amazônia, é uma região onde predomina o clima semi-árido caracterizado por uma grande variabilidade anual na precipitação (Kousky, 1980). Historicamente a Região sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias, como por exemplo, o ano 2004, quando diversas cidades sofreram com as cheias

dos rios e alagamentos. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à Região. Segundo Marengo e Uvo (1996), estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos no NEB.

Esta variabilidade climática associada ao processo de ocupação do Nordeste Semi-Árido como também, associado ao ciclo do gado e do algodão, desencadeou na devastação da floresta de Caatinga pelo machado e pelo fogo. De acordo com Sampaio e Sampaio (1999), hoje grande parte da vegetação do Nordeste Semi-Árido é secundária. O impacto deste processo de ocupação foi a degradação ambiental de áreas do semi-árido. O NEB encontra-se hoje com áreas em desenvolvido processo de degradação ambiental e em processo de *desertificação* (Matallo Jr., 1999). Entende-se por desertificação a degradação das terras nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (Puigdefabregas, 1995).

Ressalta-se que a dinâmica da vegetação de uma dada área pode ser observada através do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Além disto, alguns dos objetivos específicos, deste trabalho, estão relacionados com o IVDN e com a variabilidade interanual das áreas de produção agrícola no Rio Grande do Norte e Paraíba. Portanto, as duas próximas seções tratarão destes assuntos, evidentemente de forma bastante reduzida.

### **3.7 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)**

Grande parte dos sensores remotos orbitais são sensores ópticos, pois operam na faixa de 0,38 - 15  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético, a qual está subdividida em quatro subregiões: visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo, médio e termal. Cada objeto da superfície terrestre, devido à sua composição física e química, apresenta um comportamento espectral particular em relação aos comprimentos de ondas em cada uma

destas regiões. O dossel da vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação solar incidente na região do vermelho (0,55 – 0,70  $\mu\text{m}$ ), devido à presença de alta quantidade de pigmentos de clorofila e de carotenos existentes na folha.

Muitas combinações entre, a reflectância dos canais da região do vermelho e do infravermelho próximo têm sido propostas. Estas combinações têm sido denominadas de índices de vegetação, e compactam as informações de dois canais espectrais em um só.

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais que envolvem a combinação de bandas espectrais. O mais tradicional índice de vegetação é o da diferença normalizada entre a radiação visível e infravermelha (IVDN) e tem sido amplamente utilizado para o monitoramento da vegetação. O IVDN é um índice que permite monitorar, em grande escala, o “vigor” da vegetação, porque quanto mais exuberante a vegetação menor é a porcentagem de radiação visível refletida por ela. Por outro lado, quanto menor o vigor da vegetação maior a porcentagem de radiação infravermelha refletida. Entretanto, O IVDN é bastante sensível às características do substrato da vegetação, e para contornar este efeito indesejável, uma série de novos índices foram propostos (Huete et al., 2002).

Existem numerosos trabalhos que associam as variações de precipitação aos valores de IVDN como indicador do vigor da vegetação. Os valores de IVDN tendem a aumentar em anos chuvosos, com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente em anos secos.

Um estudo de Gurgel (2000), sobre as conexões entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e as variabilidades climáticas anual e interanual sobre o Brasil permitiu a identificação de sete grandes tipos de cobertura vegetal e revelou sua variabilidade anual e interanual e o lapso de reação dos diferentes biomas à precipitação.



O IVDN é expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo e visível e a soma destes canais (Rouse et al., 1974), ou seja,

$$IVDN = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{(\alpha_2 + \alpha_1)} \quad (1)$$

onde,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , representam respectivamente, os valores da reflectância na região do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético de objetos na superfície terrestre.

Os valores de IVDN para as áreas com vegetação dependem da sua arquitetura, densidade e umidade e variam entre 0,1 e 0,6. Os maiores valores desta variável estão associados a coberturas vegetais mais densas. A presença de nuvens e água, geralmente está associada a valores negativos de IVDN. Rochas e solos expostos possuem reflectância similares nas duas regiões espectrais utilizadas para o cálculo do IVDN, ocasionando, portanto, valores próximos a zero (Holben, 1986).

Algumas aplicações de IVDN incluem: monitoramento de cultivo agrícola regional, estudos de desertificação e monitoramento de seca, monitoramento ambiental terrestre, e estudos globais de balanços de água e energia. Um grande número de estudos tem mostrado que o IVDN tem uma correlação considerável com variáveis climáticas, tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre, em amplas condições ambientais (Manso et al., 1998).

Tem sido dada, recentemente, atenção considerável aos índices de vegetação calculados a partir do sensor AVHRR da série NOAA. Estes dados apresentam resolução espacial de 1,1 x 1,1 km no nadir, no entanto, são utilizados muitas vezes na forma degradada, com resolução de 8x8 km. O IVDN calculado a partir dos dados do AVHRR é

frequentemente utilizado para o monitoramento regional ou global da vegetação, por compensar parcialmente mudanças de condições de iluminação, declive superficial, aspectos de visadas, e opacidade atmosférica (Barbosa, 1998). Deste modo, eles fornecem uma fonte bastante efetiva para análise de variações climáticas em diversas escalas de tempo.

O Grupo de Estudos de Monitoramento, Modelamento e Inventário Global (GIMMS - Global Inventory Modeling and Monitoring Study) da GSFC/NASA (Goddard Space Flight Center / National Aeronautics & Space Administration), produz e gerencia um grande conjunto de dados de IVDN, obtidos através de imagens AVHRR/NOAA.

Diversos estudos já foram feitos utilizando estes dados, tal como o de Potter e Brooks (1998), que realizaram uma análise global entre a variabilidade anual do clima e a variabilidade sazonal do IVDN. Além do IVDN, eles utilizaram três índices climáticos (temperatura diária, total de precipitação anual e índice de umidade anual), que juntos explicaram cerca de 70 a 80% das variações geográficas sazonais extremas (máximo e mínimo) de IVDN. As análises foram baseadas na técnica de regressão multilinear e em algoritmos suavizados de Fourier. Os resultados mostram que as regiões onde o IVDN não teve boa relação com o clima foram as regiões: de latitudes altas; as que possuem tipos de vegetação mesclados; as que apresentam distúrbios na vegetação; e as regiões remotas onde os dados de estações climatológicas são esparsos.

### **3.8 - Agricultura e Mudanças Climáticas**

A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar. Os principais efeitos das alterações destes fatores sobre a agricultura certamente incidiriam na produtividade e no

manejo das culturas, como irrigação, controle de pragas e doenças, etc., bem como nos sistemas sociais e econômicos.

Em âmbito global, diversos estudos têm sido conduzidos para estimar os possíveis impactos da mudança do clima sobre as produções de culturas agrícolas baseados em modelos de circulação geral. Estes estudos mostram, por exemplo, que a produção em áreas tropicais e subtropicais, principalmente na África subsaariana devido às grandes áreas de clima árido e semi-árido e sua dependência da agricultura, seria mais afetadas do que em regiões temperadas (Jones et al., 1987).

Siqueira et al. (1994), apresentaram projeções sobre os efeitos potenciais da mudança climática global na agricultura brasileira, tomando como referência 13 diferentes locais do País e as culturas de trigo, milho e soja. O impacto na produção de grãos seria relativamente grande, de forma a serem previstas reduções na produção de trigo e de milho. Entretanto, a produção nacional da cultura da soja apresentaria aumento. A Região Nordeste seria especialmente vulnerável aos decréscimos de produções de milho e as Regiões Central e Centro-Sul às reduções na produção de trigo. A Região Sul seria vulnerável às reduções de trigo e de milho e a Região Norte às reduções de milho.

Sob um outro enfoque, Alves e Evenson (1996) e Sanguí et al. (1997), estimaram o impacto da mudança climática global na agricultura brasileira usando um modelo “ricardiano”. O modelo consiste em avaliar a influência de variáveis como produção, trabalho, fertilizantes, construções, estradas, pesquisa científica, adoção de tecnologia, extensão rural, e de variáveis climáticas como temperatura, pluviosidade, radiação solar, etc., e edáficas como tipo de solo, declividade, textura, etc., sobre a produtividade da terra, e, por conseguinte, sobre o preço desta. A partir disto, seria possível estimar os impactos de

adaptações dos produtores às alterações climáticas sobre a produção e a produtividade de estabelecimentos agrícolas. Segundo os autores, o impacto líquido da mudança do clima seria negativo para a agricultura brasileira, sobretudo para a Região Centro-Oeste, onde predominam os cerrados, enquanto a Região Sul seria moderadamente beneficiada pelo aquecimento.

Mendelsohn (1996), usando vários cenários climáticos e projeções a partir de um MCG, estima que o impacto da mudança do clima global na economia brasileira seria significativo, com grandes danos nos setores de agricultura, florestas e energia. Ao mesmo tempo em que a agropecuária constitui-se em uma atividade potencialmente influenciada pela mudança do clima, contribui também para o efeito estufa. Emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), que causam o aquecimento global têm sido gerados por diferentes práticas agropecuárias.

Segundo Lima (2002), a queima de biomassa (resíduos de colheita, culturas agrícolas na pré-colheita, cerrados e pastagens), como prática agrícola, leva à produção de metano, óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ).

A agricultura é a atividade humana que afeta a maior proporção da superfície terrestre. Sua expansão e intensificação são considerados os principais contribuintes à redução de florestas e outros ecossistemas naturais. Esta atuação tem repercussões nos principais ciclos da matéria: o do carbono e do nitrogênio (Lima, 2002).

O uso intensivo das terras tem induzido grandes perdas de carbono dos solos e da cobertura vegetal. Além de gás carbônico, as emissões agrícolas de metano, monóxido de

carbono e óxido nítrico provenientes de atividades agrícolas são importantes contribuintes à concentração de GEE na atmosfera.

A agricultura familiar da região semi-árida do Nordeste brasileiro tem sua sustentabilidade na exploração de culturas de subsistência (milho, feijão e mandioca) e, principalmente na criação extensiva de caprinos e ovinos. Os pequenos agricultores desta região convivem com uma situação bastante peculiar quanto às fontes de renda, das quais dependem para sua sobrevivência, pois, seus sistemas de produção são constituídos basicamente pela agricultura de subsistência e pela pecuária extensiva. Por outro lado, há outras fontes de renda e de absorção de mão-de-obra, bastante significativas, como o extrativismo vegetal.

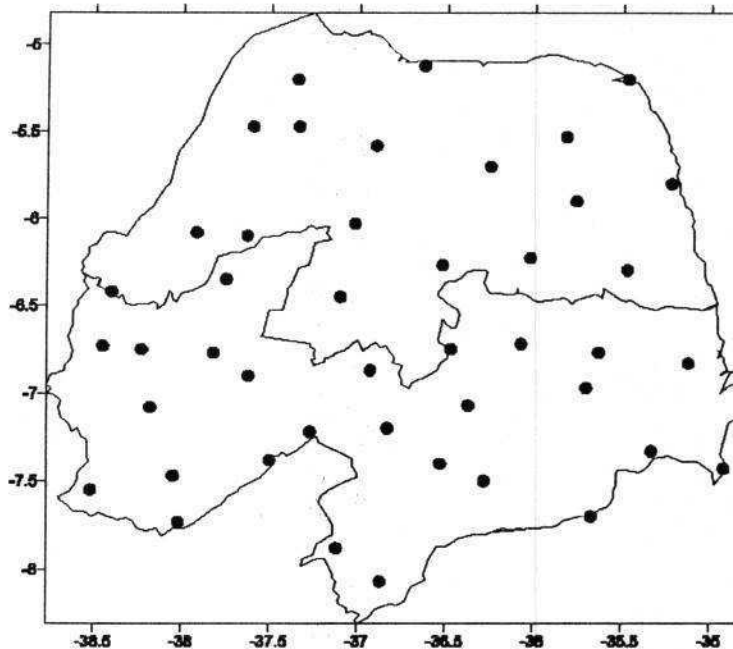
O NEB, em particular, os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, sempre se caracterizou como grande produtor de algodão. Nesta região se explorava principalmente a cotonicultura de sequeiro, representada em sua grande maioria pelo algodão arbóreo de fibra longa/extra longa. Entretanto, a partir do início da década de 1980 o tradicional algodão arbóreo, considerado altamente resistente às irregularidades pluviométricas, chegou praticamente a ser dizimado. Como consequência, houve um incremento na área cultivada com o algodoeiro herbáceo, que apesar de ser uma cultura considerada tolerante ao déficit de água no solo, é muito mais sensível do que o algodão arbóreo. Porém, a irregularidade pluviométrica, no Nordeste, é um dos principais fatores que tem limitado o rendimento da cultura.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 – Coleta dos Dados**

Os dados de precipitação pluvial diários foram oriundos da antiga rede de postos pluviométricos da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e dos núcleos estaduais de meteorologia e recursos hídricos. A maior parte destes dados está disponível no Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Assim como, os dados do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) cedidos pelo NOAA/AVHRR, e da área colhida disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), também estão disponíveis no DCA da UFCG.

A princípio foram escolhidos aproximadamente 80 postos pluviométricos, entretanto muitos não passaram pelo controle de qualidade, pois, apresentavam muitas falhas ou dados duvidosos. Após um exaustivo trabalho, foram escolhidos 44 postos, os quais apresentaram dados com uma boa qualidade e representam todas as microrregiões dos dois Estados, além de apresentar uma boa distribuição espacial (Figura 1).



**Figura 1:** Distribuição espacial das localidades escolhidas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Os dados de área colhida das culturas de abacaxi, cana-de-açúcar, arroz, fava, feijão, milho, sisal e algodão arbóreo e herbáceo foram oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os dados das anomalias de temperatura nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, TNA (Tropical Atlantic Northern) e TSA (Tropical Atlantic Southern) foram obtidos através do website da NOAA ([www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/](http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/)).

## 4.2 - Metodologia

### 4.2.1 – Software RClindex 1.9.0

O Clindex é um programa, baseado no Microsoft Excel, que proporciona um pacote computacional que é usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. Foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate

Data Centre (NCDC) da NOAA, e tem sido usado em oficinas CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos desde 2001.

O objetivo original foi colocar o Climdex em um ambiente que não dependa de um sistema operativo determinado. Foi muito importante assim, usar o R, que é uma série integrada de instalações de software para manipulação, cálculo e exibição gráfica de dados. Entre outras coisas, tem uma efetiva manipulação de dados que facilita e controla o armazenamento; uma grande série de operadores para cálculos em ordens, em particular matrizes; uma grande, coerente e integrada coleção de ferramentas para intermediar a análise de dados; instalações gráficas para análise de dados e exibe qualquer um diretamente no computador sendo assim, uma simples, efetiva e bem desenvolvida linguagem de programação, esta plataforma é grátis e obtida através do website (<http://www.r-project.org>) e ao mesmo tempo é um software muito robusto e poderoso para gráficos e análises estatísticas. Pode ser executado tanto em ambientes Windows como Unix.

Em 2003, descobriu-se que o método utilizado pelo Climdex e outros programas para calcular índices de temperatura baseados em percentil resultava em uma não-homogeneidade das séries de índices (Zhang et al., 2005). Uma solução para este problema requer um procedimento “bootstrap” que torna-se impossível de implementar em um ambiente Excel. Esta foi a necessidade, mais urgente, de se desenvolver este pacote baseado no R. Portanto, surgiu o RCLimdex.

O RCLimdex foi desenhado para proporcionar uma interface amigável para calcular índices de extremos climáticos. Calcula todos os 27 índices básicos recomendados pela



equipe de peritos do CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” (ETCCDMI), assim como, outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário.

Um dos principais objetivos de construir índices de extremos climáticos é usá-los em estudos de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Isto requer que os índices sejam homogeneizados. A homogeneização dos dados foi planejada, porém não implementada nesta versão. Atualmente o RClimdex inclui somente um procedimento simples de controle de qualidade dos dados que foi proporcionado pelo ClimDex.

O pacote RClimdex 1.9.0, é de distribuição gratuita e está disponível para download no website dos índices da ETCCDMI (<http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>) e também encontra-se disponível no DCA/UFCCG.

#### **4.2.2 - Controle de Qualidade dos Dados**

O controle de qualidade dos dados é um pré-requisito para o cálculo dos índices. O controle de qualidade do RClimdex obedece os seguintes procedimentos: 1) substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R e 2) substitui todos os valores não aceitáveis por -99.9. Estes valores incluem: a) quantidades de precipitação diárias menores que zero e b) temperatura máxima diária menor que a temperatura mínima diária.

Adicionalmente, o controle de qualidade também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas. Os valores extremos são valores diários que se encontram fora de uma região definida pelo usuário. Atualmente esta região se define como  $n$  vezes o desvio padrão do valor do dia, isto é, (média -  $n$ \*std, média +  $n$ \*std). Onde std

representa o desvio padrão para o dia e  $n$  é uma entrada do usuário. Como o objetivo geral da pesquisa é identificar possíveis mudanças climáticas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba utilizando os índices dependentes da precipitação pluvial, então, o controle de qualidade referente a dados de temperatura não foi analisado.

O período de registro de dados era diferenciado para cada estação. Considerando que era desejado apresentar resultados para um período consistente, uma metodologia foi adotada para achar o melhor período e quantidade de estações. O alvo era maximizar o comprimento do período como também o número de estações. Então, se escolheu estações que continham dados diários no período de pelo menos 60 anos, ou seja, de 1935 a aproximadamente 2004.

#### **4.2.3 – Formato de Entrada dos Dados**

Todos os arquivos de dados que são lidos e escritos estão em formato de “list formatted”. A única exceção é o primeiro arquivo de dados que é processado no passo de “Quality Control”. Este arquivo de entrada requer:

1. Arquivo de texto ASCII;
2. Colunas das seguintes seqüências: ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN). (NOTA: unidades de precipitação = milímetros e unidades de temperatura = graus Celsius);
3. O formato descrito acima deve ser delimitado por espaços, em geral, cada elemento separado por um ou mais espaços e;

4. Para os registros dos dados, os dados faltosos devem ser codificados como -99.9 e os registros dos dados devem estar em ordem cronológica (Canadian International Development Agency, 2004).

Exemplo de arquivo de entrada dos dados.

1950	1	1	9.8	27.3	17.1
1950	1	2	0	27.5	17.8
1950	1	3	-99.9	28.1	16.4

Isto significa que no dia 1 de janeiro de 1950 a precipitação foi de 9.8 mm, a temperatura máxima de 27.3°C e a temperatura mínima 17.1°C. O dado de precipitação do dia 3 de janeiro é inexistente.

Como o objetivo geral da pesquisa, era calcular as possíveis mudanças climáticas existentes nos estados do RN e PB que estão inseridos no Nordeste do Brasil, especificamente na região semi-árida e, por conseqüência, têm a precipitação pluvial como uma variável determinante nas condições do clima local. Os dados de temperaturas máximas e mínimas, necessários para o formato de entrada anteriormente citado, foram substituídos por -99.9 para que o software RClindex efetuasse seu processamento e fornecesse os resultados dos índices relacionados à precipitação pluvial.

#### **4.2.4 – Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI, referentes à precipitação pluvial, utilizados na pesquisa:**

Com base no objetivo geral da pesquisa, utilizou-se o RClindex para calcular 9 dos 11 índices climáticos (anexo A), definidos pelo ETCCDMI, derivados da precipitação pluvial. Como todos os índices fornecem gráficos das séries anuais compostos pelas

tendências e calculadas pelo método de regressão linear dos mínimos quadrados, com boa significância estatística, mostrando estatisticamente os ajustes destas tendências lineares aos gráficos, o cálculo destes índices tornou-se de grande importância, pois com os valores das tendências lineares foi possível criar uma distribuição espacial, utilizando o software SURFER 7.0 e, mostrando assim, regiões onde as possíveis mudanças já se manifestam.

Os índices climáticos básicos, definidos pelo ETCCDMI, utilizados foram os seguintes:

### 1 - RX1day (Quantidade máxima de precipitação em um dia)

Seja  $RR_{ij}$  o total diário de precipitação num dia  $i$  num período  $j$ . Então, os valores máximos de 1 dia para o período  $j$  são:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (2)$$

### 2 - Rx5day (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias)

Seja  $RR_{kj}$  a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando em  $k$ , período  $j$ . Então, os valores máximos de 5 dias para o período  $j$  são:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (3)$$

### 3 - SDII (Índice Simples de Intensidade Diária)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação nos dias úmidos,  $w(RR \geq 1mm)$  num período  $j$ . Se  $W$  representa o número de dias úmidos em  $j$ , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^n RR_{wj}}{W} \quad (4)$$

#### 4 - Rnn (Número de dias acima de nn mm)\*

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  num período  $j$ . Se  $m$  \* representa qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq nmm \quad (5)$$

\* Neste estudo utilizou-se  $nn = 50mm$ , pois com isto pode-se observar o comportamento deste índice, de chuva extrema, na região.

#### 5 - DCS (Dias Consecutivos Secos)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  num período  $j$ . Soma-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (6)$$

#### 6 - DCU (Dias Consecutivos Úmidos)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  num período  $j$ . Soma-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (7)$$

#### 7 - R95p (Dias Muito Úmidos)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação num dia úmido  $w(RR \geq 1.0mm)$  num período  $j$  e seja  $RR_{wn95}$  o percentil 95<sup>th</sup> da precipitação nos dias úmidos no período 1961-1990. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95} \quad (8)$$

## 8 - R99p (Dias Extremamente Úmidos)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação num dia úmido ( $RR \geq 1.0mm$ ) num período  $j$  e seja  $RR_{wn99}$  o percentil 99<sup>th</sup> da precipitação nos dias úmidos no período 1961-1990. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99} \quad (9)$$

## 9 - PRCPTOT (Precipitação Total Anual nos Dias Úmidos)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  num período  $j$ . Se  $I$  representa o número de dias em  $j$ , então:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (10)$$

Depois de processados, os dados são guardados em arquivos que contém informações anuais sobre cada um dos índices selecionados. Com isto, foi possível fazer correlações simples, devido ter como objetivo a análise regional do clima, entre os índices específicos: DCS, DCU, R95p e Rx5day, que apresentam melhor significância para a região estudada, e as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas regiões de Niño 1+2 (0°S - 10°S, 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S, 150°W - 90°W), TNA (5,5°N - 23,5°N, 15°W - 57,5°W) e TSA (Eq. - 20°S, 10°E - 30°W).

Foram feitas também, correlações simples entre os índices específicos e dados de área colhida das culturas de milho e feijão, para o Sertão, e cana-de-açúcar, arroz e abacaxi para a região do Agreste, Zona da Mata e Litoral dos estados do RN e PB. Como também, com o IVDN médio anual de cada uma destas regiões.

Como a cotonicultura foi uma prática agrícola muito utilizada no semi-árido nordestino, tendo o seu auge na década de 50 e entrando em decadência, chegando a quase uma extinção, no início dos anos 80, tornou-se viável investigar se o seu rápido declínio ocorreu, também, devido a fatores relacionados ao clima local. Com isto, utilizou-se de uma correlação simples (lineares) entre a área colhida de algodão arbóreo, algodão herbáceo e sisal e os índices selecionados anteriormente para a região do Sertão de ambos os Estados.

Após terem sido feitas as correlações, aplicou-se o teste-t, de Student, para analisar as significâncias estatísticas de cada uma das correlações. Com a aplicação do teste de Student, utilizou-se somente os três maiores níveis de significância,  $t_{95}$  que corresponde a uma significância estatística de 90% ( $p < 0,1$ ),  $t_{97,5}$  correspondendo a uma significância estatística de 95% ( $p < 0,05$ ) e  $t_{99,5}$  com uma correspondente significância estatística de 99% ( $p < 0,01$ ).

## **5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A maior satisfação na elaboração de um trabalho científico é demonstrar, de acordo com os resultados obtidos, que os objetivos foram alcançados. Desta forma, neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados e, quando possível, comparados a resultados obtidos por outros pesquisadores.

### **5.1 - Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI**

Em estudo realizado por Haylock et al. (2005), sobre tendências nos totais e extremos de chuva para a América do Sul, foi observado que existiam grandes regiões com coerência espacial nos sinais das tendências, bem como, no acordo geral entre os índices. Todos os índices climáticos propostos, referentes à precipitação pluvial, exceto o DCS, mostraram uma tendência de aumento das condições de umidade. A precipitação total anual (PRCPTOT) mostrou características gerais que também estão presentes em outros índices, tais como: aumento da tendência de umidade na parte mais ao sul do Brasil e Paraguai, nordeste da Argentina e noroeste do Peru e Equador, aumento da tendência de seca na parte mais ao sul do Chile e Peru e sudoeste da Argentina. As estações do norte e nordeste do Brasil não mostraram sinal de tendência consistente. Previamente, Hastenrath e Greischar



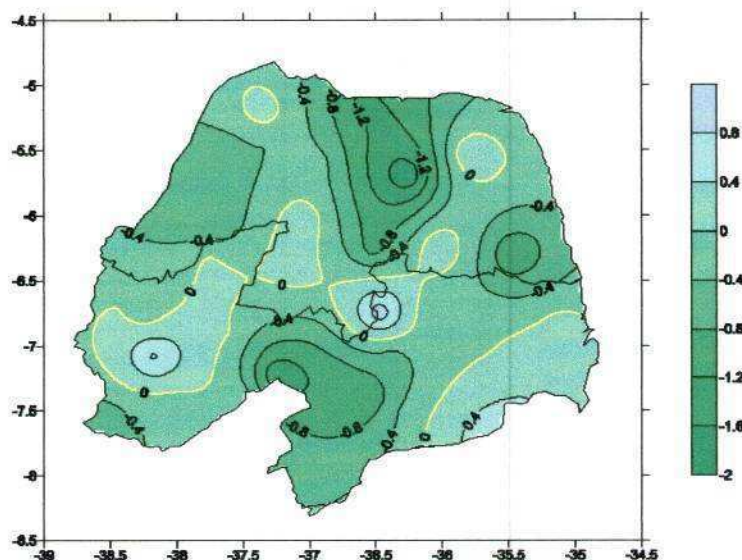
(1993) e Marengo et al. (1998), acharam tendências de chuva positivas no nordeste do Brasil.

Como na pesquisa desenvolvida por Haylock et al. (2005), as Regiões Norte e Nordeste do Brasil estavam representadas apenas por cinco estações, para o Nordeste apenas três, espacialmente mal distribuídas, surgiu a necessidade de se pesquisar o comportamento dos índices de extremos climáticos especificamente para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba por estarem inseridos no semi-árido do NEB e como os outros estados da Região, não dispõem de informações mais consistentes.

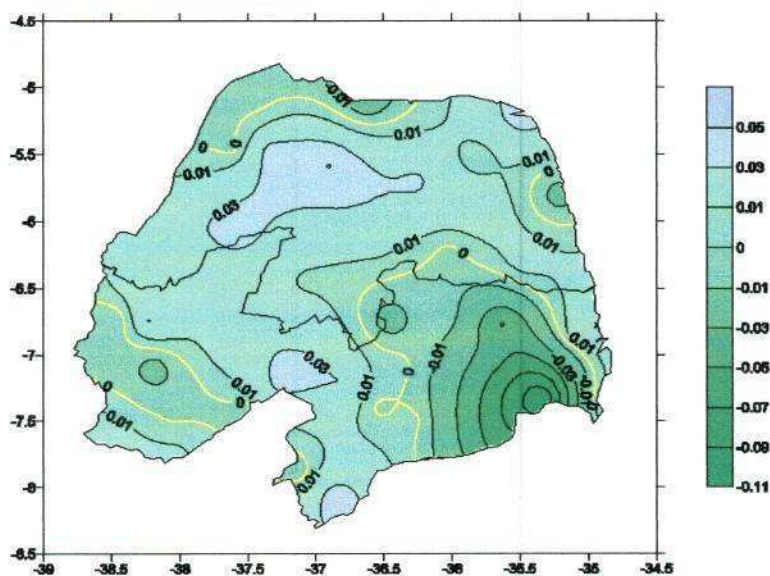
Como resultado desta pesquisa tem-se o comportamento da tendência dos índices espacialmente distribuídos em 44 postos pluviométricos e plotados nos mapas dos dois Estados. Observa-se, no anexo D, que 29 postos pluviométricos demonstraram diminuição significativa no número de dias consecutivos secos (DCS) (Figura 2) como também, em 29 postos foi identificado aumento significativo no número de dias consecutivos úmidos (DCU) (Figura 3) mostrando assim, certa coerência com os resultados encontrados por Haylock et al. (2005), para a três estações do NEB evidenciando aumento nas condições de umidade, de maneira semelhante a tendência das condições de umidade foi predominante em quase toda a região analisada. Ressalta-se que dos 29 postos que apresentaram diminuição de DCS, 26 demonstraram aumento de DCU. Desta forma, pôde-se observar que os dois índices (DCS e DCU) demonstraram tendências opostas em 26 postos pluviométricos, ou seja, na maior parte da área dos dois Estados, com isto diagnosticou-se um aumento predominante no número de dias com chuvas.

Os resultados obtidos anteriormente concordam, também, com Liebmann et al. (2004), que identificaram uma tendência positiva na precipitação para a América do Sul

observando que houve um aumento no percentual de dias chuvosos. Vale salientar que os estudo de Liebmann et al. (2004), foi desenvolvido com uma maior ênfase para a região sudeste e para os meses de janeiro-fevereiro-março.



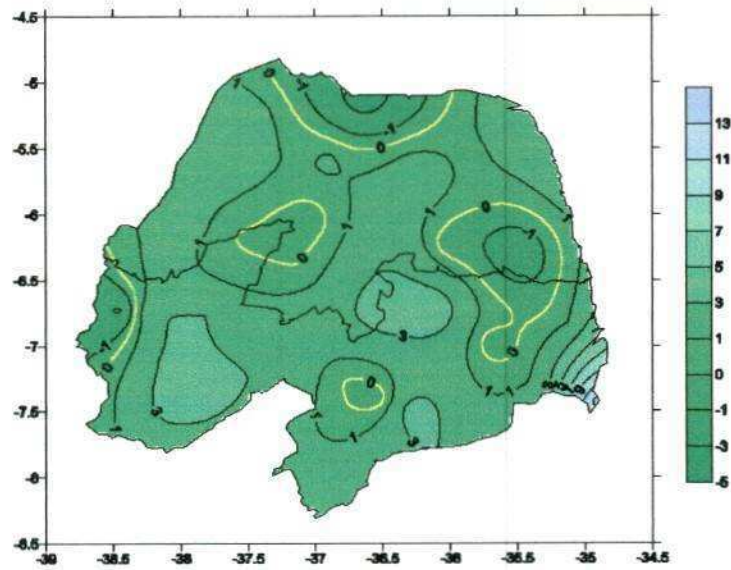
**Figura 2:** Distribuição espacial das tendências dos Dias Consecutivos Secos (DCS), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.



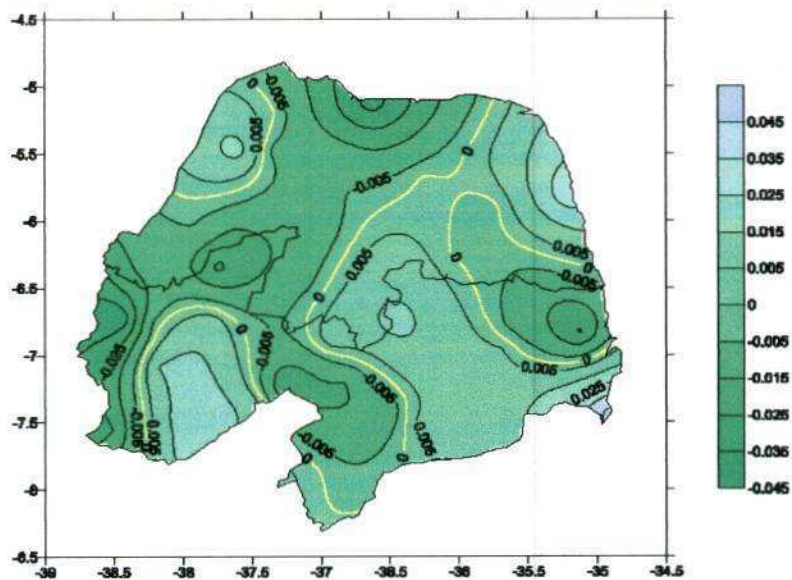
**Figura 3:** Distribuição espacial das tendências dos Dias Consecutivos Úmidos (DCU), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Parte do padrão das tendências para frequência de chuvas acima de 50mm (R50mm) (Figura 5), consideradas extremas, difere do padrão das tendências de precipitação total anual (PRCPTOT) (Figura 4), ao todo 16 postos na região estudada mostraram sinais de tendências opostos, ou seja, locais onde as tendências de precipitação total anual aumentaram e as tendências da frequência de chuvas acima de 50mm diminuíram, logo, a quantidade ou intensidade de chuva aumentou, porém com menores eventos extremos. Entretanto, as regiões do Curimataú paraibano e do Seridó rio-grandense-do-norte, mostraram uma configuração que evidencia uma tendência crescente nos dois índices mencionados, mostrando que nesta região as chuvas se intensificaram, devido o aumento do número de eventos com precipitação acima de 50mm.

Observa-se também (no Anexo D), que 37 postos demonstraram padrões de crescimento na tendência da precipitação total anual (PRCPTOT) evidenciando a predominância de crescimento nos dois Estados e, concordando assim, com os resultados de Haylock et al. (2005), que observaram um aumento na precipitação total anual sobre a América do Sul, com Alexander et al. (2005), os quais identificaram um aumento na precipitação total anual global e com Prudêncio et al. (1999), que analisando dados de 32 estações pluviométricas do Estado de Santa Catarina, com séries de dados variando de 1961 a 1995, constataram um aumento significativo na precipitação total anual. Vale salientar que, pela falta de estudos realizados para a Região Nordeste, utilizando a metodologia empregada neste trabalho, muitos dos estudos comparados aqui, foram desenvolvidos com uma ênfase maior, para as regiões Sul e Sudeste da América do Sul e do Brasil.



**Figura 4:** Distribuição espacial das tendências da Precipitação Total Anual (PRCPTOT), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.



**Figura 5:** Distribuição espacial das tendências do Número de Dias em um ano em que a Precipitação foi acima de 50 mm (R50mm), em dias/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Os sinais das tendências do índice simples de intensidade diária (SDII) (Figura 6) concordam principalmente com a tendência do número de chuvas com precipitação acima de 50mm (R50mm), mas 12 postos demonstraram tendências de sinais opostos.

Os dois índices de intensidade de evento máximo, Rx1day (Figura 7) e Rx5day (Figura 8), mostram uma forte tendência de aumento nas regiões do Seridó e litoral do Rio Grande do Norte e no Seridó, Curimataú e parte do Sertão paraibano. Concordando assim, com os padrões das tendências dos índices, SDII e R50mm, para as mesmas regiões.

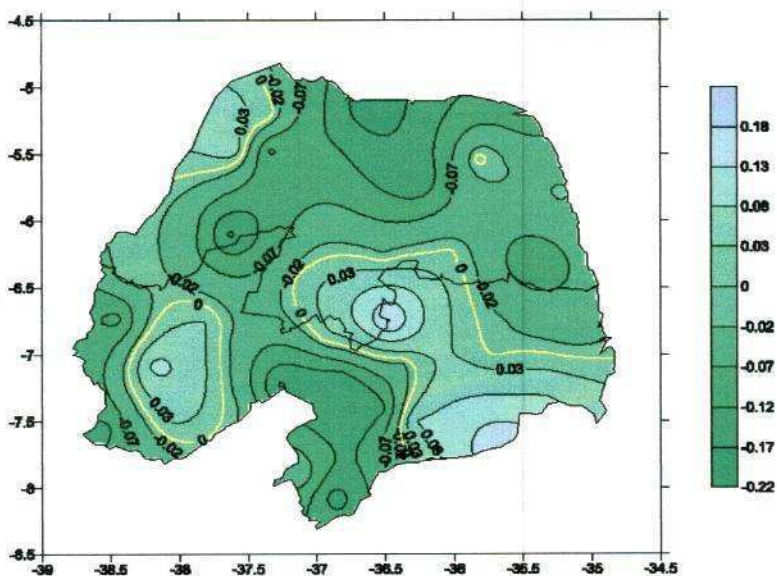
De acordo com as figuras 9 e 10, os índices de percentís excedentes, R95p e R99p, respectivamente, mostram padrões semelhantes de tendências e concordam com os padrões das tendências da precipitação total anual.

Analizando as tendências dos nove índices de extremos de clima, plotados espacialmente nos mapas, observa-se um aumento predominante nos índices Dias Consecutivos Úmidos (DCU) e Precipitação Total Anual (PRCPTOT).

Conforme estudo de Prudêncio et al. (1999), Berlato et al. (1995), observa-se que muitas destas alterações nos regimes climáticos têm caráter regional, e não estão relacionados diretamente a uma mudança global do clima. Sabe-se que a urbanização e as ilhas de calor, que são efeitos locais e regionais, podem contribuir positivamente para o aumento da temperatura da superfície e, portanto, da atmosfera. Desta forma, analisa-se que de maneira semelhante, para os dois Estados estudados, as tendências observadas, não afirmam categoricamente que tenham ocorrido devido às mudanças globais do clima, mas um somatório de fatores, tais como desmatamento, degradação ambiente, mudanças globais do clima entre outros, pois algumas partes dos Estados demonstraram tendências contrárias, mostrando que o comportamento não é homogêneo e, assim, observa-se que as tendências

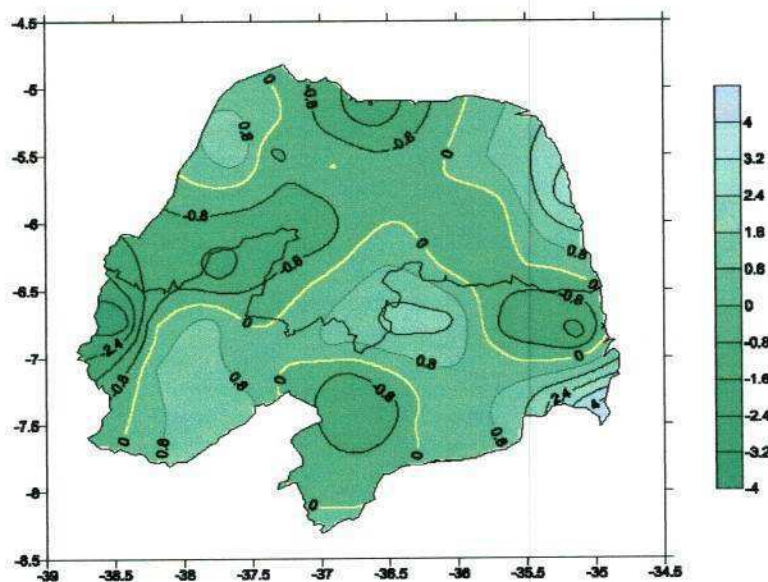
mostradas estão mais ligadas às variações climáticas locais, porém não devem ser descartadas às globais. É interessante destacar que na maior parte dos dois Estados ocorreu uma tendência de aumento da precipitação.

Sabe-se que outros fatores que podem modificar o clima de uma região são o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. Observa-se que, localmente, eles podem ter uma importância mais relevante do que os GEE. O semi-árido do Rio Grande do Norte e Paraíba, que é um ecossistema frágil e vulnerável, sofreu em meados do século XX uma forte agressão ambiental com a grande expansão da cotonicultura (cultura do algodão), levando a uma marcante devastação da vegetação de caatinga para o plantio do algodão. Hoje, a região sofre com ações antrópicas devastadoras, entre elas, o corte da vegetação para alimentar carvoarias, olarias, cerâmicas e padarias. Logo, mudanças climáticas locais mais drásticas poderão ocorrer através da soma das ações produzidas pelos GEE com o desflorestamento e mau uso destes ecossistemas locais.

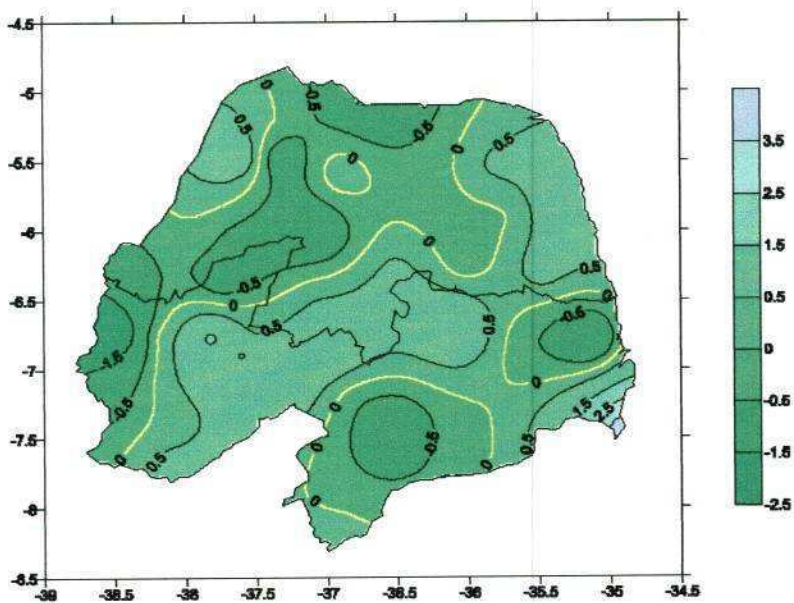


**Figura 6:** Distribuição espacial das tendências do Índice Simples de Intensidade Diária (SDII), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.





**Figura 9:** Distribuição espacial das tendências dos Dias Muito Úmidos (R95p), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.



**Figura 10:** Distribuição espacial das tendências dos Dias Extremamente Úmidos (R99p), em mm/ano, para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.



## 5.2 - Índices Climáticos e TSM

O clima do nordeste tem sua variabilidade associada a padrões de variação em escala planetária. Estes padrões de variação estão associados ao comportamento dos oceanos Atlântico e Pacífico.

Conforme Tucci (2003), no Pacífico um dos fenômenos responsáveis por maiores anomalias climáticas ao longo do globo é o ENOS, que é uma anomalia na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico, com isto, desloca as águas mais quentes de oeste para leste. Este fato desloca a Célula de Walker para leste, o ramo descendente desloca-se do oeste da América do Sul para leste da América do Sul (o NEB). Ainda de acordo com Tucci (2003), no Atlântico, nos meses do outono austral, março-abril-maio, período coincidente com a estação chuvosa do setor norte do NEB, o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala dominante sobre a Bacia do Atlântico Tropical é o conhecido Padrão do Dipolo do Atlântico, caracterizado pela manifestação simultânea de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. Este padrão térmico exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), constituindo-se no principal sistema meteorológico indutor de chuvas na região do semi-árido no período da estação chuvosa.

Baseado na associação entre o clima e o comportamento dos oceanos Pacífico e Atlântico identificou-se a importância de relacionar os índices de extremos climáticos, encontrados anteriormente, com as anomalias (positivas e negativas) de TSM. Para isto, utilizou-se de uma correlação simples entre os quatro índices de extremos climáticos mais

significativos para a região estudada (DCS, DCU, R95p e Rx5day) e as anomalias de TSM nas regiões: Niño 1+2 e Niño 3, no Pacífico; TNA e TSA, no Atlântico.

O índice DCS não demonstrou nenhuma correlação, com significância estatística igual ou superior a 90%, com as regiões do Pacífico. Entretanto, demonstrou correlações estatisticamente significantes, para regiões do Atlântico, mostrando que as tendências dos DCS estão melhores correlacionadas a condições do Atlântico Tropical Norte (95% de significância) e do Atlântico Tropical Sul (90% de significância), respectivamente. O índice DCU não demonstrou correlação com significância estatística com nenhuma das regiões.

Na tabela 2, os índices que representam os extremos de chuva, R95p e Rx5day, mostraram fortes correlações de significância estatística com as duas regiões do Pacífico e com a região TNA, do Atlântico. O índice R95p apresentou significância de 99% com as três regiões, mostrando que os extremos de chuva da região estudada podem ser explicados pelas anomalias de TSM nas regiões especificadas, com a atuação do ENOS, por exemplo, que, segundo Philander (1990) e Moura et al. (2000), tem grande influência sobre o clima de diversas partes do Globo, incluindo o Oceano Atlântico Tropical e o NEB.

**Tabela 2:** Correlações entre os índices extremos de chuva e as anomalias de TSM.

	DCS	DCU	R95p	Rx5day
Niño 1+2			-0,408***	-0,340 **
Niño 3			-0,382***	-0,291**
TNAI	0,266**		-0,394***	-0,231*
TSAI	-0,225*			

(\*) Significância estatística de 90% ( $p < 0,1$ )

(\*\*) Significância estatística de 95% ( $p < 0,05$ )

(\*\*\*) Significância estatística de 99% ( $p < 0,01$ )

As Figuras 11 a 18, representam as variabilidades temporais dos índices e das regiões dos Oceanos Atlântico e Pacífico com significâncias estatísticas dentro dos limites apresentados na Tabela 2. A Figura 11 mostra a variabilidade temporal do índice DCS e do índice TNA e de acordo com a mesma, pode-se observar uma correlação positiva ( $r=0,266$ ), identificando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Tropical Norte contribui para o aumento do número de dias consecutivos secos, pois o aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte favorece o deslocamento da ZCIT para o norte inibindo a formação de chuvas sobre o norte do NEB. Da mesma forma, a Figura 12 mostra a variabilidade temporal dos índices DCS e TSA e uma correlação negativa ( $r=-0,225$ ), diagnosticando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Sul Tropical favorece o deslocamento da ZCIT mais para o sul e, com isso, contribui para a formação de chuvas sobre o norte do NEB, diminuindo o número de dias consecutivos secos. As Figuras 13, 14, 16 e 17, mostram as variabilidades temporais dos índices R95p e Rx5day com as regiões de Niño 1+2 e Niño 3, assim como, suas respectivas correlações negativas, R95p e Niño 1+2 ( $r=-0,408$ ), R95p e Niño 3 ( $r=-0,382$ ), Rx5day e Niño 1+2 ( $r=-0,340$ ) e Rx5day e Niño 3 ( $r=-0,291$ ). Mostrando que, aumento nas anomalias positivas na TSM do Oceano Pacífico Equatorial inibe a formação de chuvas sobre o norte do NEB, concordando com Moura et al. (2000). As Figuras 15 e 18 apresentam as variabilidades temporais dos índices R95p e Rx5day e a região do TNA e suas correlações negativas ( $r=-0,394$ ) e ( $r=-0,231$ ), respectivamente, identificando novamente que o aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Norte Tropical inibe a formação de chuvas sobre o NEB. Devido o fato do índice DCU não ter apresentado correlações com significância estatística igual ou superior a 90% não foi inserido figuras de suas variabilidades temporais com os índices no corpo do trabalho.

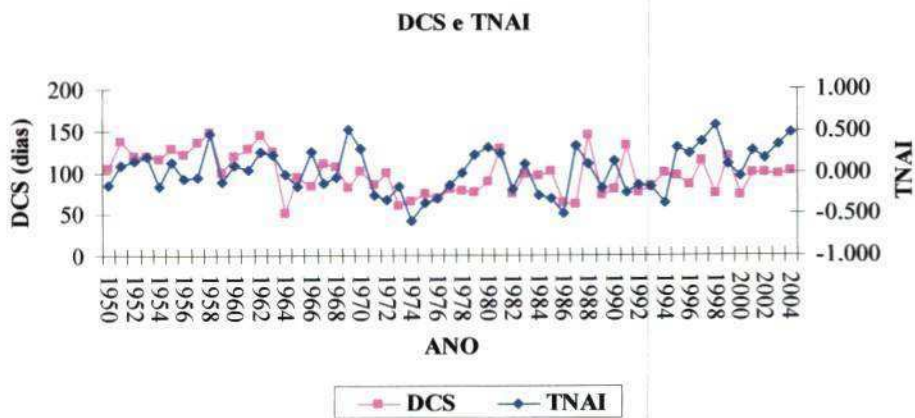


Figura 11: Variabilidade temporal dos índices DCS e TNA, ( $r = 0,266$ ).

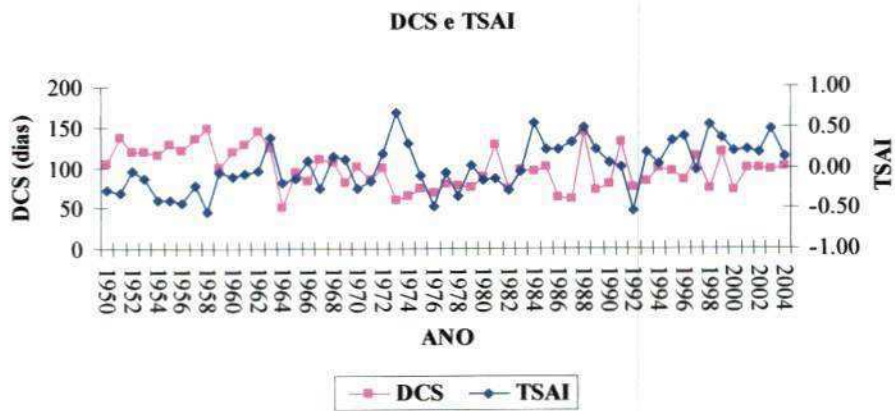


Figura 12: Variabilidade temporal dos índices DCS e TSA, ( $r = -0,225$ ).

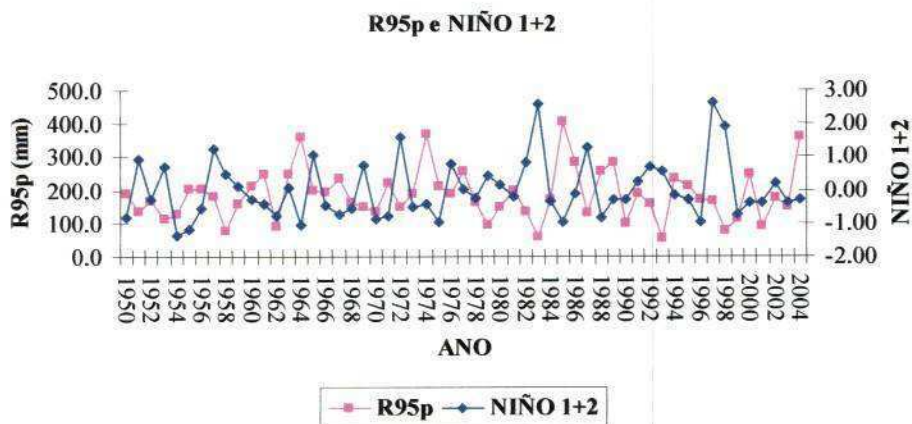


Figura 13: Variabilidade temporal dos índices R95p e Niño 1+2, ( $r = -0,408$ ).

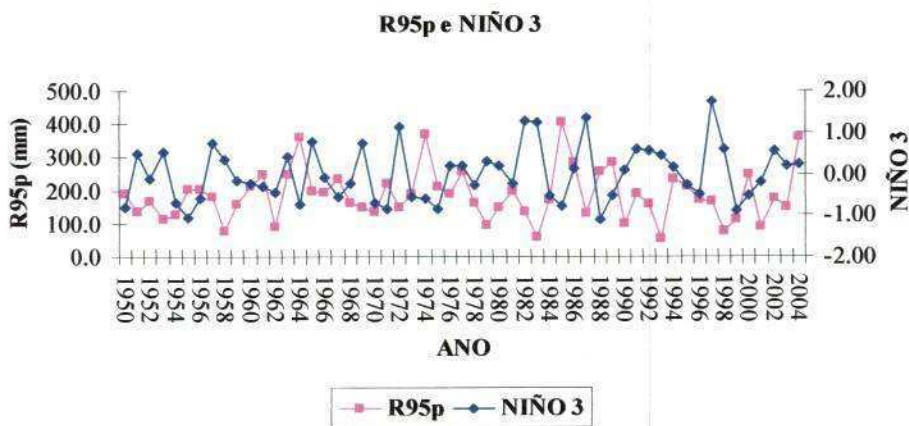


Figura 14: Variabilidade temporal dos índices R95p e Niño 3, ( $r = -0,382$ ).

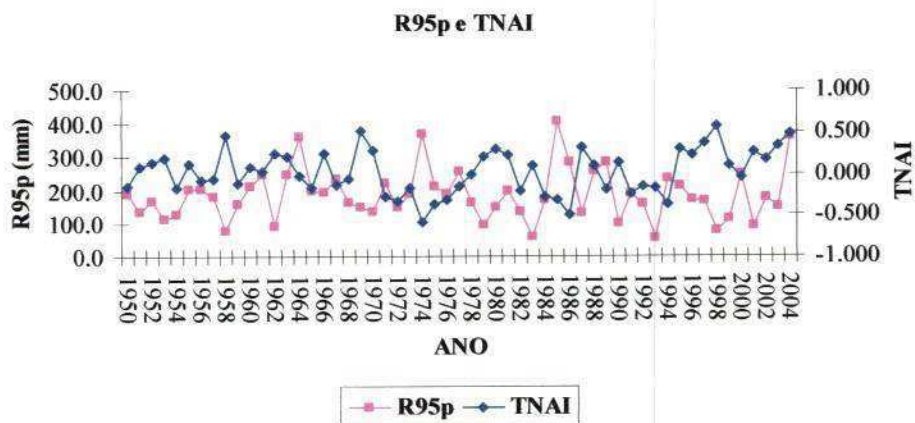


Figura 15: Variabilidade temporal dos índices R95p e TNA, ( $r = -0,394$ ).

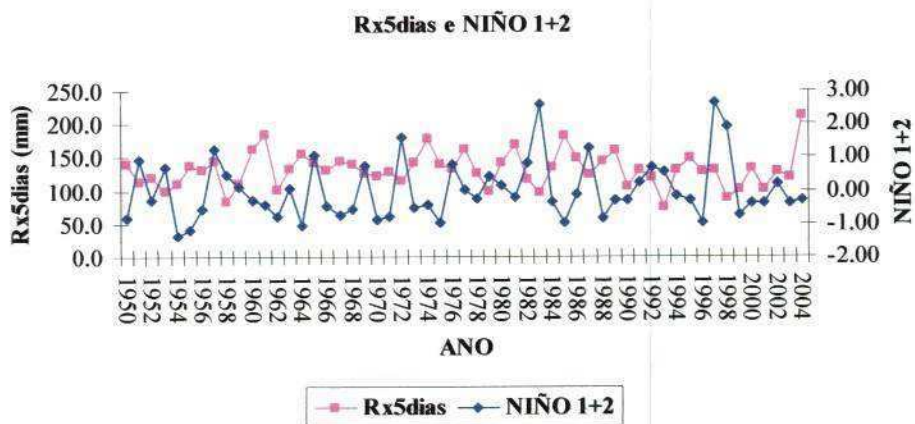


Figura 16: Variabilidade temporal dos índices Rx5day e Niño 1+2, ( $r = -0,340$ ).

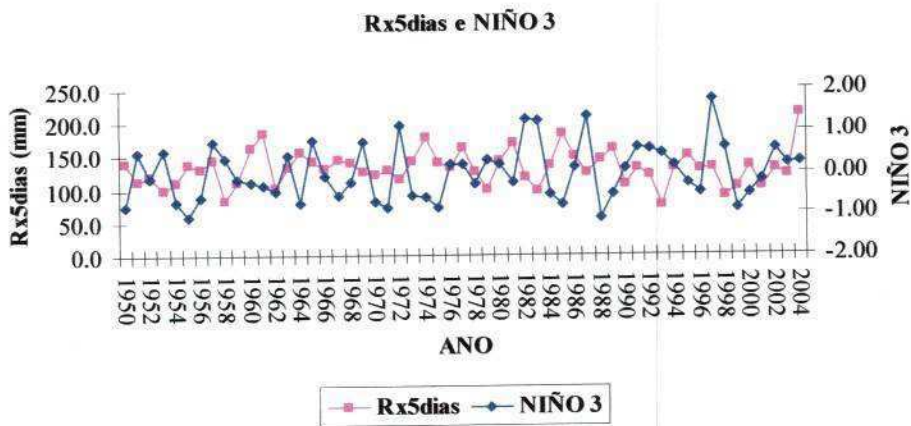


Figura 17: Variabilidade temporal dos índices Rx5day e Niño 3, ( $r = -0,291$ ).

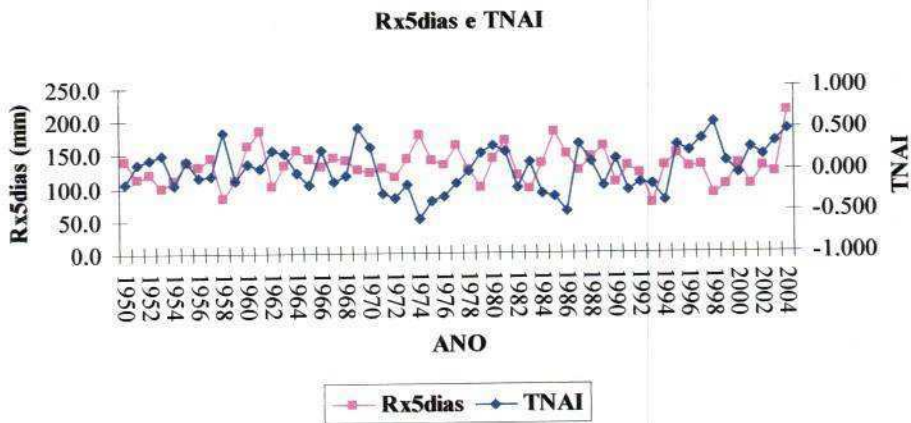


Figura 18: Variabilidade temporal dos índices Rx5day e TNA, ( $r = -0,231$ ).

### 5.3 - Índices Climáticos e IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

Existem numerosos trabalhos que associam as variações de precipitação aos valores de IVDN como indicador do vigor da vegetação, pois o mesmo tem sido amplamente utilizado para o monitoramento da vegetação. Os valores de IVDN tendem a aumentar em anos chuvosos, com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente em anos secos.

Por outro lado, Wang e Eltahir (2000), analisaram o papel da dinâmica da vegetação no aumento da variabilidade de baixa frequência das chuvas no Sahel e, concluíram que a resposta do clima regional a forçantes de grande escala é de certa forma regulada pela dinâmica da vegetação.

Pesquisadores, como Gurgel (2000), analisaram as conexões entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e as variabilidades climáticas anual e interanual sobre o Brasil permitindo a identificação de sete grandes tipos de cobertura vegetal e revelando sua variabilidade anual e interanual e o lapso de reação dos diferentes biomas à precipitação.

Como um dos objetivos desta pesquisa era a relação entre as tendências da precipitação pluvial com o IVDN, foram escolhidos os quatro índices mais significativos para a região (DCS, DCU, R95p e Rx5day) para fazer uma correlação simples com o IVDN das regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão dos Estados estudados.

Conforme a tabela 3, o índice DCS não demonstrou correlação, de significância estatística igual ou superior a 90%, com o IVDN das duas regiões escolhidas. Entretanto, o índice DCU demonstrou uma correlação com significância de 90%, com o IVDN do



Agreste, Zona da Mata e Litoral e de 99% com o IVDN do Sertão. Os índices referentes as maiores intensidades de chuva, R95p e Rx5day, demonstraram fortes correlações, em torno de 99%, para o IVDN de ambas as regiões. Identificando assim, a forte relação da dinâmica da vegetação, principalmente do bioma Caatinga, com os eventos extremos de chuva. Portanto, observa-se que o IVDN do Sertão é mais dependente dos extremos de precipitação do que o do Agreste, Zona da Mata e Litoral. Esta baixa relação da dinâmica vegetativa do Agreste, Zona da Mata e Litoral com os extremos de chuva, dar-se ao fato de que essa vegetação não varia muito a composição de sua estrutura entre a época chuvosa e a seca. Diferentemente, a dinâmica do bioma Caatinga é fortemente dependente dos eventos chuvosos, pois a composição de sua estrutura varia muito entre épocas chuvosas e secas, observando-se que em anos chuvosos sua folhagem é densa, enquanto que em anos secos desaparece quase que em sua totalidade.

**Tabela 3:** Correlações entre os índices extremos de chuva e o IVDN.

	DCS	DCU	R95p	Rx5day
IVDN (Agreste, Zona da Mata e Litoral)		0,452*	0,604***	0,567**
IVDN (Sertão)		0,786***	0,848***	0,901***

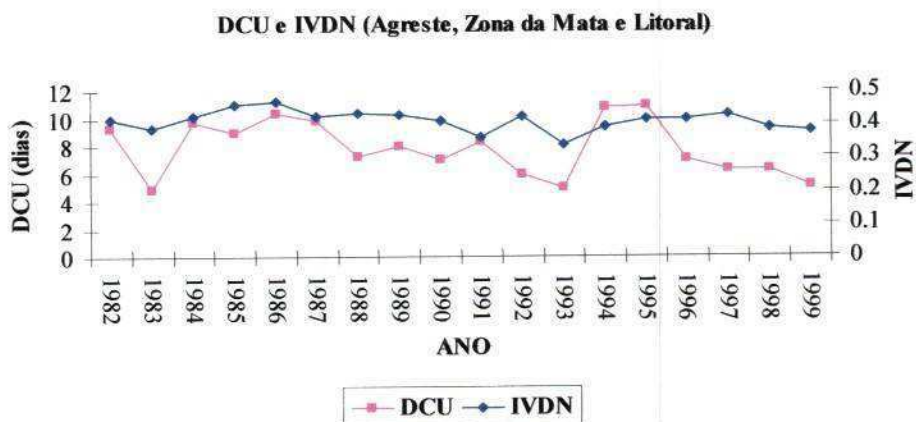
(\*) Significância estatística de 90% ( $p < 0,1$ )

(\*\*) Significância estatística de 95% ( $p < 0,05$ )

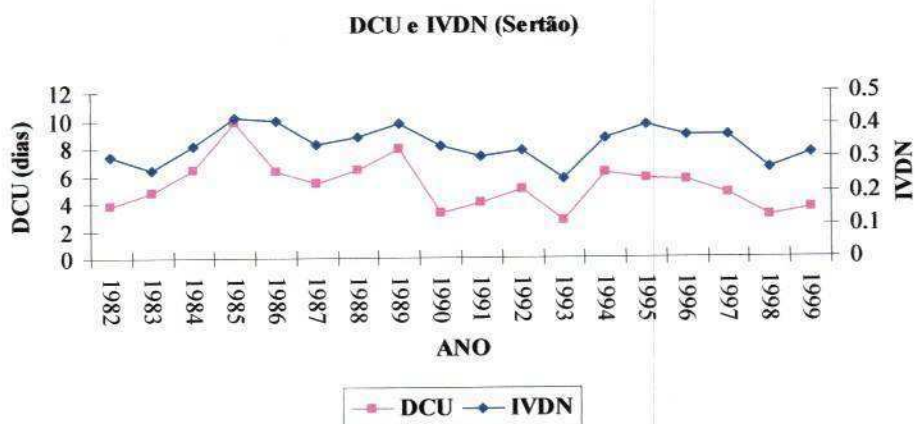
(\*\*\*) Significância estatística de 99% ( $p < 0,01$ )

As distribuições anuais dos índices DCU, R95p e Rx5day juntamente com suas respectivas correlações com o IVDN das regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral e da região do Sertão, com significâncias estatísticas dentro dos limites expostos na Tabela 3, são apresentadas nas Figuras 19 a 24. A Figura 19 mostra a variabilidade interanual do índice DCU e o IVDN do Agreste, Zona da Mata e Litoral, como pode ser verificada na

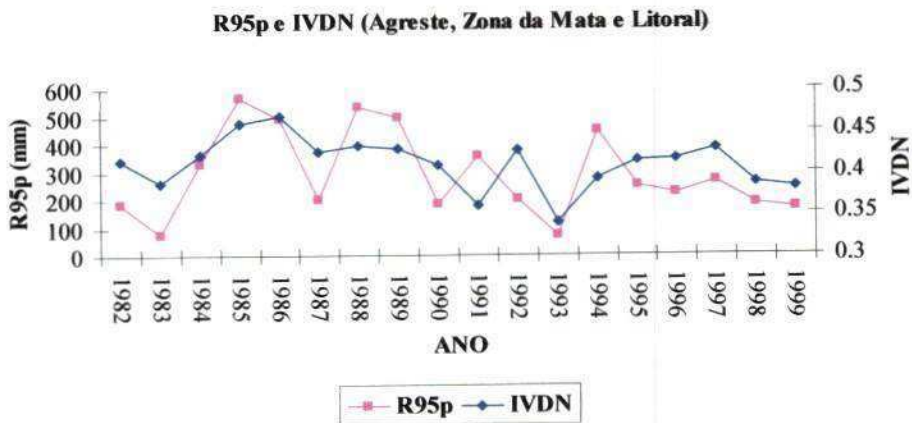
Tabela 3 a correlação entre estes índices apresentou significância de 90%. Na Figura 20 observa-se a variabilidade interanual do índice DCU e o IVDN do Sertão. Na Figura 21 está mostrada a variabilidade temporal do índice R95p e do IVDN para as regiões Agreste, Zona da Mata e Litoral e pode-se observar que o IVDN desta região está defasado no tempo, diagnosticando um retardo no seu tempo de resposta aos eventos chuvosos. Enquanto, a Figura 22 mostra a variabilidade temporal do índice R95p e do IVDN para a região do Sertão, pode-se destacar nesta figura o caso anômalo do ano de 1985 quando uma combinação de sistemas atmosféricos atuando sobre o NEB proporcionou chuvas torrenciais classificando-o como anômalo, assim como, o ano de 1993 que devido a atuação do El Niño, talvez o mais prolongado do século XX começando em dezembro de 1990 e terminou nos primeiros meses de 1993, foi caracterizado como seco. De maneira semelhante observa-se o ano de 1998. As Figuras 23 e 24 apresentam a variabilidade interanual do índice Rx5day e IVDN para o Agreste, Zona da Mata e Litoral e Sertão, respectivamente. Observa-se na Figura 24 a forte dependência do IVDN com a precipitação máxima mensal em cinco dias consecutivos, pois esse tipo de evento mantém por um longo tempo a umidade no solo favorecendo o desenvolvimento da folhagem da Caatinga.



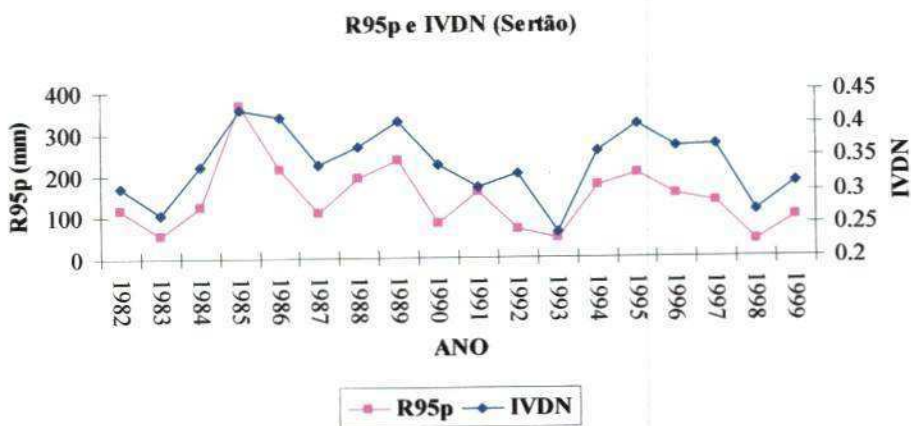
**Figura 19:** Variabilidade temporal do índice DCU e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,452$ ).



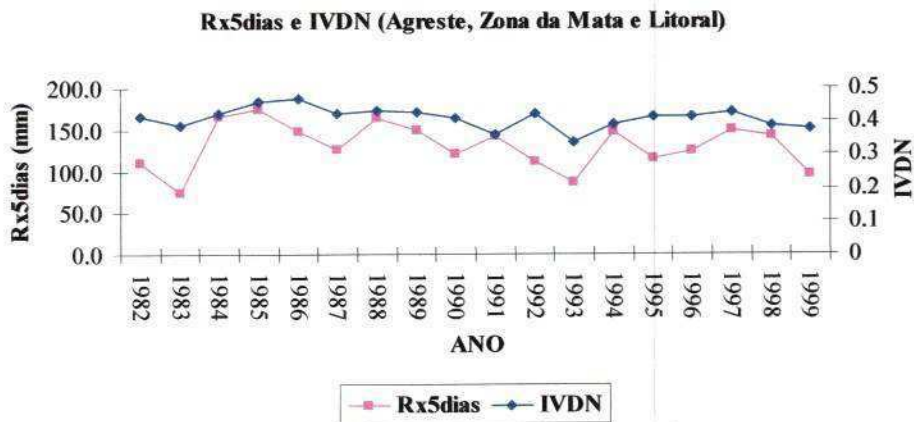
**Figura 20:** Variabilidade temporal do índice DCU e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,786$ ).



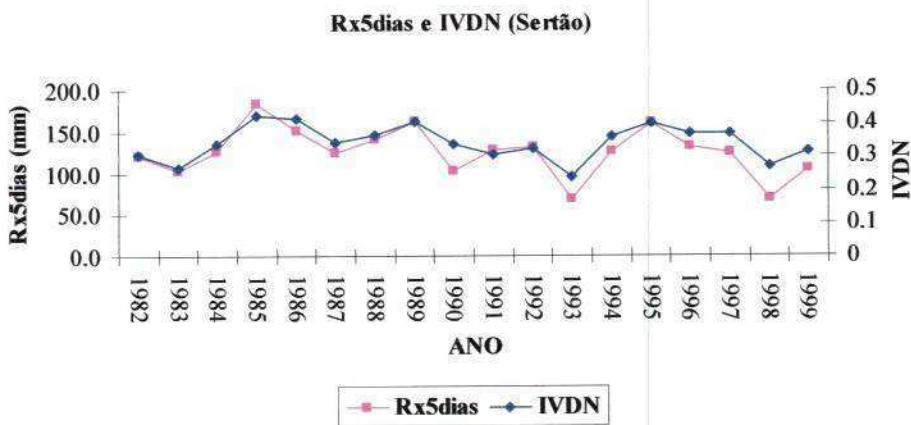
**Figura 21:** Variabilidade temporal do índice R95p e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,604$ ).



**Figura 22:** Variabilidade temporal do índice R95p e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,848$ ).



**Figura 23:** Variabilidade temporal do índice Rx5day e o IVDN da região do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,567$ ).



**Figura 24:** Variabilidade temporal do índice Rx5day e o IVDN da região do Sertão, ( $r = 0,901$ ).

#### 5.4 - Índices Climáticos e Área Colhida

Sabe-se que a agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, como a pluviosidade, por exemplo. Alterações destes fatores sobre a agricultura certamente incidiriam na produtividade e no manejo das culturas, como irrigação, controle de pragas e doenças, etc., bem como nos sistemas sociais e econômicos.

Vários estudos têm sido feitos para estimar os possíveis impactos da mudança do clima sobre as produções de culturas agrícolas baseados em modelos de circulação geral. Segundo Jones (1987), a produção em áreas tropicais e subtropicais, principalmente na África Subsaariana, devido às grandes áreas de clima árido e semi-árido e sua dependência da agricultura, seria mais afetadas do que em regiões temperadas.

Pesquisadores como Siqueira et al. (1994), apresentaram projeções sobre os efeitos potenciais da mudança climática global na agricultura brasileira e uma das conclusões alcançadas é que o NEB seria especialmente vulnerável aos decréscimos de produções de milho. Rao et al. (1997), descreveram que o aumento ou diminuição da colheita de milho no NEB tem fortes ligações com o Índice de Oscilação Sul e sugeriram que o índice pode ser utilizado como um preditor da colheita anual de milho na região.

De acordo com a tabela 4, nas correlações feitas entre os índices de extremos de clima especificados anteriormente e as áreas colhidas de cana-de-açúcar, abacaxi e arroz, no Agreste, Zona da Mata e Litoral e as áreas colhidas de milho e feijão, no Sertão, foi encontrada uma significância de 95% entre o DCU e a área colhida do Sertão, entre o R95p e as áreas colhidas do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão e uma significância de 99% entre o Rx5day e a área colhida do Sertão.

Com isto, observa-se que a área colhida do Agreste, Zona da Mata e Litoral tem correlação significativa apenas com o percentil excedente, R95p, pois as culturas da região não dependem diretamente das chuvas e algumas são cultivadas utilizando processo de irrigação. Entretanto, a área colhida do Sertão está fortemente ligada aos padrões de umidade, demonstrado pela alta significância da correlação entre ela e a intensidade de evento máximo, Rx5day, evidenciando o fato de que nesta região a agricultura é de sequeiro e que a produtividade dessas culturas é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações interanuais do tempo e clima. Toda cultura plantada nesse sistema depende, inevitavelmente, da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas.

Observou-se também, a correlação entre a área colhida de algodão arbóreo, algodão herbáceo e sisal com os índices selecionados (anexo C), porém nenhuma alcançou o nível de significância estatística de 90%, desta forma, optou-se por mostrar a correlação que obteve melhor significância, ou seja, a área colhida com o índice R95p. Desta forma, deduz-se que a questão climática não foi um dos fatores marcantes para o forte declínio da cultura algodoeira na região estudada.

**Tabela 4:** Correlações entre os índices extremos de chuva e a Área Colhida.

	DCS	DCU	R95p	Rx5day
Área Colhida (Cana-de-açúcar, abacaxi e arroz) para as regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral			0,482**	
Área Colhida (Milho e feijão) para a região do Sertão		0,521**	0,557**	0,662***

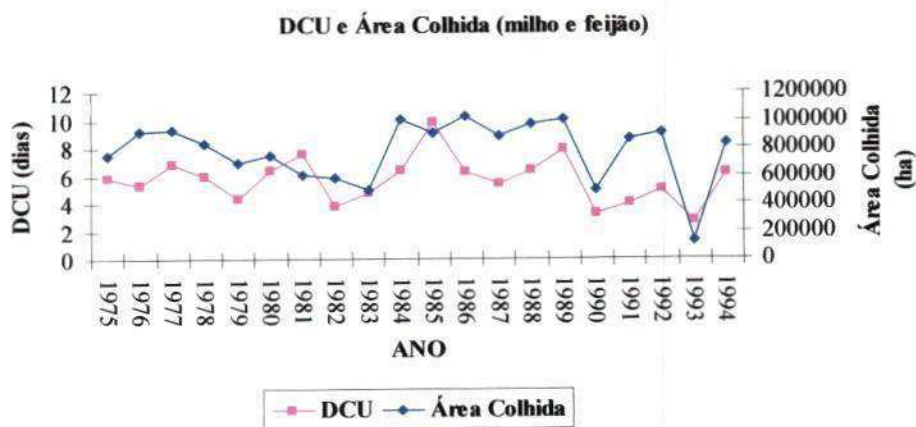
(\*) Significância estatística de 90% ( $p < 0,1$ )

(\*\*) Significância estatística de 95% ( $p < 0,05$ )

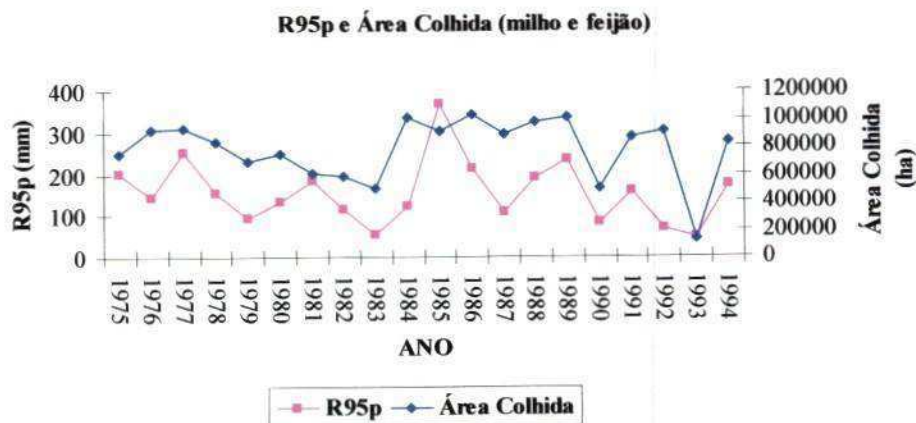
(\*\*\*) Significância estatística de 99% ( $p < 0,01$ )

As Figuras 25, 26 e 27 mostram a variabilidade interanual dos índices DCU, R95p e Rx5day juntamente com a área colhida de milho e feijão para a região do Sertão, respectivamente. A Figura 25 evidencia que mesmo tendo variado os DCU entre os anos 1984 à 1989 a área colhida manteve um padrão de estabilidade, pois estes anos mantiveram precipitações regulares, como também, sendo observado os fortes declínios em 1990 e 1993 por terem sido anos secos. A Figura 28 apresenta a variabilidade interanual do índice Rx95p e a área colhida de cana-de-açúcar, abacaxi e arroz para regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral. Apesar do R95p ter apresentado a melhor correlação, entre todos os índices, com a área colhida de cana-de-açúcar, abacaxi e arroz para as regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral, o comportamento das duas curvas é menos concordante do que os índices (DCU, R95p e Rx5day) com a área colhida de milho e feijão para o Sertão. Podendo-se observar que a variabilidade do R95p não afetou o comportamento da área colhida de cana-de-açúcar, abacaxi e arroz. Entretanto, no ano de 1993 o comportamento do gráfico evidencia que essas culturas sentiram o impacto do El Niño provocador deste ano seco.

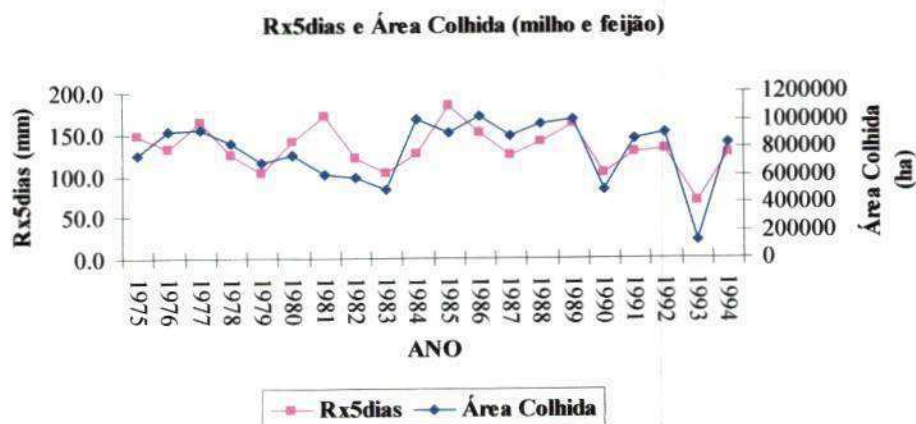




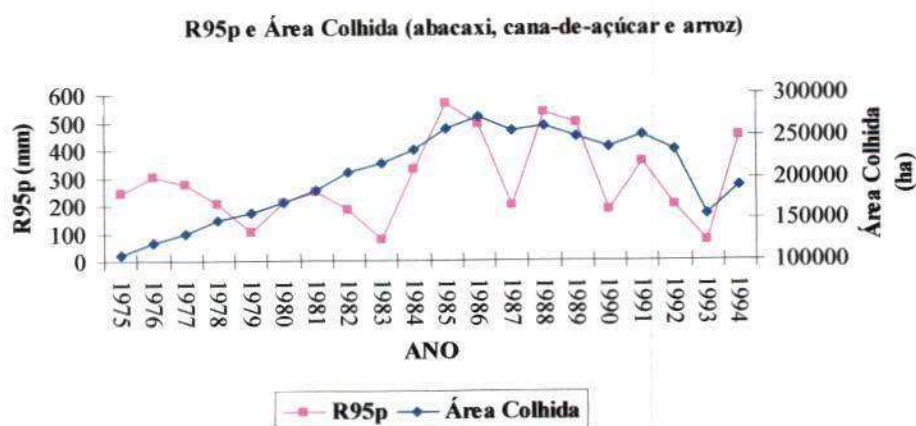
**Figura 25:** Variabilidade temporal do índice DCU e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,521$ ).



**Figura 26:** Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,557$ ).

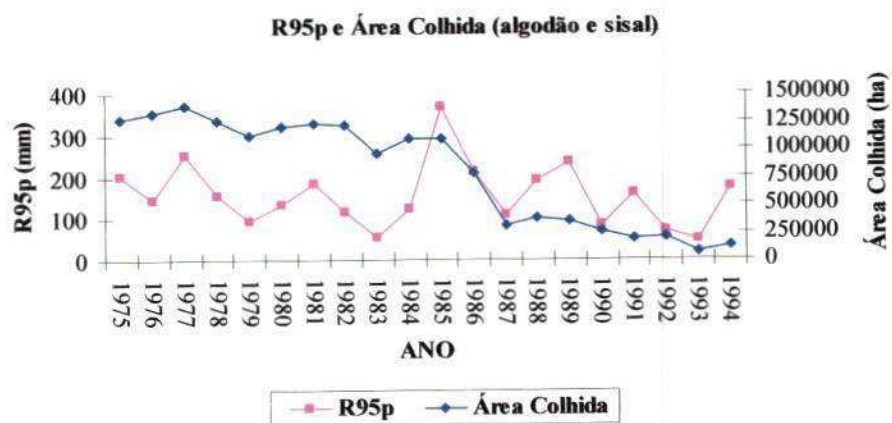


**Figura 27:** Variabilidade temporal do índice Rx5day e a área colhida do Sertão, ( $r = 0,662$ ).



**Figura 28:** Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida do Agreste, Zona da Mata e Litoral, ( $r = 0,482$ ).

A Figura 29, não está representada na Tabela 4, pois, demonstrou correlação com significância estatística inferior a 90%. Mesmo assim, torna-se necessário explicitar a referida Figura, pois como mostrado anteriormente, a melhor correlação da área colhida de algodão arbóreo, algodão herbáceo e sisal, foi com o índice R95p.



**Figura 29:** Variabilidade temporal do índice R95p e a área colhida de algodão arbóreo, algodão herbáceo e sisal, ( $r = 0,291$ ).

## 6 - CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos chegou-se às seguintes conclusões:

1. Nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba houve um aumento no número de dias com chuvas, na precipitação total anual e no número de dias extremamente úmidos, porém com a menor ocorrência de eventos extremos. Entretanto, algumas localidades situadas na região do Curimataú paraibano e do Seridó rio-grandense-do-norte, mostraram que nesta região o número de eventos com precipitação acima de 50 mm aumentou.
2. As alterações nos regimes climáticos apontam para um caráter global, porém não pode ser afirmado categoricamente que estas tendências estão relacionadas com uma mudança global do clima, pois, para localidades isoladas verificaram-se tendências negativas e positivas em todos os índices analisados o que demonstra o aspecto regional. Os possíveis fatores regionais que podem ter modificado o clima da região foram o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas e, em determinados casos, a soma dos dois.

3. A tendência dos dias consecutivos secos demonstrou significativas correlações com as condições das regiões Norte e Sul do Atlântico Tropical. Entretanto, os índices que representam os extremos de chuva apresentaram correlações de significância estatística com as regiões de Niño 1+2 e Niño 3, no Pacífico e com a região do Atlântico Norte Tropical. Evidenciando a forte influência da TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a precipitação da região estudada, identificando assim, que a atuação do ENOS e do Dipolo do Atlântico têm grande influência sobre o clima do Nordeste Brasileiro.
4. Os índices extremos de chuva demonstraram forte correlação com a dinâmica da vegetação do bioma Caatinga, mostrando que o IVDN do Sertão é mais dependente dos extremos de precipitação do que o das demais regiões e que a área colhida de milho e feijão no Sertão, dos dois Estados, está fortemente ligada aos padrões de umidade, demonstrado pela alta significância estatística de suas correlações com os índices de eventos extremos de chuva.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. de. Uso de modelos de circulação geral da atmosfera para simular o clima e a variabilidade climática. In: SANT'ANNA NETO, J. L. e ZAVATINI, J. A. (org.). **Variabilidade e mudanças climáticas**. Maringá: Eduem, p. 82-93, 2000.

ALEXANDER, L. V., ZHANG, X., PETERSON, T. C., CAESAR, J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A., HAYLOCK, M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., TAGIPOUR, A., AMBENJE, P., KUMAR, K. R., REVADEKAR, J., GRIFFITHS, G., VINCENT, L., STEPHENSON, D., BURN, J., AGUILAR, E., BRUNET, M., TAYLOR, M., NEW, M., ZHAI, P., RUSTICUCCI, M., VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Global Extremes Indices**, British Crown Copyright, 65p., 2005.

ALLAN, R. J., HAYLOCK, M. R. Circulation Features Associated with the Winter Rainfall Decrease in Southwestern Australia. **Journal of Climate**, 6, 1356-1367, 1993.

ALVES, A. R. Efeito estufa e mudanças climáticas. **Ação Ambiental**, v. IV, nº 18, p. 7-15, 2001.

- ALVES, D. C. O.; EVENSON, R. E. Global warming impacts on brazilian agriculture: estimates of the Ricardian Model. In: CONFERENCE ON ENVIRONMETRICS IN BRAZIL, 1996, São Paulo, SP. Abstracts... São Paulo: IME-USP, p. 63, 1996.
- ALVES, J. M. D., KAYANO, M. T. Estudos Preliminares da Precipitação no Sul do Ceará durante a Pré-Estação das Chuvas. **Climanálise**, 6, 42-50, 1991.
- ALVES, J. M. B., REPELLI, C. A. The Rainfall Variability Over the Northeast Brazil Region and the ENSO events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 7 (2), 583-592, 1992.
- AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os trópicos. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 4 ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332 p., 1996.
- BARBOSA, H. A. Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85. São José dos Campos. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- BARROS, V., CASTEÑEDA, M. E., DOYLE, M. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. Southern Hemisphere paleo and neo-climates, P. P. Smolka and W. Volkheimer, Eds., Springer Verlag, 2000.
- BENESTAD, R. E., A. MELSOM, A. Is there a link between the unusually wet autumns in southeastern Norway and sea-surface temperature anomalies? **Climate Research**, 23, 67-79, 2002.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 111-113, 1995.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D.J.; ARBLASTER, J.M. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century, **Geophysical Research Letters**, v. 31, n.13: Art. No. L13217, 2004.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D.J.; HIRST A.C; MANN, M.E; STOTT, P; STOUFFER, R.J; TETT S.F.B. Simple indices of global climate variability and change: Part I - variability and correlation structure, **Climate Dynamics**, v. 20, n. 5, p. 491-502, 2003.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D.J.; HIRST A.C; MANN, M.E; STOTT, P; STOUFFER, R.J; TETT S.F.B. Simple indices of global climate variability and change - Part II: attribution of climate change during the twentieth century, **Climate Dynamics**, v. 22, n. 8, p. 823-838, 2004.

BRUNETTI, M., MAUGERI, M., NANNI, T., NAVARRA, A. Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series. **International Journal of Climatology**, 22, 543-558, 2002.

CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, Rclimdex (0.9) User Manual, 25p., 2004.

CAVALCANTI, I.A. Um estudo sobre as interações entre os sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. INPE 2494 TDL/097, 1982.

CHAN, S. C. Analysis of easterly wave disturbances over South Atlantic Ocean. Dissertação de mestrado INPE - 5222 - TDL/437, 104p., 1990.



CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: *Variabilidade e Mudanças Climáticas*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p. 17-28, 2000.

CORTEZ, H. Aquecimento Global e Água. Série Consciência e Meio Ambiente, p. 95, 2004.

EASTERLING, D. R., ALEXANDER, L., MOKSSIT, A., DETEMMERMAN, V. CCI/CLIVAR workshop to develop priority climate indices. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 84, 1403-1407, 2003.

FOLLAND, C. K., MILLER, C., BADER, D., CROWE, M., JONES, P., PLUMMER, N., RICHMAN, M., PARKER, D. E., ROGERS, J., SCHOLEFIELD, P. Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group C: Temperature indices for climate extremes. **Climatic Change**, 42, 31-43, 1999.

FOLLAND, C. K.; KARL, T. R. e SALINGER, M. J.: Observed climate variability and change. **Weather**, v. 57, p. 269-278, 2002.

FOLLAND, C. K.; MILLER, C.; BADER, D.; CROWE, M.; JONES, P.; PLUMMER, N.; RICHMAN, M.; PARKER, D. E.; ROGERS, J. e SCHOLEFIELD, P.: Workshop on indices and indicator for climate extremes, Asheville, NC, USA. Breakout Group C: Temperature indices for climate extremes. **Climate Change**, 42, 31-43, 1999.

FREI, C., SCHAR, C. Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. **Journal of Climate**, 14, 1568-1584, 2001.

FRICH, P., ALEXANDER, L. V., DELLA-MARTA, P., GLEASON, B., HAYLOCK, M., TANK, A. M. G. K., PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, 19, 193-212, 2002.

GAN, M.A. Um estudo observacional sobre as baixas da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil. Dissertação de Mestrado, INPE -2685-TDL/126, 1982.

GROISMAN, P. Y., KARL, T. R., EASTERLING, D. R., KNIGHT, R. W., JAMASON, P. F., HENNESSY, K. J., SUPPIAH, R., PAGE, C. M., WIBIG, J., FORTUNIAK, K., RAZUVAEV, V. N., DOUGLAS, A., FORLAND, E., ZHAI, P. M. Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. **Climatic Change**, 42, 243-283, 1999.

GUETTER, A. K., PRATES, E. Degrau climático nas séries de vazões das bacias brasileiras. In: **CBMET**, 12., 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, PR, 2002.

GURGEL, H. C. Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima. Dissertação de Mestrado, São José dos Campos – SP, INPE, 2000.

HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. **Journal of Climate**, 6, 743-758, 1993.

HASTENRATH, S., LAMB, P. Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans. University of Wisconsin Press, 113 pp, 1977.

HAYLOCK, M., N. NICHOLLS, N. Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998. **International Journal of Climatology**, 20, 1533-1541, 2000.

HAYLOCK, M., GOODESS, C. Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. **International Journal of Climatology**, 24, 759-776, 2004.

HAYLOCK, M. R., PETERSON, T. C., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIACÃO, Y. M. T., BAEZ, J., BARROS, V. R., BERLATO, M. A., BIDEGAIN, M., CORONEL, G., GARCIA, V. J., GRIMM, A. M., KAROLY, D., MARENGO, J. A., MARINO, M. B., MONCUNILL, D. F., NECHET, D., QUINTANA, J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J. L., TREBEJO, I., VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Revised for Journal of Climate**, 2005.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum value composites images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1417-1434, Nov.1986.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. C.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTERBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). *Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (Inglaterra): Cambridge University Press, 584 p., 1996.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E., XIANG, G., FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 83:195-213, 2002.

IPCC. *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge: Cambridge Academic Press, 339p., 1994.

IPCC. *Climate Change 1995. Contributions of Working Groups I, II e III*. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - 1995 - Lakeman, J. A. Production Editor. Cambridge University Press., 1995.

IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. *Climate Change and Biodiversity*. Cambridge, University Press, 86 p., 2002.

JONES, J. W; PICKERING, N. B; ROSENZWEIG, C; BOOTE, K. J. Simulated impacts of global change on crops. Gainesville: University of Florida, p. 411-434. (Technical Bulletin, 100), 1987.

KARL, T. R., KNIGHT, R. W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 79, 231-241, 1998.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. Indices of climate change for the United States. **American Meteorological Society Bulletin**, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292, Feb. 1996.

KAROLY, D., KUMAR, A., PALWARTY, R. S., SCHUBERT, S. D. Re-analysis of Historical Climate Data for Key Atmospheric Features: Implications for Attribution of Cause of Observed Change. U S Climate Change Science Program; Draft Prospectus for Synthesis and Assesment Product 1.3. Washington, D. C., 2005.

- KLEIN TANK, A. M. G. K., KONNEN, G. P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. **Journal of Climate**, 16, 3665-3680, 2003.
- KOUSKY , V. E.: Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, 488-498, 1980.
- KOUSKY, V. E., CHU, P.S. Flutuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 56, 457- 465, 1978
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, 1142-1153, 1979.
- LIEBMANN, B., VERA, C. S., CARVALHO, L. M. V., CAMILLONI, I., HOERLING, M. P., BARROS, V. R., BÁEZ, J., BIDEGAIN, M. An observed trend in central South American Precipitation. **Journal of Climate**, 17, 4357-4367, 2004.
- LIMA, M. A. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.19, n. 3, p.451-472, 2002.
- LINDZEN R. S e GIANNITSIS, C. Reconciling observations of global temperature change. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 0, p. 1-3. 2002.
- MANSO, A. F., ILLERA, P., DELGADO, J. A., UNZUETA, A. F. Climatic interpretation of the NDVI: applications for vegetation monitoring in Castilla y León (Spain). In: **EUROPTO Conference on Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology**, Barcelona, Proceedings. v. 3499, p. 372-383. 1998.
- MANTON, M. J., DELLA-MARTA, P. M., HAYLOCK, M. R., HENNESSY, K. J., NICHOLLS, N., CHAMBERS, L. E., COLLINS, D. A., DAW, G., FINET, A., GUNAWAN, D., INAPE, K., ISOBE, H., KESTIN, T. S., LEFALE, P., LEYU, C. H., LWIN, T., MAITREPIERRE, L., OUPRASITWONG, N., PAGE, C. M., PAHALAD, J.,

- PLUMMER, N., SALINGER, M. J., SUPPIAH, R., TRAN, V. L., TREWIN, B., TIBIG, I., YEE, D. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. **International Journal of Climatology**, 21, 269-284, 2001.
- MANTON, M. J., NICHOLLS, N. Monitoring trends in extreme climate events. **APN Newsletter**, 1-3, 1999.
- MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, 78, 79-96, 2004.
- MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., UVO, C. R. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, 103, 1775-1783, 1998.
- MARENGO, J. ROGERS, J. Cold front and polar air outbreaks in the Americas during modern climate assessments and impacts, and some past climate evidences. In: MARGRAF, V. (ed.). **Present and Past Inter-Hemispheric Climate Linkages in the Americas and Their Societal Effects**. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- MARENGO, J. TOMASELLA, J. UVO, C. Long-term stream flow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwest Peru. **Journal of Geophysical Research**, n. 103, p. 1775-1783, 1998.
- MARENGO, J., UVO, C. Long-term streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru (to be submitted to **Journal of Geophysical Research**), 1996.
- MARKHAM, C. G. E MCLAIN, D. R. Sea Surface Temperature Related to Tain in Ceará Northeastern Brazil. **Nature**, 265, 320-323, 1977.

- MATALLO Jr, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. & MATALLO Jr, H (org.). Desertificação. Brasília: UNESCO, p. 9-25, 1999.
- MENDELSON, R. Estimating the market impacts of global warming in Brazil. In: CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL METRICS IN BRAZIL, 1996, São Paulo, SP. Abstracts... São Paulo: IME-USP, p. 63, 1996.
- MINETTI, J. L. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 degrees S. *Atmosfera*, 11, 205-221, 1998.
- MINETTI, J. L., VARGAS, W. M., POBLETE, A. G., ACUNA, L. R., CASAGRANDE, G. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmosfera*, 16, 119-135, 2003.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global: fato ou ficção. *Ação Ambiental*, v. IV, nº 18, p. 19-21, 2001.
- MOLION, L. C. B. Efeitos de vulcões no clima. *Cadernos de Geociências*, Rio de Janeiro, n. 12, p. 12-23, out./dez. 1994.
- MOLION, L. C. B. Um século e meio de aquecimento global? *Cadernos de Geociências*, n. 15, p. 45-56. 1995.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2 ed. – Viçosa: UFV, 307 p., 2003.
- MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal Atmospheric Science*, v. 38, n. 12, p. 2653-2673, 1981.

MOURA, G. B. A, ARAGÃO, J. O. R, LACERDA, F. F e PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil e a Temperatura da Superfície nos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 247-251, 2000.

NICHOLLS, N., GRUZA, G. V., JONZEL, J., KARL, T. R., OGALLO, L. A., PARKER, D. E. Observed climate variability and change. *Climate Change 1995*, J. T. HOUGHTON, L. G. MEIRA FILHO, B. A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG, AND K. MASKELL, Eds., Cambridge University Press, 133-192, 1996.

NICHOLLS, N., MURRAY, W. Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group B: Precipitation. **Climatic Change**, 42, 23-29, 1999.

NOBRE, C. A. Mudanças Climáticas Globais: Possíveis Impactos nos Ecossistemas Brasileiros, **Parcerias Estratégicas**, n. 12, setembro, 2001.

NOBRE, C. A., SELLERS, P., SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, n. 4, p. 957-988, 1991.

OSBORN, T. J., HULME, M., JONES, P. D., BASNETT, T. A. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. **International Journal of Climatology**, 20, 347-364, 2000.

PETERSON, T. C., TAYLOR, M. A., DEMERITTE, R., DUNCOMBE, D. L., BURTON, S., THOMPSON, F., PORTER, A., MERCEDES, M., VILLEGAS, E., FILS, R. S., TANK, A. K., MARTIS, A., WARNER, R., JOYETTE, A., MILLS, W., ALEXANDER, L.,



GLEASON, B. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, 107, art. no.-4601, 2002.

PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press. San Diego, 311p., 1990.

PLUMMER, N., SALINGER, M. J., NICHOLLS, N., SUPPIAH, R., HENNESSY, K. J., LEIGHTON, R. M., TREWIN, B., PAGE, C. M., LOUGH, J. M. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. **Climatic Change**, 42, 183-202, 1999.

POTTER, C. S.; BROOKS, V. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 15, p. 2921-2948, Oct. 1998.

PRUDÊNCIO, R. S.; GEREMIAS, R.; VEADO, R. W. V. Análise do ritmo pluviométrico do litoral catarinense. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 11., 1999, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 1055-1063, 1999.

PUIGDEFABREGAS, J. Desertification: Stress Beyond Resilience, Exploring a Unifying Process Structure. **AMBIO**, v. 24, n. sf, p. 311-313, 1995.

RAO, V. B., SÁ, L. D. A., FRANCHITO, S. H., HADA, K. Interannual variations of rainfall and corn yields in Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, n. 1-2, p. 63-74, 1997.

RAO, V.B., LIMA, M., FRANCHITO, S.H.: Seazonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, 6, 1754-1763, 1993.

ROCHA, E. P. Balanço de Umidade e Influência de Condições de Contorno Superficiais sobre a Precipitação da Amazônia. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 2001.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El-Nino Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, 115, 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 2, 268-284, 1989.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; BEERING, D. W.; SCHELL, J. A. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Austin: Texas A. M. University. Remote Sensing Center. College Station. 1974.

RUSTICUCCI, M., PENALBA, O. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. **Climate Research**, 16, 1-15, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B. E SAMPAIO, Y. Preservação da vegetação nativa, especialmente de Caatinga: custos e responsabilidades. **Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, 3, Recife, PE, 1999. Anais, Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, CD-ROM, 17p., 1999.

SANGUI, A.; ALVES, D. C.; EVENSON, R.; MENDELSON, R. Global warming impacts on brazilian agriculture: estimates of the ricardian model. **Economia Aplicada**, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.

SANSIGOLO, C., RODRIGUEZ, R., ETCHICHURY, P. Tendências nas temperaturas médias do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 7., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo, p. 367-371, 1992.

SERVAIN, J. L. Climatic Atlas of the Tropical Wind Stress and Sea Surface Temperature 1985-1989. Institut Français de Recherch pour l'Exploitation de la Mer, 143 p., 1990.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulation studies for wheat, maize and soybeans. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

SOON, W. e BALIUNAS, S. Lessons & limits of climate history: was the 20th century climate unusual? Washington, D. C.:The Marshal Institute, 23 p. Technical Report., 2003.

STEINKE, E. T. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. 2004. xviii, 201 p., 297 mm (ECO/IBUnB, (Doutor, Ecologia, 2004). Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, 2004.

TRENBERTH, K. Z. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 71, p. 988-993, 1990.

TUCCI, C. E. M. E BRAGA, B. Clima e Recursos Hídricos no Brasil, coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 9, 2003.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos. Brasília: ANA, 150 p. Relatório técnico, 2002.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E. E KUSHNIR, Y. The relationship Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, vol. 11, abril, 1998.

VAES, G., WILLEMS, P., BERLAMONT, J. 100 years of Belgian rainfall: are there trends? **Water Science and Technology**, 45, 55-61, 2002.

VENEGAS, S., MYSAK, L., STRAUB, N. Atmosphere-ocean coupled variability in the south Atlantic. **Journal of Climate**, n. 10, p. 2904-2920, 1998.

VENEGAS, S., MYSAK, L., STRAUB, N. Evidence for interannual and interdecadal climate variability in the south Atlantic. **Geophysical Research Letters**, n. 23, p. 2673-2676, 1996.

VICTORIA, R. et al. Surface air temperature variations in the Amazon region and border during this century. **Journal of Climate**, n. 11, p. 1105-1110, 1998.

WANG, G. L., ELTAHIR, E. A. B. Role of vegetation dynamics in enhancing the low-frequency variability of the Sahel rainfall. **Water Resources Research**, 36, v. 4, n. 4, p. 1013-1021, 2000.

YAMAZAKI, Y., AND RAO, V.B: Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, 205-207, 1977.

ZHANG, X., HEGERL, G., ZWIERS, F. W., KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, 18, 1641-1651, 2005.

## 8 - ANEXOS

### ANEXO A:

**Tabela 5:** Índices de chuva com suas definições e unidades. RR é o valor da precipitação diária. Um dia úmido tem  $RR \geq 1\text{mm}$  e um dia seco tem  $RR < 1\text{mm}$ .

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ( $RR \geq 1\text{mm}$ )	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1\text{mm}$	dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo mensal de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação $\geq 50\text{mm}$	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	mm

ANEXO B:

**Tabela 6:** Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 44 estações.

LOCALIDADES	LAT.	LON.	INÍCIO	TÉRMINO
AGUIAR - PB	-7.08	-38.18	1935	2000
ALHANDRA - PB	-7.43	-34.92	1935	2000
ANTENOR NAVARRO - PB	-6.73	-38.45	1935	2000
AREIA - PB	-6.97	-35.70	1935	2000
BANANEIRAS - PB	-6.77	-35.63	1935	2000
BARRA DE SANTA ROSA - PB	-6.72	-36.07	1935	2000
CABACEIRAS - PB	-7.50	-36.28	1935	1991
CATOLÉ DO ROCHA - PB	-6.35	-37.75	1935	2000
CONCEIÇÃO - PB	-7.55	-38.52	1935	2000
CONDADO - PB	-6.90	-37.62	1963	2000
IMACULADA - PB	-7.38	-37.50	1935	2000
ITABAIANA - PB	-7.33	-35.33	1935	1987
MAMANGUAPE - PB	-6.83	-35.12	1935	2000
MONTEIRO - PB	-7.88	-37.12	1935	2000
NOVA OLINDA - PB	-7.47	-38.05	1935	2000
PEDRA LAVRADA - PB	-6.75	-36.47	1935	2000
POMBAL - PB	-6.77	-37.82	1935	2000
PRINCESA ISABEL - PB	-7.73	-38.02	1935	1991
SANTA LUZIA - PB	-6.87	-36.93	1935	2000
SÃO JOÃO DO CARIRI - PB	-7.40	-36.53	1935	2000
SÃO JOÃO DO TIGRE - PB	-8.07	-36.87	1935	2000
SOLEDADE - PB	-7.07	-36.37	1935	2000
SOUZA - PB	-6.75	-38.23	1935	2000

TAPEROÁ - PB	-7.20	-36.83	1935	2000
TEIXEIRA - PB	-7.22	-37.27	1935	2000
UMBUZEIRO - PB	-7.70	-35.67	1935	2000
ASSU - RN	-5.58	-36.90	1935	2000
CAICÓ - RN	-6.45	-37.10	1935	2000
CARAÚBAS - RN	-5.47	-37.34	1935	2000
CURRAIS NOVOS - RN	-6.27	-36.52	1935	2000
JOÃO CÂMARA - RN	-5.53	-35.82	1935	2000
JUCURUTU - RN	-6.03	-37.02	1935	1997
LAGES - RN	-5.70	-36.25	1935	2000
LUIS GOMES - RN	-6.42	-38.40	1935	2000
MACAU - RN	-5.12	-36.63	1963	2000
MARTINS - RN	-6.08	-37.92	1935	2000
MOSSORÓ - RN	-5.20	-37.35	1935	2000
NATAL - RN	-5.80	-35.22	1935	2000
PARAÚ - RN	-5.47	-37.60	1935	2000
PATU - RN	-6.10	-37.63	1935	2000
SANTA CRUZ - RN	-6.23	-36.02	1935	2000
SANTO ANTONIO - RN	-6.30	-35.47	1935	2000
SÃO PAULO DO POTENGI - RN	-5.90	-35.76	1935	2000
TOUROS - RN	-5.20	-35.47	1935	2000

ANEXO C:

**Tabela 7:** Correlações simples entre os índices selecionados, anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, TNA e TSA, IVDN e Área colhida (AC) do Sertão (SER), Agreste, Zona da Mata e Litoral (LIT) e algodão arbóreo, herbáceo e sisal (ALG. E SISAL).

COMPONENTES	CORR. SIMPLES	t <sub>95</sub>	t <sub>97.5</sub>	t <sub>99</sub>	t <sub>99.5</sub>
DCS - NIÑO 1+2	-0.062	0.225	0.267	0.315	0.348
DCS - NIÑO 3	-0.077	0.225	0.267	0.315	0.348
DCS - TNAI	<b>0.266</b>	0.225	<b>0.267</b>	0.315	0.348
DCS - TSAI	<b>-0.225</b>	<b>0.225</b>	0.267	0.315	0.348
DCU - NIÑO 1+2	-0.212	0.225	0.267	0.315	0.348
DCU - NIÑO 3	-0.162	0.225	0.267	0.315	0.348
DCU - TNAI	-0.146	0.225	0.267	0.315	0.348
DCU - TSAI	0.137	0.225	0.267	0.315	0.348
R95p - NIÑO 1+2	<b>-0.408</b>	0.225	0.267	0.315	<b>0.348</b>
R95p - NIÑO 3	<b>-0.382</b>	0.225	0.267	0.315	<b>0.348</b>
R95p - TNAI	<b>-0.394</b>	0.225	0.267	0.315	<b>0.348</b>
R95p - TSAI	0.116	0.225	0.267	0.315	0.348
Rx5day - NIÑO 1+2	<b>-0.340</b>	0.225	0.267	<b>0.315</b>	0.348
Rx5day - NIÑO 3	<b>-0.291</b>	0.225	<b>0.267</b>	0.315	0.348
Rx5day - TNAI	<b>-0.231</b>	<b>0.225</b>	0.267	0.315	0.348
Rx5day - TSAI	0.080	0.225	0.267	0.315	0.348
DCS(LIT) - AC	0.3010	0.378	0.444	0.515	0.562
DCS(LIT) - IVDN	-0.2600	0.401	0.468	0.542	0.590
DCS(SER) - AC	0.0940	0.378	0.444	0.515	0.562
DCS(SER) - IVDN	-0.0300	0.401	0.468	0.542	0.590
DCU(LIT) - AC	0.2740	0.378	0.444	0.515	0.562
DCU(LIT) - IVDN	<b>0.4520</b>	<b>0.401</b>	0.468	0.542	0.590



DCU(SER) - AC	<b>0.5210</b>	0.378	0.444	<b>0.515</b>	0.562
DCU(SER) - IVDN	<b>0.7860</b>	0.401	0.468	0.542	<b>0.590</b>
DCU(SER) - AC(ALG. E SISAL)	0.3500	0.378	0.444	0.515	0.562
R95p(LIT) - AC	<b>0.4820</b>	0.378	<b>0.444</b>	0.515	0.562
R95p(LIT) - IVDN	<b>0.6040</b>	0.401	0.468	0.542	<b>0.590</b>
R95p(SER) - AC(ALG. E SISAL)	0.2910	0.378	0.444	0.515	0.562
R95p(SER) - AC	<b>0.5570</b>	0.378	0.444	<b>0.515</b>	0.562
R95p(SER) - IVDN	<b>0.8480</b>	0.401	0.468	0.542	<b>0.590</b>
Rx5day(LIT) - AC	0.2760	0.378	0.444	0.515	0.562
Rx5day(LIT) - IVDN	<b>0.5670</b>	0.401	0.468	<b>0.542</b>	0.590
Rx5day(SER) - AC	<b>0.6620</b>	0.378	0.444	0.515	<b>0.562</b>
Rx5day(SER) - IVDN	<b>0.9010</b>	0.401	0.468	0.542	<b>0.590</b>

## ANEXO D:

**Tabela 8:** Tendências dos índices dependentes da prec. pluvial referentes às 44 estações.

LOCALIDADES	DCS	DCU	SDII	PRCPTOT	R50mm
AGUIAR - PB	0,869	-0,016	0,096	2,897	0,015
ALHANDRA - PB	0,056	0,017	0,058	13,539	0,048
ANTENOR NAVARRO - PB	0,029	-0,008	-0,135	-3,204	-0,043
AREIA - PB	-0,117	-0,035	-0,010	-0,588	0,006
BANANEIRAS - PB	-0,149	-0,052	-0,017	0,473	-0,007
BARRA DE S. ROSA - PB	-0,329	0,000	0,038	4,195	0,009
CABACEIRAS - PB	-0,273	0,004	0,080	4,041	0,007
CATOLÉ DO ROCHA - PB	0,073	0,012	-0,074	0,273	-0,027
CONCEIÇÃO - PB	-0,638	0,017	-0,128	0,839	-0,026
CONDADO - PB	0,028	0,024	-0,024	2,215	0,004
IMACULADA - PB	-0,196	-0,002	-0,036	2,875	0,011
ITABAIANA - PB	0,370	-0,110	0,085	1,730	0,019
MAMANGUAPE - PB	0,148	0,016	-0,042	1,059	-0,026
MONTEIRO - PB	-0,517	-0,008	-0,028	1,243	0,004
NOVA OLINDA - PB	-0,272	-0,002	0,040	4,249	0,018
PEDRA LAVRADA - PB	1,069	-0,018	0,185	4,181	0,018
POMBAL - PB	0,093	0,013	0,033	2,998	0,012
PRINCESA ISABEL - PB	-0,215	0,013	-0,018	1,649	0,018
SANTA LUZIA - PB	-0,530	0,023	0,017	2,757	0,010
SÃO JOÃO DO CARIRI - PB	-1,049	-0,003	-0,137	-0,694	-0,012
SÃO JOÃO DO TIGRE - PB	-0,494	0,040	-0,193	1,854	-0,002
SOLEDADE - PB	-0,519	0,004	-0,022	1,877	0,011
SOUZA - PB	-0,290	0,031	-0,018	2,588	-0,006
TAPEROÁ - PB	-1,022	0,030	-0,159	0,154	-0,015
TEIXEIRA - PB	-1,497	0,036	-0,175	2,917	-0,024
UMBUZEIRO - PB	0,660	-0,056	0,171	1,778	0,008
ASSU - RN	-0,305	0,051	-0,092	1,264	-0,005
CAICÓ - RN	0,130	0,008	0,014	0,158	-0,007
CARAÚBAS - RN	-0,395	0,036	-0,124	1,200	-0,007
CURRAIS NOVOS - RN	-0,957	0,010	-0,013	2,624	0,010
JOÃO CÂMARA - RN	0,313	0,003	0,009	0,685	0,004
JUCURUTU - RN	0,243	0,019	-0,043	-0,659	-0,011
LAGES - RN	-1,945	0,033	-0,163	2,340	0,001
LUIS GOMES - RN	-0,236	0,018	-0,007	0,478	-0,017
MACAU - RN	-1,263	-0,022	-0,205	-4,413	-0,040
MARTINS - RN	-0,610	0,026	-0,050	1,699	-0,006
MOSSORÓ - RN	0,231	0,003	0,016	1,074	0,001
NATAL - RN	-0,247	-0,018	-0,014	1,725	0,032
PARAÚ - RN	-0,568	-0,002	0,051	2,908	0,019
PATU - RN	-0,608	0,040	-0,178	0,085	-0,017
SANTA CRUZ - RN	0,378	-0,004	0,003	-0,693	-0,001
SANTO ANTONIO - RN	-1,220	0,019	-0,104	-2,271	-0,003
SÃO P. DO POTENGI - RN	-0,108	0,023	-0,041	0,273	-0,002
TOUROS - RN	-0,332	0,043	-0,111	2,960	0,011

## ANEXO E:

**Tabela 9:** Tendências dos índices dependentes da prec. pluvial referentes às 44 estações.

LOCALIDADES	R95p	R99p	Rx1day	Rx5day
AGUIAR - PB	0,934	0,152	0,114	0,441
ALHANDRA - PB	5,128	4,153	0,772	0,712
ANTENOR NAVARRO - PB	-3,942	-2,305	-0,475	-0,895
AREIA - PB	0,114	-0,109	-0,028	-0,462
BANANEIRAS - PB	-1,364	-0,339	-0,007	-0,542
BARRA DE S. ROSA - PB	1,803	1,505	0,75	1,043
CABACEIRAS - PB	0,172	-0,54	0,006	0,218
CATOLÉ DO ROCHA - PB	-2,025	-1,092	-0,217	-0,355
CONCEIÇÃO - PB	-0,336	-0,244	-0,057	-0,351
CONDADO - PB	0,201	0,464	0,125	0,244
IMACULADA - PB	1	0,543	0,229	0,029
ITABAIANA - PB	2,411	1,142	0,397	0,113
MAMANGUAPE - PB	-1,912	-1,438	-0,343	-0,446
MONTEIRO - PB	-0,315	-0,062	-0,125	-0,49
NOVA OLINDA - PB	0,934	0,25	0,217	0,503
PEDRA LAVRADA - PB	1,954	0,723	0,517	0,916
POMBAL - PB	1,319	1,699	0,491	0,909
PRINCESA ISABEL - PB	1,158	1,175	0,069	0,641
SANTA LUZIA - PB	1,03	1,194	0,299	0,484
SÃO JOÃO DO CARIRI - PB	-1,386	-1,269	-0,565	-1,026
SÃO JOÃO DO TIGRE - PB	-0,082	0,05	0,02	0,356
SOLEDADE - PB	0,433	0,032	0,116	-0,07
SOUZA - PB	-0,279	-0,19	0,021	0,387
TAPEROÁ - PB	-1,421	-0,265	-0,253	-0,327
TEIXEIRA - PB	-0,167	0,971	0,301	0,331
UMBUZEIRO - PB	0,764	0,24	-0,037	-0,035
ASSU - RN	0,043	0,517	0,268	0,193
CAICÓ - RN	-0,085	0,375	0,158	-0,267
CARAÚBAS - RN	-0,889	-1,046	-0,126	-0,236
CURRAIS NOVOS - RN	0,699	0,692	0,225	0,531
JOÃO CÂMARA - RN	0,746	0,667	0,199	0,08
JUCURUTU - RN	-1,479	-1,281	-0,208	-0,454
LAGES - RN	0,000	-0,203	-0,103	-0,011
LUIS GOMES - RN	-1,880	-1,007	-0,279	-0,449
MACAU - RN	-2,463	-1,385	-1,007	-1,679
MARTINS - RN	-1,106	-0,163	0,064	-0,039
MOSSORÓ - RN	0,335	-0,017	0,02	0,036
NATAL - RN	2,858	1,096	0,529	0,95
PARAÍ - RN	1,523	1,189	0,522	0,436
PATU - RN	-1,409	-0,878	-0,126	-0,575
SANTA CRUZ - RN	-0,751	-0,441	-0,324	-0,392
SANTO ANTONIO - RN	0,108	0,893	0,239	-0,109
SÃO P. DO POTENGI - RN	-0,630	-0,094	0,016	-0,273
TOUROS - RN	1,287	0,473	0,553	0,575