



**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 EXTREMOS CLIMÁTICOS COM
BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

ROSALINE DOS SANTOS

Campina Grande - Paraíba

Junho de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ROSALINE DOS SANTOS

**ESTIMATIVAS E TENDÊNCIAS DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS COM
BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

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

Junho de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S237e Santos, Rosaline dos.

Estimativas e tendências de índices de extremos climáticos com base na precipitação diária no estado de Pernambuco /Rosaline dos Santos. Campina Grande, 2010.

92 f.: il. col.

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

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

Referências.

1. Climatologia. 2. Semiárido – Litoral – Mudanças Climáticas. 3. RC Lindez 1.9.0 – Programa Climatológico. I. Título.

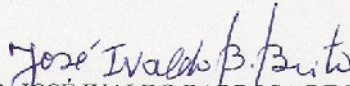
CDU551.58(043)

ROSALINE DOS SANTOS

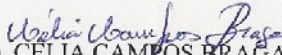
ESTIMATIVAS E TENDÊNCIAS DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS
COM BASE NA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO ESTADO DE PERNAMBUCO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/6/2010

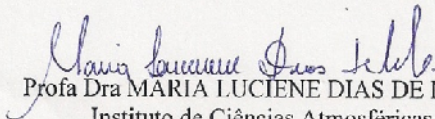
BANCA EXAMINADORA



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



Profa. Dra. MARIA LUCIENE DIAS DE MELO
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

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

“Grande é o Senhor e mui digno de louvor...”

Salmos 48:1a

Aos meus pais e esposo, exemplos de força e dedicação, bases da minha educação, que semearam e cuidaram com atenção e carinho do meu crescimento pessoal e profissional.

Aos mestres que souberam ensinar e guiar a direção correta para que esse crescimento seja possível. Àqueles que nos inspiram e fazem sempre querer continuar e melhorar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua grandeza e por iluminar meus caminhos e me sustentar nos momentos difíceis permitindo que eu concluísse esse trabalho.

Ao Professor Doutor José Ivaldo Barbosa de Brito, meu orientador, pela paciência, dedicação e carinho que teve comigo durante a elaboração desse trabalho.

As Professoras Doutoras Célia Campos Braga e Maria Luciene Dias de Melo que aceitaram participar da Banca Examinadora e contribuíram de forma valorosa para a conclusão desta pesquisa.

À minha família, em especial, minha mãe Maria Cândido do Santos, meu pai Rosemiro dos Santos, e meus irmãos e irmãs, pelo apoio e incentivo dedicados a mim durante o curso.

A todas as minhas amigas, em especial a Priscila Valdênia e Maria José pelo apoio e amizade de sempre.

Ao meu esposo Marcôni da Silva, pela compreensão, incentivo e carinho durante o curso.

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

À Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE através do Banco de Dados do CTRN/UACA/UFCG.

À CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela ajuda financeira durante o curso.

À Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, na pessoa do Prof. Dr. Ênio Pereira de Souza.

À Divanete Rocha da Cruz, secretaria da Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, pela competência e profissionalismo.

À todos aqueles que direta ou indiretamente cooperaram para o fecho desta pesquisa, minha profunda gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	14
1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivo Geral	23
2.2. Objetivos Específicos	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1. Variabilidade e Mudança Climática	25
3.2. Observações Globais e regionais	27
3.3. Impacto das Mudanças Climáticas nos Ecossistemas Brasileiros	29
• Climatologia do Nordeste Brasileiro	29
3.4.1. Climatologia do Estado de Pernambuco.....	31
3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	33
3.6. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas	35
3.7. Índice Inverso de Aridez de Budyko	37
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1 Coleta de Dados.....	40
4.2. Metodologia.....	40
4.2.1. Software RClindex	40
4.2.1.1. Controle de Qualidade dos Dados.....	41

4.2.1.2. Formato de Entrada dos Dados.....	42
4.2.1.3. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI.....	43
4.2.2 Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e Anomalia de TSM no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical	45
4.2.3. Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e o IVDN	47
4.2.4. Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e IIAB	47
 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 49
 5.1. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI.....	 49
5.2. Índices Climáticos e anomalias de TSM nos Oceanos Atlântico Tropical, Pacífico Equatorial e Tropical Global.....	57
5.3. Índices Climáticos e IVDN.....	67
5.4. Índices Climáticos e IIAB.....	75
 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	 81
6.1 Conclusões	81
6.2 Sugestões	82
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 83
 8. ANEXOS.....	 91

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1	Mapa do Brasil destacando o Estado de Pernambuco 32
Figura 3.2	Mapa de susceptibilidade à desertificação para o Brasil..... 39
Figura 5.1	Distribuição espacial das tendências dos dias consecutivos secos (CDD), em dias/ano, para o estado de Pernambuco..... 51
Figura 5.2	Distribuição espacial das tendências da precipitação total anual (PRCPTOT), em mm/ano, para o estado de Pernambuco 52
Figura 5.3	Distribuição espacial das tendências do Número de dias úmidos (R10), em dias/ano, para o estado de Pernambuco..... 53
Figura 5.4	Distribuição espacial das tendências do Número de dias muito úmidos (R20), em dias/ano, para o estado de Pernambuco..... 53
Figura 5.5	Distribuição espacial das tendências da Quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos (Rx5day), em mm/ano, para o estado de Pernambuco..... 54
Figura 5.6	Distribuição espacial das tendências do Índice simples de intensidade diária (SDII), em mm/ano, para o estado de Pernambuco..... 55
Figura 5.7	Variabilidade interanual do índice CDD na localidade de Barreiros, litoral sul de Pernambuco, e anomalia de TSM na área do NIÑO 3, ($r = 0,226$)..... 64

Figura 5.8	Variabilidade interanual do índice PRCPTOT para a localidade de Pedra, sertão de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área NATL, ($r = -0,324$).....	65
Figura 5.9	Variabilidade interanual do índices R95p na localidade de Aliança, zona da mata norte de Pernambuco, e anomalia de TSM na área SATL, ($r = 0,346$).....	65
Figura 5.10	Variabilidade interanual do índice SDII na localidade de Exu, sertão de Pernambuco, e anomalia de TSM na área TROP, ($r = -0,481$).....	66
Figura 5.11	Variabilidade interanual do índice R10mm na localidade de Petrolândia, no sertão de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área do NIÑO 3.4, ($r = -0,455$).....	66
Figura 5.12	Variabilidade interanual do índice R20mm na localidade Bom Jardim, agreste setentrional de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área do NIÑO 1+2, ($r = -0,396$).....	66
Figura 5.13	Variabilidade interanual do índice R20mm na localidade de Belo Jardim, sertão de Pernambuco, e anomalia de TSM na área do NIÑO 4, ($r = -0,364$).....	67
Figura 5.14	Variabilidade interanual do índice CDD e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = -0,584$).....	71
Figura 5.15	Variabilidade interanual do índice CDD e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = -0,191$).....	71
Figura 5.16	Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = 0,678$).....	72
Figura 5.17	Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = 0,603$).....	72
Figura 5.18	Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a	

	localidade de Salgueiro, sertão de Pernambuco,($r = 0,706$).....	73
Figura 5.19	Variabilidade interanual do índice RX1day e do IVDN para a localidade de Araripina, sertão de Pernambuco, ($r = 0,477$).....	73
Figura 5.20	Variabilidade interanual do índice RX1day e do IVDN para a localidade de Jurema, agreste meridional de Pernambuco, ($r = 0,418$).....	74
Figura 5.21	Variabilidade interanual do índice R10mm e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = 0,721$).....	74
Figura 5.22	Variabilidade interanual do índice R10mm e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = 0,579$).....	75
Figura 5.23	Tendência do IIAB (Índice Inverso de Aridez de Budyko), em índice/ano.....	76
Figura 5.24	Gráfico das variabilidades interanuais de IVDN e IIAB para a parte oeste do estado de Pernambuco, ($r = 0,781$).....	79
Figura 5.25	Gráfico das variabilidades interanuais de IVDN e IIAB para a parte leste do estado de Pernambuco, ($r = 0,612$).....	79
Figura 5.26	Gráfico das variabilidades interanuais da anomalia de TSM na área de Niño 1+2 e IIAB da parte oeste de Pernambuco, ($r = - 0,551$).....	80
Figura 5.27	Gráfico das variabilidades interanuais da anomalia de TSM na área de Niño 1+2 e IIAB da parte leste de Pernambuco, ($r = - 0,333$).....	80

LISTA DE TABELAS

	pág.
Tabela 5.1 Tendências estatisticamente significativas para cada índice e número de localidades	50
Tabela 5.2 Correlação entre CDD e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	58
Tabela 5.3 Correlação entre PRCPTOT e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	59
Tabela 5.4 Correlação entre R10mm e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	60
Tabela 5.5 Correlação entre R20mm e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	61
Tabela 5.6 Correlação entre RX1day e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	61
Tabela 5.7 Correlação entre RX5day e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	62
Tabela 5.8 Correlação entre SDII e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	62
Tabela 5.9 Correlação entre R95p e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	63
Tabela 5.10 Correlação entre os índices extremos de chuva e o IVDN.....	68
Tabela 5.11 Correlação entre os índices extremos de chuva e o IVDN (apenas aquelas estatisticamente significativas).....	69
Tabela 5.12 Correlação entre os índices extremos de chuva e o IIAB.....	77

Tabela 5.13	Correlações das anomalias de temperatura com o IIAB de Oeste - PE e Leste - PE.	78
Tabela A.1	Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 26 estações.....	91
Tabela B.1	Correlação entre CWD e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	92
Tabela B.2	Correlação entre R99p e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	92
Tabela B.3	Correlação entre R50mm e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP.....	92
Tabela C.1	Tendências dos índices de extremos climáticos para as localidades de Pernambuco e seus respectivos valores da estatística p, estimado pelo teste F.....	93

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

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

CCI/CLIVAR - Climate Change Indices - CLIMATE VARIABILITY AND PREDICTABILITY - International Research Programme on Climate Variability (Programa Internacional de Pesquisa em Variabilidade Climática)

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DCA - Departamento de Ciências Atmosféricas

PDO – Pacific Decadal Oscillation (Oscilação Decadal do Pacífico)

ENOS - El Niño Oscilação Sul

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

GEE - Gases de efeito estufa

GIMMS - Global Inventory Modeling and Mapping Study (Estudos de Mapeamento e Modelagem de Inventário Global)

GSFC - Goddard Space Flight Center

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

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

IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

MAO – Multidecadal Atlantic Oscillation (Oscilação Multidecadal do Atlântico)

MCG - Modelo de Circulação Geral

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

MMA – Ministério do Meio Ambiente

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

NATL - Northern Atlantic (Atlântico Tropical Norte)

NCAR - National Center for Atmospheric Research (Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica)

NCEP - National Centers for Environmental Prediction (Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de vegetação por diferença normalizada)

NEB - Nordeste do Brasil

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

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONU - Organização das Nações Unidas

PE – Pernambuco

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

ppbv - Partes por bilhão e volume

ppmv - Partes por milhão e volume

Predictability (Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática)

SATL - Southern Atlantic (Atlântico Tropical Sul)

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TROP – Tropical Oceans (Oceanos Tropicais Global)

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

UACA – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SÍMBOLOS

°C - Graus Celsius

CDD – Consecutive dry days (dias consecutivos secos)

CH₄ - Metano

cm - Centímetro

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CWD – Consecutive Wet days (Dias consecutivos úmidos)

H₂O - Vapor D'água

IIAB – Índice Inverso de aridez de Budyko

km - Quilômetro

m - Metro

mm - Micrômetro

mm - Milímetro

mm/ano - Milímetro por ano

N₂ - Nitrogênio

N₂O - Óxido Nitroso

NO_x - Óxido de Nitrogênio

O₂ - Oxigênio

O₃ - Ozônio

PRCP - Precipitação

PRCPTOT - Precipitação total anual nos dias úmidos

R50mm - Número de dias com precipitação acima de 50mm

R95p - Dias muito úmidos

R99p - Dias extremamente úmidos

Rx1day - Quantidade máxima de precipitação em um dia

Rx5day - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias

SDII - Índice simples de intensidade diária

std - Desvio - Padrão

α_1 - Reflectância na região do vermelho

α_2 - Reflectância na região do infravermelho próximo

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é estimar e analisar índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas, decorrentes da precipitação diária, para o Estado de Pernambuco, verificar sua possível dependência das anomalias de temperatura da superfície do mar e examinar suas influências sobre a dinâmica da vegetação, medida pelo Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (IVDN), e variabilidade do clima, estimada pelo Índice Inverso de Aridez de Budyko (IIAB) anual. Para isso utilizou-se dados de precipitação totais diários de 26 localidades, anomalias de TSM para o período de 1964 a 2006, IVDN mensais de 1982 a 2001 e estimativa de temperaturas do ar média, máxima e mínima. As estimativas dos índices de extremos climáticos foram feitas pelo RClimDex e suas dependências com as anomalias de TSM e relação com IVDN e IIAB foram verificadas pelo método dos mínimos quadrados e de forma gráfica. Observou-se um decaimento da precipitação total anual, da intensidade simples diária da precipitação, dos dias consecutivos úmidos, dos dias com chuva superior a 20mm/dia e inferior a 50mm/dia, e aumento dos dias consecutivos secos. Verificou-se que, além do total anual de precipitação, o número de dias consecutivos secos, número de dias no ano com chuvas acima de 10mm/dia e intensidade simples diária de precipitação são dependentes dos padrões de anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Enquanto, que os índices: máxima chuva diária em um ano; total de chuva de 1% dos dias mais chuvosos e total máximo de chuva em 5 dias consecutivos em um ano não apresentaram uma dependência direta dos padrões de anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico. O IVDN é influenciado pela precipitação total e pelo número de dias com chuvas superiores a 10mm/dia, principalmente no Alto Sertão do Estado. O índice inverso de aridez de Budyko é dependente das configurações das anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical Norte, e exerce influência sobre o IVDN.

Palavras-Chave: RClimdex 1.9.0, mudanças climáticas, semiárido, litoral.

ABSTRACT

The objectives of the present work are: to compute and to analyze climate extreme indexes for monitoring and detecting climate change, for the state of Pernambuco; to verify the possible dependence of the extreme indexes of the anomalies of the sea surface temperature and to examine the influences of the extreme indexes on the dynamics of the vegetation, measured by NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), and climate variability, evaluated for IIAB (Aridity Inverse Index of Budyko) annual. It was used precipitation diaries data from 26 meteorological stations, anomalies of SST for the period from 1964 to 2006, monthly NDVI from 1982 to 2001 and the mean, maxima and minima air temperature. The estimates of the climate extreme indexes were made by RClimDex. The calculation of the dependence of the climate extreme indexes from the anomalies of SST and their relationship with NDVI and IIAB were made by the least square method and in a graphic way. It was observed a decline of the annual total precipitation, precipitation simple daily intensity index, consecutive wet days and days with superior rains to 20mm/day and inferior to 50mm/day. And it was verified an increase of the consecutive dry days. It was verified that the annual total of precipitation, number of consecutive dry days, number of days in the year with rains above 10mm/day and precipitation simple daily intensity index are dependent of the SST anomalies patterns on the Equatorial Pacific and Tropical Atlantic Oceans. While, that the indexes: maxima daily rain in one year, total of rain of 1% of the rainiest days and total maximum of rain in 5 consecutive days don't present a direct dependence of the SST anomalies patterns on the Pacific and Atlantic Oceans. NDVI is influenced by the total precipitation and for the number of days with superior rains to 10mm/day, mainly on the Sertão of the State. Aridity inverse index of Budyko is dependent of the SST anomalies configurations on the Equatorial Pacific and Northern Tropical Atlantic Oceans, and it exercises influence on NDVI.

KEY WORDS: RClimdex 1.9.0, climate changes, semi-arid, coast

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o aquecimento global antrópicos ocorrem devido a um excessivo aumento dos gases de efeito estufa (GEE), sobretudo o dióxido de carbono (CO_2), na atmosfera, a qual é constituída por vários gases, entre os quais se destaca o Nitrogênio (N_2) e o Oxigênio (O_2) que compõem cerca de 99% da mesma. Alguns outros gases estão presentes em pequenas quantidades, incluindo os GEE como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os halocarbonos (perfluorcarbonetos, hidrofluorcarbonetos e clorofluorcarbono), hexafluoretos de enxofre (SF_6) e o vapor d'água (H_2O). Esses gases absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam sua passagem, para o espaço, impedindo que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, o que mantém a Terra aquecida. O efeito estufa é um fenômeno natural para manter o planeta aquecido. Nos últimos 100 anos vem acontecendo um progressivo aumento na concentração dos GEE na atmosfera, sendo provocado, principalmente pelas atividades humanas (MOREIRA, 2003). Este progressivo aumento poderá ter graves consequências, devido ao aumento da temperatura em escala global, pondo em risco a vida na Terra. Entre os GEE que estão aumentando de concentração o dióxido de carbono (CO_2) é um contribuinte fundamental para o aquecimento global.

Deve-se levar em consideração que mudanças no clima em escala global, envolvem um mecanismo mais complexo do que a elevação da temperatura, pois o clima não se define unicamente pela variação da temperatura. As mudanças climáticas podem produzir consequências graves, tais como: mudanças no padrão de chuva em determinadas regiões, nos recursos hídricos, na saúde humana, na agricultura, na composição e funções dos ecossistemas, dentre outros. Segundo Santos (2006) o uso incorreto dos ecossistemas e o desflorestamento podem alterar o clima regional e conseqüentemente as mudanças no sistema global. Mudanças climáticas drásticas podem ocorrer, em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semiárido brasileiro, através da união do uso incorreto dos ecossistemas locais, desflorestamento e das ações introduzidas pelos GEE.

As medições das mudanças climáticas locais, geralmente são feitas usando as variáveis meteorológicas, como a temperatura do ar e a precipitação, através de

análise de séries históricas. De acordo com as tendências temporais dessas variáveis para um determinado local, é possível observar se ocorreram mudanças no clima. Para melhor definir essa questão a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um grupo de trabalho o qual foi responsável pela elaboração de índices de detecção de mudanças climáticas, visando melhorar a verificação de ocorrências de mudança no clima em determinados locais, através das tendências temporais dos índices extraídos das temperaturas máxima e mínima e da precipitação. Foram definidos 27 índices, sendo que 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar (ZHANG & YANG, 2004).

O grupo da OMM realizou trabalhos para grandes áreas subcontinentais. Para a América do Sul alguns trabalhos foram desenvolvidos por Haylock et al. (2006), os quais observaram que todos os índices climáticos propostos, referentes à precipitação pluvial, exceto o CDD (Consecutive Dry Days-Dias consecutivos secos), mostraram uma tendência de aumento das condições de umidade. Entretanto, no referido trabalho as Regiões Norte e Nordeste do Brasil estavam representadas por apenas cinco estações, três para o Nordeste e duas para o Norte.

Observando a lacuna espacial deixada pela pesquisa de Haylock et al. (2006), Santos e Brito (2006) elaboraram pesquisas semelhantes para o Rio Grande do Norte e Paraíba, porém utilizaram 44 postos pluviométricos e obtiveram resultados mais detalhados. Em seguida Santos et al. (2007) e Sun et al. (2007) desenvolveram estudos para o Ceará e preencheram lacunas não detectadas por trabalhos de grande escala.

Recentemente, Araújo (2009) empregou a mesma metodologia para analisar índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas para os Estados da Bahia e Sergipe.

Portanto, é oportuno pesquisar o comportamento dos índices de extremos climáticos para o Estado de Pernambuco por estar inserido no semiárido do Nordeste e não dispor de informações espacialmente mais detalhadas, a exemplo dos trabalhos já desenvolvidos para Rio Grande do Norte e Paraíba, Ceará e Bahia e Sergipe.

A precipitação no Estado de Pernambuco, onde predomina o clima semiárido, é caracterizada pela grande variabilidade espaço-temporal. Portanto, ela é uma variável fundamental para análise das condições climáticas regionais. Conseqüentemente, o uso de índices de detecção de mudanças climáticas decorrentes da precipitação é

recomendável em qualquer estudo que tem como meta a verificação de mudanças recentes no clima regional e local de áreas tropicais, principalmente em regiões semiáridas como é o caso de Pernambuco.

Outros pontos importantes a serem levantados são: o total anual de precipitação no Semiárido é dependente das anomalias de temperatura da superfície dos Oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial, os índices de extremos climáticos também são? Estes índices são capazes de afetar a dinâmica interanual da vegetação e do clima? Este trabalho tem como ponto de partida estimar os índices extremos climáticos e responder estas perguntas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é estimar e analisar índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas, decorrentes da precipitação diária, para o Estado de Pernambuco e verificar sua dependência com as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) nas áreas de Niño 1+2¹, Niño 3¹, Niño 3-4¹, Niño 4¹, no Pacífico Equatorial, NATL(Atlântico Tropical Norte¹) e SATL(Atlântico Tropical Sul)¹, no Atlântico Tropical, e TROP (oceanos tropicais globais)¹, e finalmente examinar suas influências sobre a dinâmica da vegetação, medida pelo IVDN (Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas), e variabilidade do clima, estimada pelo IIAB (Índice Inverso de Aridez de Budyko) anual.

2.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos deste trabalho serão:

- estimar séries de dias consecutivos secos e úmidos;
- analisar a tendência anual de precipitação;
- construir uma série histórica com o número de dias anuais em que a precipitação foi superior a 10, 20 e 50 mm;
- analisar a tendência da precipitação máxima mensal em 1 e 5 dias consecutivos;
- examinar possíveis dependência dos índices de extremos climáticos das anomalias de temperatura da superfície dos oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial;
- verificar a relação entre as tendências anuais de longo prazo dos diversos índices oriundos da precipitação com o IVDN e IIAB.
- analisar a relação entre IVDN e IIAB, bem como as relações entre estes índices e as anomalias de TSM de áreas do Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical.

¹ Áreas dos Oceanos Pacífico Equatorial, Atlântico Tropical e Tropical Global definidas pelo NCEP (Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Variabilidade e Mudança Climática

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2001) define mudanças climáticas como sendo as mudanças atribuídas direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera global e que seja adicionada à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo. A mudança do clima ocorre por causa de mudanças internas dentro do sistema climático ou na interação de seus componentes, por causa de mudanças no forçamento externo por razões naturais, ou ainda devido às atividades humanas.

Vale salientar que Tucci (2002) cita que as definições utilizadas na literatura, sobre alterações climáticas, diferenciam-se de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. Tucci (2002) ainda menciona que para os mesmos termos alguns autores adotam definições diferentes, porém a definição mais freqüente é de que mudanças climáticas são aquelas mudanças associadas direta ou indiretamente às atividades humanas que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período.

Enquanto, variabilidade climática foi definida pelo IPCC (2001) como as variações no estado médio, na variância e ocorrência de eventos extremos de um clima nas escalas temporais e espaciais, além de eventos individuais de tempo. As mudanças podem ser devido a processos naturais ou a variações nos forçamentos antropogênicos. Ainda de acordo com Tucci (2002), em geral, o termo variabilidade climática refere-se às variações de clima em função dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações. E o termo mudanças climáticas refere-se às alterações da variabilidade climática devido às atividades humanas.

No presente trabalho os conceitos de variabilidade e mudanças climáticas são aqueles elaborados pelo IPCC, uma vez que os mesmos aludem à opinião de um conjunto de pesquisadores e não o apotegma de investigadores isolados.

Steinke (2004) descreveu que as alterações climáticas são importantes porque podem aumentar a intensidade e a freqüência dos impactos climáticos. É necessário identificar se está ocorrendo alteração na variabilidade natural para se poder afirmar que está havendo mudança climática.

Descrevendo sobre variabilidade climática Conti (2000) afirma que de acordo como 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 prazo. O autor ainda assegura que por mais que se tenha avançado no conhecimento sobre o sistema terra-atmosfera, a complexidade e a dinâmica do sistema climático não são totalmente compreendidas, o que dificulta a separação dos efeitos antrópicos no clima e a sua variabilidade natural.

Abreu (2000) menciona que os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) são a ferramenta utilizada atualmente para a investigação de possíveis mudanças climáticas globais e que tais modelos são importantes para avaliar as implicações de uma mudança na composição química da atmosfera, principalmente o aumento da concentração de CO₂. Esses modelos descrevem a atmosfera de forma global, utilizando equações matemáticas para prescrever as leis físicas que regem a atmosfera.

Expondo sobre as vantagens e desvantagens dos MCGAs, Marengo (2007) afirma que existem fontes de incerteza na modelagem climática para obter projeções de clima futuro em nível global ou regional na atual geração de modelos usados pelo IPCC e relacionou as seguintes incertezas: emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis, atividades vulcânica e solar que afetam o forçamento radiativo do sistema climático; na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO₂ atmosférico nas plantas; do efeito de comportamento das plantas no clima futuro; sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos. O autor ainda ressalta que uma fonte adicional de incerteza é em relação à variabilidade natural do clima.

Segundo Santos (2006), devido ao seu grau de responsabilidade, o IPCC continua a apresentar cenários, confiáveis, de mudanças climáticas, bem como, diagnósticos das condições atuais do clima. Entretanto, Santos (2006) questiona que as previsões de mudanças climáticas, associadas às ações antrópicas, referem-se principalmente à intensificação do efeito estufa, quando GEE, pelas atividades antrópicas, são lançados na atmosfera, reforçando o bloqueio à saída da radiação infravermelha para o espaço, e ainda levanta a seguinte questão: A injeção de GEE na atmosfera, pela ação do homem, é capaz de promover o aquecimento do planeta? Esta

pergunta de certa forma é respondida no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2007) que procura deixar claro que o aquecimento global, está sendo causado pelo aumento de gases de efeito-estufa, produzidos pelo homem, na atmosfera.

Finalmente nesta seção é oportuno relatar as observações feitas por Steinke (2004) em que ele descreve que é necessário identificar se está ocorrendo alteração na variabilidade natural para se poder afirmar que está havendo mudança climática. As observações sobre o clima mencionadas na próxima seção respondem a indagação do referido autor.

3.2. Observações globais e regionais

De acordo com o IPCC (2007) a concentração de dióxido de carbono, de gás metano e de óxido nitroso na atmosfera global tem aumentado marcadamente como resultado de atividades humanas desde 1750. Esse aumento ocorre principalmente devido ao uso de combustível fóssil e a mudança no uso do solo, enquanto o aumento da concentração de gás metano e de óxido nitroso ocorre principalmente devido à agricultura. O dióxido de carbono é o mais importante gás de efeito estufa provocado pelas atividades humanas.

O IPCC publicou no seu Quarto Relatório de Avaliação (IPCC, 2007) que o aumento total da temperatura de 1850-1899 para 2001-2005 foi 0.76 [0.57°C para 0.95°C], quanto à precipitação, o aumento variou de 0,2% a 0,3% na região equatorial, compreendida entre 10⁰ de latitude Norte e 10⁰ de latitude Sul. As causas dessas variações podem ser de ordem natural ou antropogênica, ou uma soma das duas.

Algumas conseqüências prováveis do aquecimento global já podem ser observadas em diferentes partes do planeta como o aumento da intensidade de eventos de extremos climáticos (furacões, tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, secas ou deslizamentos de terra). O aumento do nível do mar por causa do derretimento das calotas polares e o aumento da temperatura média do planeta (MARINI, 2007). Com isso efeitos potencialmente catastróficos podem acontecer, comprometendo seriamente os esforços de desenvolvimento dos países (IPCC, 2007). A alteração da temperatura global tem potencial para provocar impactos nos sistemas ecológicos naturais e sistemas socioeconômicos.

A variabilidade e a mudança do clima global e regional exercem grande influência nas atividades humanas e econômicas. A mudança climática global pode ser intensificada localmente pelas mudanças regionais. Ao nível regional, os impactos das mudanças climáticas podem ser bastante profundos e heterogêneos (BRAGANZA et al, 2004).

Em regiões como a América Latina, em geral, observa-se grande variedade de alterações no clima que podem ser resultantes da variabilidade climática natural e da interferência humana no sistema. Notam-se variações principalmente na distribuição da precipitação e na temperatura média (VINCENT et al., 2005 e HAYLOCK et al., 2006).

No Brasil, a disponibilidade de água depende principalmente do clima. O ciclo anual das chuvas e de vazões varia entre bacias, e de fato a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de El Niño, La Niña, ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical podem gerar anomalias climáticas, que produzem grandes secas, como em 1983, 1993 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no Centro-Oeste e Sudeste, e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO e SILVA DIAS, 2006; MARENGO, 2007; MARENGO et al., 2008 a, b).

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2007), no Brasil os desastres naturais de origem atmosférica tendem a continuar aumentando, com destaque para as tempestades e os eventos de precipitações intensas sobre as regiões sul e sudeste do Brasil e o agravamento da seca no Nordeste e avanço sobre as regiões norte e centro-oeste. Esta tendência de aumento de chuvas intensas na América do Sul também foi detectada por Haylock et al (2006).

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. Esta variabilidade interdecadal observada na precipitação da Amazônia pelo autor possivelmente, está relacionada com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO).

3.3. Impactos das Mudanças Climáticas nos Ecossistemas Brasileiros

De modo geral, novas organizações nos ecossistemas são induzidas por mudanças climáticas globais que ocorreram ao longo da história evolutiva planetária (BRAGANZA et al. 2004).

As projeções do IPCC (2007) indicam que é muito provável que haja um aumento da intensidade da precipitação em diversas regiões, sobretudo na região tropical. Além disso, há projeções de secas generalizadas em regiões continentais durante o verão. Estes fatores podem produzir forte impacto nos ecossistemas locais.

Na Amazônia, a precipitação é sensível às variações sazonal, interanual e decadal da TSM. Variações na precipitação da Amazônia são também conhecidas por estarem relacionadas às TSMs no Atlântico tropical (LIEBMANN et al, 2004 ; MARENGO, 2004). De acordo com Nobre (2001), para a Amazônia, se houver redução de precipitações induzidas pelas mudanças climáticas globais, estas se somam às reduções previstas como resposta ao desmatamento (NOBRE et al., 1991), aumentando sobremaneira a suscetibilidade dos ecossistemas amazônicos ao fogo e causando a redução das espécies menos tolerantes à seca, podendo até induzir uma "savanização" de partes da Amazônia (NOBRE et al., 2007).

Quanto à temperatura, de modo geral, os aumentos previstos para o país causariam aumento da evaporação à superfície, provocando alterações nos balanços hídricos da vegetação natural e de culturas agrícolas (IPCC, 2007).

3.4. Climatologia do Nordeste Brasileiro

A área geográfica de estudo é o Estado de Pernambuco que está inserido na Região Nordeste do Brasil (NEB). Portanto, antes de delinear a climatologia de Pernambuco é salutar descrever a do NEB.

O NEB está situado na zona tropical, entre os meridianos de 35° e 47°W e os paralelos de 1° e 18°S, ocupando uma área de 1,5 milhões de km². Essa é a região mais subdividida politicamente do País, com nove Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Diferentemente da Amazônia, o NEB é uma região onde predomina o clima semiárido caracterizado por uma grande variabilidade interanual da precipitação (KOUSKY, 1980). Historicamente a Região sempre foi afetada por grandes secas ou grandes

cheias. Relatos de secas podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à Região. Estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos (MARENGO E UVO, 1998).

A variabilidade interanual das chuvas associada aos baixos totais médios anuais de precipitação, sobre o NEB, é um dos fatores mais importantes para a ocorrência dos eventos de “secas” sobre a região.

Várias pesquisas têm demonstrado que a variabilidade interanual das chuvas sobre o Nordeste está associada a variações de padrões de anomalias de TSM sobre os Oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a pluviometria sobre o norte do Nordeste (HASTENRATH E HELLER, 1977; HASTENRATH, 1984; MOURA E SHUKLA, 1981).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico Equatorial, e o gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical juntos influenciam uma grande parte da variância interanual do clima sobre a América do Sul. A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico, influenciando desta forma a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul. No entanto, embora a variabilidade interanual das TSM e ventos sobre o Atlântico Tropical seja significativamente menor do que aquela observada sobre o Pacífico Equatorial, essas variáveis têm profunda influência na variabilidade climática sobre a América do Sul, principalmente sobre o NEB (Nobre e Shukla, 1996).

O ENOS, anomalia na TSM do Pacífico Leste, é também um dos fenômenos responsáveis pelas maiores anomalias climáticas ao longo do globo, por deslocar as águas mais quentes de oeste para leste (Tucci, 2003). Assim, o ramo descendente da Célula de Walker desloca-se da costa oeste da América do Sul para costa leste incluindo parte da Amazônia e o Nordeste. A autora ainda afirma que no Atlântico, nos meses do outono austral (março-abril-maio), período que coincide com a estação chuvosa do NEB, o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala predominante sobre a Bacia do Atlântico Tropical é o Padrão do Dipolo do Atlântico, que se constitui no principal sistema meteorológico indutor de chuvas na região do

semi-árido no período chuvoso e cuja característica é a manifestação simultânea das anomalias de TSM.

Nos anos em que o ENOS coincide com a época chuvosa sobre o Nordeste, embora as distribuições de TSM sobre o Pacífico Equatorial tenham um efeito decisivo na pluviometria sobre o norte do Nordeste e leste da Amazônia, os fenômenos atmosféricos e oceânicos sobre a bacia do Atlântico Tropical são estatisticamente mais significativos para a variabilidade interanual do clima nessa região do que os fenômenos sobre o Pacífico (CHU, 1984). As relações entre os padrões anômalos de TSM do Atlântico com o clima do NEB foram inicialmente abordadas nos artigos de Serra (1941) e posteriormente documentadas por Hastenrath e Heller (1977).

O NEB também apresenta uma variabilidade intrasazonal, com pelo menos três regimes de precipitação para três áreas distintas: uma área mais ao norte, onde as precipitações significativas ocorrem no bimestre março-abril; a faixa litorânea leste do Nordeste que se estende desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, com período chuvoso entre maio-julho; uma terceira região que abrange grande parte da Bahia e que tem máximos de precipitação nos meses de novembro e dezembro (MENEZES et al., 2003).

De maneira geral, o NEB 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 de ar relativamente frias nos meses de inverno (ARAÚJO, 2009).

Segundo o IPCC (2007), o semiárido nordestino poderá vir a ter um clima mais quente no futuro, transformando-se em região árida. Isto pode afetar a agricultura de subsistência regional, obrigando as populações a migrarem, gerando ondas de “refugiados do clima”.

3.4.1. Climatologia do Estado de Pernambuco

O Estado de Pernambuco, situado no centro-leste da região Nordeste (Figura 1), tem uma área de 98.281 km². Limita-se, ao Norte, com o Ceará e a Paraíba; a Oeste, com o Piauí; ao Sul, com Bahia e Alagoas; a Leste, com o Oceano Atlântico. Tem 184 municípios, divididos em três grandes regiões geoeconômicas: Litoral/Zona da Mata, Agreste e Sertão/São Francisco (Atlas Escolar Pernambuco, 2003).

No Litoral/Zona da Mata, o clima é tropical úmido, com chuvas de outono ao inverno, com média histórica situada entre 1.500 a 2.000 milímetros anuais e temperatura do ar média anual da ordem de 26°C. Na área de caatinga, no Sertão, que corresponde a dois terços do território estadual, predomina o clima tropical semiárido, com baixa pluviosidade (média de 700 mm anuais) concentrada no verão, e temperatura do ar média anual também em torno de 26°C. A faixa de transição, entre o Litoral/Zona da Mata e o Sertão, denominada de Agreste que também é semiárido, a vegetação dominante é a caatinga e a floresta estacional semidecidual, a pluviosidade oscila entre 650 a 1.000 milímetros anuais. A temperatura média anual é da ordem 24°C, variando entre a mínima de 18°C e a máxima de 32°C, sendo influenciada pela ação dos ventos dominantes, os alísios de Sudeste, SE e Nordeste, NE (GALVÍNCIO, 2005).

O relevo pernambucano é cortado de norte a sul pelo Planalto da Borborema, que exerce uma forte influência, não apenas sobre a topografia estadual, mas também no clima, na hidrografia e na vegetação. O Planalto separa a baixada litorânea, com clima úmido e bacia hidrográfica, em geral sedimentares, com rio correndo para o Oceano Atlântico, da depressão sertaneja de clima seco e semiárido, relevo cristalino e rios correndo para o São Francisco (JATOBÁ & LINS, 1998).



Figura 3.1: Mapa do Brasil destacando o Estado de Pernambuco

3.5 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

A maior parte dos sensores remotos orbitais são sensores ópticos, que operam na faixa do espectro eletromagnético correspondente a 0,38-15 μm , que está subdividida em quatro bandas ou regiões: visível, infravermelho próximo, médio e termal. Devido à sua composição física e química, cada objeto da superfície terrestre apresenta um comportamento espectral particular em relação aos comprimentos de ondas em cada uma destas regiões. A cobertura da vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação solar incidente na região do visível (0,55– 0,70 μm), devido à presença de grande quantidade de pigmentos de clorofila e de carotenos existentes nas folhas (GURGEL, 2000).

Têm sido propostas muitas combinações entre a refletância dos canais da região do vermelho e do infravermelho próximo. Tais combinações têm sido denominadas de índices de vegetação, e compactam as informações de dois canais espectrais em um só. (SANTOS, 2006)

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), que tem sido amplamente utilizado para o monitoramento da vegetação. Este índice permite monitorar, em grande escala, o “vigor” da vegetação, pois 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, o que depende do tipo de vegetação. Para entendimento desse processo é importante saber que a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção na região do vermelho por causa da clorofila e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo, o que ocasiona

isso é a estrutura celular da folha, a distribuição angular delas e o fator de refletância bidirecional, assim como outros fatores externos (SANTOS, 2006).

Gurgel (2000) fez um estudo sobre as conexões entre o IVDN e as variabilidades intra-anual e interanual do clima no Brasil, identificou sete grandes tipos de cobertura vegetal no País e conjecturou que a variabilidade interanual da dinâmica da vegetação era decorrente da dependência dos diferentes biomas à precipitação.

É oportuno mencionar que, além dos estudos relacionados ao clima, o IVDN também tem sido frequentemente utilizado nas seguintes aplicações: nos estudos de desertificação e monitoramento de seca, no monitoramento de cultivo agrícola regional, no monitoramento ambiental terrestre, e nos estudos globais de balanços de água e energia (MANSO et al., 1998).

Recentemente tem-se dado atenção considerável aos índices de vegetação calculados a partir do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Estes dados apresentam resolução espacial de 1,1 x 1,1 km no nadir, no entanto, são utilizados muitas vezes na forma degradada, com diferentes resoluções espaciais. O IVDN calculado a partir dos dados do AVHRR é freqüentemente 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. Portanto, eles fornecem uma fonte bastante efetiva para análise de variações climáticas nas mais diversas escalas de tempo (CPTEC², 2010).

Diversos estudos já foram feitos utilizando os dados de IVDN do Grupo de Estudos de Mapeamento e Modelagem de Inventário Global (GIMMS - Global Inventory Modeling and Mapping Studies) da GSFC/NASA (Goddard Space Flight Center / National Aeronautics & Space Administration), 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 deste índice, os autores (1998), 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. Ainda de acordo com Potter e Brooks (1998) as análises,

² CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

baseadas nas técnicas de regressão multilinear e de Fourier, mostram que as regiões onde o IVDN não teve boa relação com o clima foram as de latitudes altas; as que possuem tipos de vegetação mesclados; as que apresentam distúrbios na vegetação; e as regiões onde os dados de estações climatológicas são esparsos.

Sendo assim, o IVDN se configura em um dos índices mais utilizados até os dias atuais para analisar os diversos tipos de cobertura vegetal, principalmente no monitoramento da vegetação.

De acordo com o CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), (2010) uma grande vantagem do IVDN ou NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é que ele permite não só mapear a vegetação, mas também medir a quantidade e a condição desta vegetação em uma determinada área. Conseqüentemente, esse índice pode ser utilizado no estudo do ciclo de crescimento da vegetação e na análise de eventuais perturbações em seu ciclo sazonal. O referido índice pode ser utilizado em uma vasta gama de estudos como modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, estimativas de parâmetros da vegetação (cobertura vegetal, índice de área foliar); atividades agrícolas (monitoramento do ciclo de crescimento de culturas, modelagem do crescimento e produtividade de plantações); monitoramento de secas; detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, entre outras aplicações.

3.6. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas

Uma das grandes preocupações da comunidade científica, na última década, diz respeito às alterações climáticas e suas conseqüências para a humanidade. É muito importante analisar o quanto essas alterações climáticas afetam a relação homem-meio, pois o clima é um fator determinante na sobrevivência do homem.

É de grande importância a elaboração de índices de tendências de mudanças climáticas de uma determinada região, pois funciona como ferramenta necessária para a compreensão do fenômeno das mudanças climáticas globais. As variações de precipitação pluvial são consideradas, em vários estudos de variabilidade e mudança do clima, como um índice de detecção de mudanças climáticas porque tem um registro observacional razoavelmente longo e de qualidade. Também é usada, em outros

estudos, a temperatura média global da superfície para estabelecer o grau e o significado das mudanças climáticas.

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

Haylock et al. (2006) investigaram tendências de extremos de chuva na América do Sul no período de 1961- 2000 e encontraram tendências para condições mais úmidas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte e centro da Argentina, com tendências positivas nos índices de precipitação R10 , R20, R95p e R99p, sugerindo que a região sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e frequência de dias com chuva intensa.

Santos e Brito (2007), analisando um período de 65 anos de dados diários de precipitação (1935-2000), diagnosticaram um aumento no número de dias com chuvas, na precipitação total anual, no número de dias extremamente úmidos e na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm/dia nos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Eles mostraram que as correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico demonstraram a forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da região estudada. Mostraram também que os índices extremos de chuva, com exceção para os dias consecutivos secos, demonstraram forte correlação com a dinâmica vegetativa do bioma Caatinga, identificando que o IVDN do Sertão é mais dependente dos extremos de precipitação do que o da região do Leste, composto pelo bioma Mata Atlântica.

3.7 Índice inverso de aridez de Budyko

O clima é um dos principais fatores determinantes do tipo de vegetação existente num determinado local. A maioria das variedades de plantas está fortemente associada às zonas climáticas (ABER, 1994).

As primeiras tentativas de classificação das zonas de vegetação foram baseadas em parâmetros climáticos e, atualmente nas abordagens sobre ecossistemas, incorpora-se o clima como um dos principais componentes da sua categorização. Dentre as classificações climáticas usadas no estudo da vegetação, a proposta por Köppen (1923) foi uma das pioneiras. Köppen, numa abordagem bioclimática, levou em conta as condições do clima necessárias ao crescimento de vários grupos de plantas, e relacionou as variações da vegetação com a temperatura e a precipitação de cada clima. A sua classificação distingue na escala global cinco grandes tipos de clima: tropical, seco, mesotérmico, microtérmico e polar (SELLERS, 1994).

Um sistema alternativo, baseado na precipitação efetiva, foi proposto por Thornthwaite (1931), mais tarde substituído por um segundo sistema de classificação baseado na Evapotranspiração Potencial (THORNTHWAITE, 1948). Ao contrário do de Köppen, este não utiliza fronteiras da vegetação para definir áreas climáticas. Thornthwaite relaciona o solo com a atmosfera, fatores que segundo ele determinam o tipo de vegetação numa dada área. Com o advento da criação do balanço hídrico de Thornthwaite e Matter (1955), mais uma vez a classificação climática de Thornthwaite foi modificada, pois índices de aridez e umidade foram incorporados na classificação que passou a ser denominada Thornthwaite e Matter (1957).

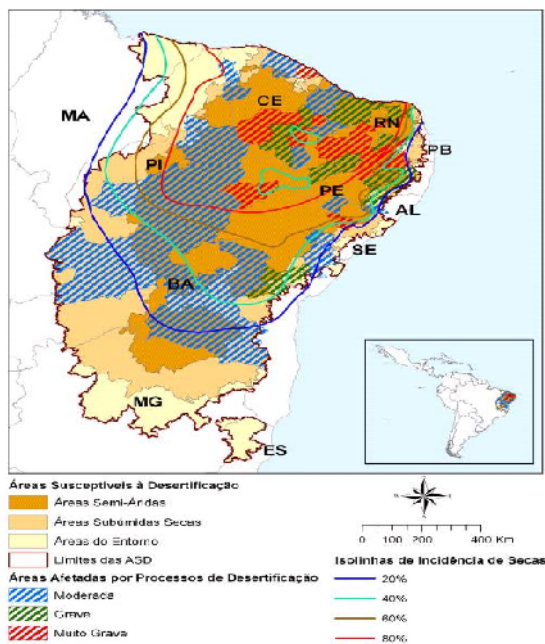
Budyko (1958) desenvolveu uma classificação com uma abordagem ao balanço de energia, através de um índice de aridez, denominado razão de seca, para a vegetação, que pode ser relacionado com as zonas de vegetação e o Balanço hidrológico.

Lettau (1969) propôs modificação no índice de razão de seca de Budyko, em vez de ser a razão entre o balanço de energia a superfície e energia necessária para evaporar a água precipitada, deveria ser a razão entre o saldo de radiação e a energia necessária para evaporar a água precipitada. Este índice passou a ser conhecido como razão de seca de Budyko-Lettau.

O índice de aridez propôs por Budyko também foi modificado por Hare (1977a), que descreveu o índice como sendo a energia disponível para a evaporação dividida pela energia necessária para evaporar a água precipitada, ou seja, seria a evapotranspiração potencial anual dividida pela precipitação anual. Em um segundo trabalho, Hare (1977b) inverteu os termos da equação, e o novo índice, denominado de índice inverso de aridez de Budyko (IIAB), seria a precipitação total anual dividida pela evapotranspiração total anual. Este índice tem sido utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para o estudo do grau de vulnerabilidade a desertificação das terras árida Semiáridas e Sub-úmidas secas (NICHOSON et al., 1998).

Ainda de acordo com Nichoson, (1998) a partir do IIAB foi elaborado um Atlas Mundial da Desertificação, que suscitou muitas discussões polêmicas, pois muitos pesquisadores entenderam como sendo um mapa de áreas em processos de desertificação, porém na realidade se tratavam das áreas susceptíveis à desertificação.

De acordo com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA, 2010), o Ministério do Meio Ambiente e Amazonas Legal (MMA) mapeou as áreas susceptíveis à desertificação no Brasil, as quais estão localizadas na região Nordeste e no Norte de Minas Gerais. A propósito, a Figura 3.2 mostra o mapa de susceptibilidade para o Brasil. Nesse mapa observa-se três categorias de susceptibilidade: Grave, Muito Grave e Moderada. As duas primeiras referem-se respectivamente às áreas áridas e semi-áridas definidas pelo índice de aridez. A terceira é resultado da diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias (Fonte: IICA, 2010).



PROGRAMA DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO – PROÁGUA SEMI-ÁRIDO – ANTIDESERTIFICAÇÃO. OTAMAR, 2006.

Figura 3.2: Mapa de susceptibilidade à desertificação para o Brasil.(FONTE: IICA; 2010).

Ainda conforme o IICA, (2010) o mapa mostra que o processo de desertificação se manifesta de duas maneiras diferentes no Brasil:

- difusa no território, abrangendo diferentes níveis de degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos;
- concentrada em pequenas porções do território, porém com intensa degradação dos recursos da terra.

Muitos estudos indicam que a área afetada de forma Muito Grave é de 10% do semi-árido e as áreas afetadas de forma Grave atingem 8% do território, sendo que as demais áreas sujeitas ao antropismo sofrem degradação Moderada. Além destas áreas com níveis de degradação difusos, podem ser citadas quatro (04) áreas com intensa degradação, os chamados Núcleos de Desertificação. São eles: Gilbués-PI, Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó-PE. Também em Pernambuco, como é possível se observar da Figura 3.2, tem-se uma forte incidência de secas, denotada pela linha de incidência de 80% que atravessa o Estado no sentido oeste-leste.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta de Dados

Utilizou-se dados de precipitação pluvial diários de 26 postos pluviométricos oriundos da antiga rede da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco disponíveis na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Assim como os dados do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) cedidos pelo INPE (1981-2000), disponíveis no DCA da UFCG. Os dados das anomalias de temperatura nas áreas Niño 1+2 (0°S - 10°S, 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S, 150°W - 90°W), no Pacífico Equatorial, NATL(5,5°N - 23,5°N, 15°W - 57,5°W), SATL (Eq. - 20°S, 10°E - 30°W), no Atlântico Tropical, e TROP (10°N - 10°S, 0° - 360°), Oceanos Tropicais Global foram obtidos através do website do NCEP/NOAA (www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/). Na Tabela A.1 em anexo é possível encontrar as localizações das estações meteorológicas cujos dados de precipitação pluvial foram estudados, bem como o período de aquisição destes dados para cada uma delas.

4.2. Metodologia

4.2.1. Software RClimdex

O RClimdex é um programa baseado no Microsoft Excel, que proporciona um pacote computacional 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 recentemente em oficinas CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos (SANTOS, 2006).

O objetivo original foi de colocar o Climdex em um ambiente que não dependesse de um sistema operacional determinado. Assim, foi muito importante utilizar o R, que é uma série integrada de instalações de software para manipulação, cálculo e exibição gráfica de dados (SANTOS, 2006).

O RClimdex foi desenhado para proporcionar uma interface amigável para o cálculo de índices de extremos climáticos. O mesmo calcula todos os 27 (vinte e sete) índices básicos recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Indices” (ETCCDMI) e também calcula índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário.

Um dos objetivos principais na construção de índices de extremos climáticos é de usá-los em estudos de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Isto requer que os índices sejam homogeneizados.

A homogeneização dos dados foi planejada e implementada na versão do RClimdex 1.9.0, desenvolvido e mantido pelos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço de Meteorologia do Canadá. Este software está disponível gratuitamente no site <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.html> e também na UACA/UFCG.

4.2.1.1. 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 atende aos seguintes procedimentos:

- Substitui todos os dados faltosos (codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R;
- Substitui todos os valores não aceitáveis da matriz de dados por -99.9. Estes valores incluem: a) quantidades de precipitação diárias menores que zero e b) temperatura mínima diária maior que à máxima diária.

Adicionalmente, o controle de qualidade de dados também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas. Os valores extremos são valores diários que se encontram fora da área definida pelo usuário. Atualmente esta área se define como n vezes o desvio padrão dos valores diários, ou seja, (média - $n \cdot \text{std}$, média + $n \cdot \text{std}$). Em que std representa o desvio padrão para o dia e n é o valor de entrada do usuário.

O objetivo da pesquisa é identificar possíveis mudanças climáticas no Estado de Pernambuco utilizando os índices dependentes da precipitação pluvial, assim o controle de qualidade referente a dados de temperatura não serão analisados.

4.2.1.2. Formato de Entrada dos Dados

Todos os arquivos de dados que são lidos e escritos estão em formato de "listformatted". A única exceção é o arquivo de dados que é processado na etapa de "Quality Control". Este arquivo de entrada no programa requer:

- Arquivo de texto ASCII;
- Colunas de seguintes seqüências: ano, mês, dia, precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima (NOTA: a unidade de precipitação é milímetro (*mm*) e a de temperatura é Graus Celsius (°C));
- O formato descrito acima deve ser delimitado por espaços, em geral, cada elemento separado por um ou mais espaços e;
- Os dados faltosos são codificados como -99.9 e os registros dos dados dispostos em ordem cronológica (CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, 2004).

Exemplo do formato 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
...
...
...
1950 1 31 0.3 30.2 18.2
1950 2 1 0 -99.9 16.9
...
...
...
1950 12 31 24.5 29.8 18.1
1951 1 1 0 28.7 17.5
...
...
```

...					
2008	12	30	0	27.8	18.3
2008	31	31	0	28.9	18.5

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, no dia 2 a precipitação foi zero, a temperatura máxima 27,5°C e a mínima 17,8°C. Para o dia 3 o dado de precipitação é inexistente. No dia 31 de janeiro de 1950 a precipitação total diária foi de 0,3 mm. Para o cálculo dos índices o RClindex considera o dia 31 de janeiro de 1950 com um dia sem chuva, pois são computados dias com chuvas apenas aqueles em que a precipitação total diária é igual ou superior a 1 mm/dia.

4.2.1.3. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI, referentes à precipitação pluvial

Foram calculados os 11 índices de precipitação diária.

1. **Rx1day** (Quantidade máxima de precipitação em um dia em um determinado ano)

Seja RR_{ij} o total diário de precipitação num dia i de um ano j . Então, o valor máximo de 1 dia para o ano j é:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (1)$$

2. **Rx5day** (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos de um determinado ano)

Seja RR_{kj} a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias consecutivos terminando em k , no ano j . Então, o valor máximo do total de precipitação de 5 dias consecutivos para o ano j é:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (2)$$

3. **SDII** (Índice Simples de Intensidade Diária).

Seja RR_{wj} o total diário de precipitação em um dia úmido ($RR_{wj} \geq 1mm$) de um ano j . Se W representa a soma do número de dias úmidos em j , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{W} \quad (3)$$

4. **R10** (Número de Dias no ano em que o total diário de precipitação foi igual ou superior a 10 mm/dia).

Seja RR_{ij} o montante de precipitação diária acumulada num dia i de um ano j . São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad (4)$$

5. **R20** (Número de Dias no ano em que o total diário de precipitação foi igual ou superior a 20 mm/dia)

Seja RR_{ij} o montante de precipitação diária acumulada num dia i de um ano j . São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad (5)$$

6. **Rnn** (Número de dias no ano com total diário de precipitação acima de nn^* mm/dia).

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i de um ano j . Se nn^* representa qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se o número de dias em que:

$$RR_{ij} \geq nn^*mm \quad (6)$$

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

7. **CDD** (Dias Consecutivos Secos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i de um ano j . Soma-se o maior número de dias consecutivos em que:

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

8. **CWD** (Dias Consecutivos Úmidos)

Seja $RR_{ij} \geq 1mm$ a quantidade diária de precipitação num dia i de um período j . Soma-se o maior número de dias consecutivos em que:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (8)$$

9. **R95p** (Dias muito úmidos)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação num dia úmido ($RR_{wj} \geq 1.0mm$) de um ano j e seja $RR_{wn}95$ o percentil 95th da precipitação nos dias úmidos no período 1963- 2006. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad em \quad que \quad RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad (9)$$

10. **R99p** (Dias Extremamente Úmidos)

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

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad em \quad que \quad RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad (10)$$

11. **PRCPTOT** (Precipitação Total Anual)

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

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (11)$$

Além de estimar os onze índices, o RClimdex ainda informa as suas tendências ao longo de toda série, a estatística p , calculada pelo teste de Fisher, o coeficiente de determinação e o erro padrão na estimativa da tendência.

4.2.2 Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e Anomalia de TSM no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical

Depois de processados, os dados foram guardados em arquivos que irão conter informações anuais sobre cada um dos índices selecionados. Com isto, será possível fazer correlações simples, pois nosso objetivo é a análise regional do clima, entre os índices específicos: CDD, CWD, R95p e Rx5day, que apresentam melhor significância para a região estudada, e as anomalias de TSM nas áreas de Niño 1+2 (0°S - 10°S, 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S, 150°W - 90°W), no Pacífico Equatorial, NATL(5,5°N - 23,5°N, 15°W - 57,5°W), SATL (Eq. - 20°S, 10°E - 30°W), no Atlântico Tropical, e TROP (10°N - 10°S, 0° - 360°), oceanos tropicais globais.

Como para os índices de extremo climático os valores são anuais, foi necessário fazer anomalias anuais das áreas NATL, SATL e TROP. Para tanto, foram feitas as soma das anomalias mensais de setembro do ano j até agosto do ano $j+1$. Enquanto, que as anomalias anuais das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 foram tomadas como sendo as médias das anomalias mensais de setembro do ano j até agosto do ano $j+1$.

Nesta etapa, utilizou-se o método dos mínimos quadrados, que é uma técnica de otimização estatística cuja finalidade é encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre a curva ajustada e os dados, estas diferenças são chamadas resíduos (MEYER, 2000).

Um requisito implícito para que esse método forneça resultados satisfatórios é que os erros em cada medida sejam distribuídos aleatoriamente como função densidade gaussiana, e que os resíduos sejam independentes.

A técnica dos mínimos quadrados é frequentemente utilizada em ajuste de curvas e pode ser escrita da seguinte maneira:

$$s = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (12)$$

Para analisar as significâncias estatísticas de cada uma das correlações foi aplicado o teste-t de Student, onde foram utilizados somente os três maiores níveis de significância, t_{90} que corresponde a uma significância estatística de 10% ($p < 0,1$), t_{95} correspondendo a uma significância estatística de 5% ($p < 0,05$) e t_{99} com uma

correspondente significância estatística de 1% ($p < 0,01$). O teste-t pode ser utilizado para verificar se um dado método analítico está sujeito a erros sistemáticos ou se produz resultados exatos, e pode ser representado pela equação:

$$t = \frac{(\mu - \bar{x})\sqrt{n}}{s} \quad (13)$$

4.2.3. Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e o IVDN

Aqui também foi feita a relação dos índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas utilizando a metodologia empregada na estimativa da relação dos índices do ETCCDMI e as Anomalias de TSM, ou seja, o método dos mínimos quadrados e posteriormente o teste-t de Student.

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:

$$\text{IVDN} = (\alpha_1 - \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2) \quad (14)$$

onde, α_1 e α_2 , representam, respectivamente, os valores da reflectância na região do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético de objetos sobre a superfície terrestre.

A equação usada no cômputo do IVDN é aplicada diretamente sobre cada par de pixel nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor pertencente ao intervalo $[-1, 1]$. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação. Altos valores do índice indicam maior vigor da vegetação.

Os valores de IVDN para as áreas com vegetação dependem da sua arquitetura, densidade e umidade, e variam entre 0,1 e 0,6 e, como mencionado acima, os maiores valores desta variável estão associados a coberturas vegetais mais densas. A presença de nuvens e água, geralmente está associada a valores negativos do 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).

4.2.4. Estimativa da Relação entre os Índices do ETCCDMI e IAB

Mais uma vez utilizou-se o método dos mínimos quadrados e o teste-t de Student para relacionar os índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas e o IAB, seguindo a metodologia empregada nas seções anteriores.

O índice inverso de aridez de Budyko, proposto por Hare (1977b), é escrito da seguinte maneira:

$$IAB = \frac{(\text{Precipitação total anual})}{(\text{Evapotranspiração potencial total anual})} \quad (15)$$

Como mencionado anteriormente, o coeficiente de aridez ou índice de aridez é um indicador numérico do grau de aridez do clima de um dado local. De acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, as áreas susceptíveis à desertificação são aquelas de clima árido, semi-árido e sub-úmido seco (IICA, 2010). Conforme a definição aceita internacionalmente, o IAB, definido como a razão entre a Precipitação total anual e a Evapotranspiração Potencial total anual, estabelece as seguintes classes climáticas (Hare, 1977b):

- Hiper árido: $IA \leq 0,03$
- Árido : $0,03 < IA \leq 0,20$
- Semi-árido: $0,20 < IA \leq 0,50$
- Sub-húmido seco: $0,50 < IA \leq 0,65$
- Sub-húmido húmido: $IA > 0,65$.

Estudos anteriores apontam para uma tendência de desertificação de alguns Estados do Nordeste brasileiro, dentre eles, Pernambuco (IICA, 2010), objeto desta pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

São apresentados os resultados do comportamento da tendência de 11 índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas baseados na precipitação, obtidos de 26 postos pluviométricos espacialmente distribuídos no Estado de Pernambuco, plotados utilizando software de mapeamento pelo método de interpolação krigagem produzindo campos de tendências de cada índice sobre o Estado, que compõe a área geográfica de estudo.

Ressalta-se que nenhum posto pluviométrico apresentou tendência estatisticamente significativa (estatística $p \leq 0,1$) para todos os onze índices. A propósito para um determinado posto verificou-se mais tendências não estatisticamente significativa do que significativa para o período estudado.

A Tabela 5.1 mostra o número de postos com tendências positivas e negativas estatisticamente significativas, ou seja, tendências cujo valor p foi igual ou inferior a 0,1, para cada índice. Observa-se que o número de dias no ano com precipitação igual ou superior a 10 mm (R10 – mm/dia) foi o que apresentou o maior número de postos com tendências estatisticamente significativas, ou seja, dois (02) com tendência positivas e 12 negativas, seguido pela precipitação total anual (PRCPTOT – mm/ano), com 13 postos com tendências negativas. Enquanto, o índice com o menor número de postos com tendência estatisticamente significativa foi a precipitação total de 1% dos dias mais chuvosos em um ano – o percentil 99º da precipitação diária em um ano – (R99p), com quatro (04) postos, todos com tendência negativa, seguido por número de dias no ano com chuva igual ou superior a 50 mm/dia e número de dias consecutivos úmidos no ano, ambos com cinco (05) postos, sendo um com tendência positiva e quatro negativa. É importante mencionar que em outros estudos, como Haylock et al. (2006), para parte central-leste e sul da América do Sul, Santos e Brito (2007), para a Paraíba e Rio Grande do Norte, Santos et al. (2009), para o Ceará e Araújo (2009), para Bahia e Sergipe, encontraram resultados semelhantes, ou seja, para qualquer que seja o

índice, o número de postos ou estações com tendência estatisticamente significativa é em geral inferior a 50% do total de postos ou estações, sendo que os índices R99p, R95p, Rnnmm e Rx1day, em geral, apresentam menos de 20% dos postos com tendência estatisticamente significativa.

Tabela 5.1: Tendências significativas para cada índice e número de localidades

Índices	CDD	CWD	PRCPTOT	R10mm	R20mm	Rnnmm	R95p	R99p	Rx5day	Rx1day	SDII
Positivas	11	1	0	2	1	1	3	0	2	2	3
Negativas	1	4	13	12	8	4	3	4	6	4	6
Total	12	5	13	14	9	5	6	4	8	6	9

A seguir são apresentadas as distribuições espaciais para o Estado de Pernambuco, das tendências dos índices de extremos climáticos. Foram plotadas apenas as localidades com valores de tendências estatisticamente significativos, uma vez que o uso de postos cuja tendência não apresenta confiabilidade estatística pode levar a análise errônea. Dos onze índices estudados são apresentados os mapas da distribuição espacial da tendência de longo prazo de apenas seis índices, ou seja, aqueles nos quais foram verificadas tendências estatisticamente significativas para oito ou mais postos. Isto foi feito porque a análise espacial para um número reduzido de pontos pode produzir interpolações inverídicas e conclusões inexistentes.

A Figura 5.1 mostra a distribuição espacial de CDD. Observa-se que os maiores valores da ordem de 1,4 dia/ano encontram-se no sudoeste do Estado. Ressalta-se que, como mostra da Tabela 5.1, de 12 postos pluviométricos, 11 apresentaram aumento no número de dias consecutivos secos (CDD) e apenas em um posto verificou-se uma diminuição desse índice, que foi o posto de Teixeira – PB. A Figura 5.1 também aponta para um aumento no número de dias consecutivos secos no extremo norte do Estado, próximo à divisa com a Paraíba. Enquanto, para o número de dias consecutivos úmidos (CWD), em apenas um posto observou-se aumento na tendência. Dessa forma, pode-se afirmar que houve um aumento no número de dias consecutivos secos para o período estudado com uma consequente diminuição nos dias consecutivos úmidos. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo (2009) para os Estados da Bahia e Sergipe, onde se constatou aumento na tendência de dias consecutivos secos (dias/ano) na mesorregião do centro-sul baiano e uma

diminuição desses dias no médio São Francisco, extremo oeste e sul baiano. Araújo (2009) também mostrou um decréscimo na tendência dos dias consecutivos úmidos para uma série de dados de 1947 a 1991 naqueles Estados.

Esses resultados não concordam com aqueles encontrados por Haylock et al. (2006), que utilizaram três estações do NEB e todas mostraram aumento nas condições de umidade, nem com os de Santos (2006), que também identificou um aumento nos dias consecutivos úmidos para os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

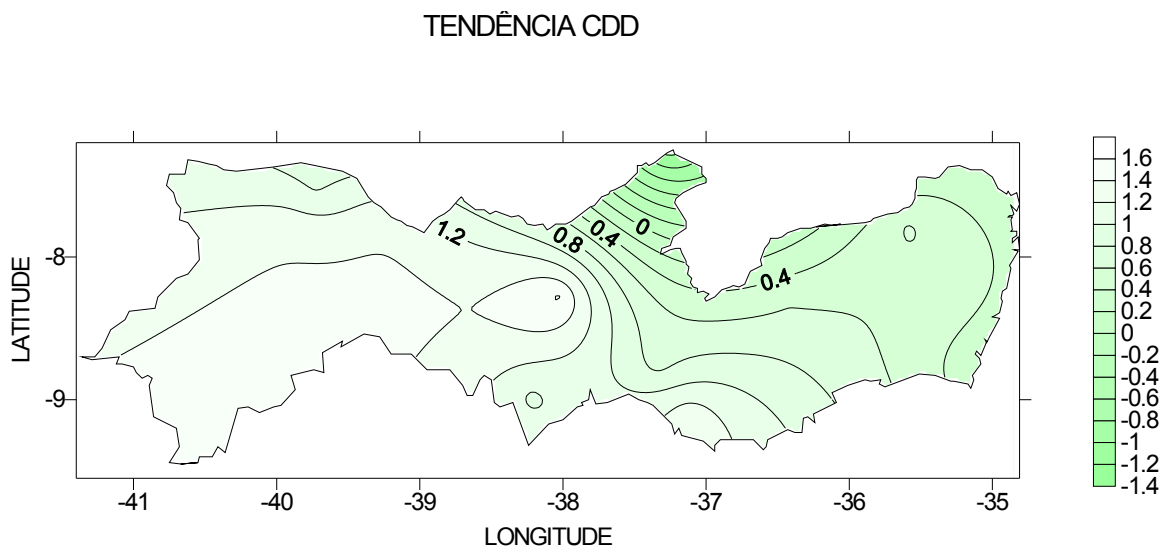


Figura 5.1: Distribuição espacial das tendências dos dias consecutivos secos (CDD), em dias/ano, para o Estado de Pernambuco.

A Figura 5.2 ilustra a distribuição espacial das tendências da precipitação total anual (PRCPTOT), em mm/ano. Observa-se que para todo Estado ocorreu uma diminuição da precipitação. A área mais crítica foi o extremo noroeste, microrregião de Araripina, com decaimento inferior a 15 mm/ano, e a menos foi a parte central, nas bacias do Pajeú e Terra Nova, atingindo valores inferiores a 5 mm/ano. Na realidade, a Tabela 5.1 já sinalizava o declínio generalizado da precipitação anual sobre Pernambuco, a Figura 5.2 apenas destaca as áreas mais e menos afetadas. Assim, pode-se afirmar que o Estado como um todo experimentou um decréscimo no total anual de precipitação durante o período estudado.

Por outro lado, Santos (2006) analisou o comportamento dos mesmos índices para os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, que também incorporam parte do

semi-árido nordestino e obteve um aumento do total anual de precipitação. Da mesma forma, Prudêncio et al. (1999) investigando 32 estações pluviométricas do Estado de Santa Catarina, observaram um aumento significativo na precipitação total anual. Haylock et al. (2006) notaram aumento de PRCPTOT para a América do Sul, e Alexander et al. (2006) para todo o globo terrestre.

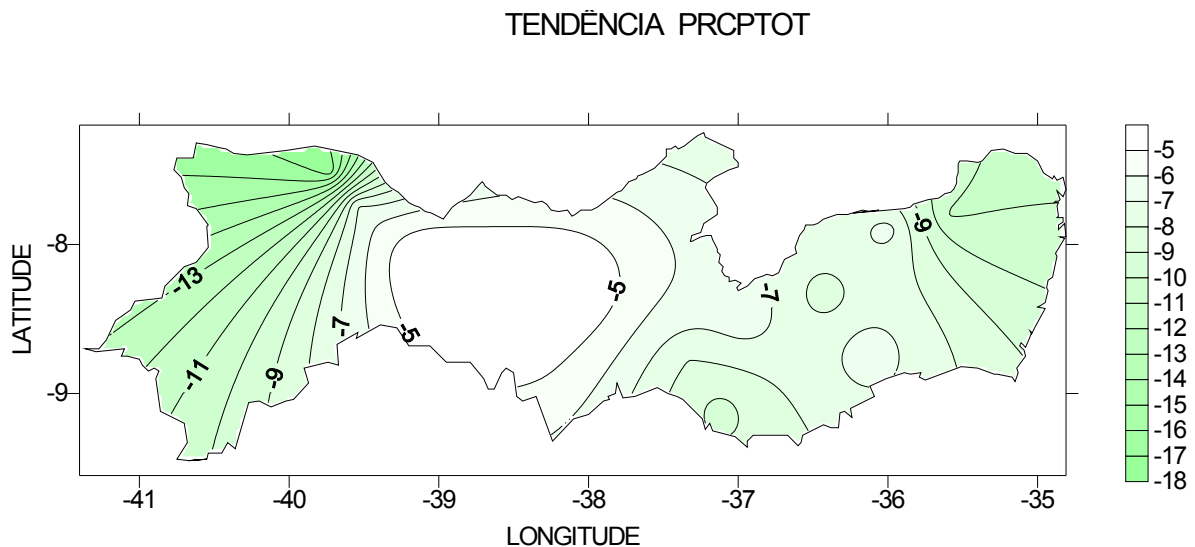


Figura 5.2: Distribuição espacial das tendências da Precipitação total anual (**PRCPTOT**), em mm/ano, para o Estado de Pernambuco.

A configuração espacial do número de dias no ano com chuva moderada a forte é mostrada (R10mm) na Figura 5.3. Para esse índice, observa-se que os maiores valores da ordem de 0,4 dias/ano encontram-se no nordeste do Estado e os menores (-0,45 dias/ano) no oeste e extremo sudeste. Para chuvas diárias superiores a 20 mm (R20mm), a configuração é semelhante com tendências (dias/ano) positivas no leste do Estado e negativas nas demais áreas (Figura 5.4). A configuração espacial para Rnnmm não foi analisada porque para este índice têm-se apenas cinco localidades com tendência estatisticamente significativa e a análise de padrões espaciais com número muito reduzido de pontos pode levar a conclusões erradas. Entretanto, da Tabela 5.1 observa-se que, em termo de número de postos com tendência estatisticamente significativa, Rnnmm é um subconjunto de R20mm, pois R20mm apresenta oito postos com tendências negativas e um com tendência positiva, enquanto que para Rnnmm têm-se um posto com tendência positiva e 4 com tendências negativas. Ressalta-se que resultados semelhantes foram encontrados por Araújo (2009) para a região sul da Bahia.

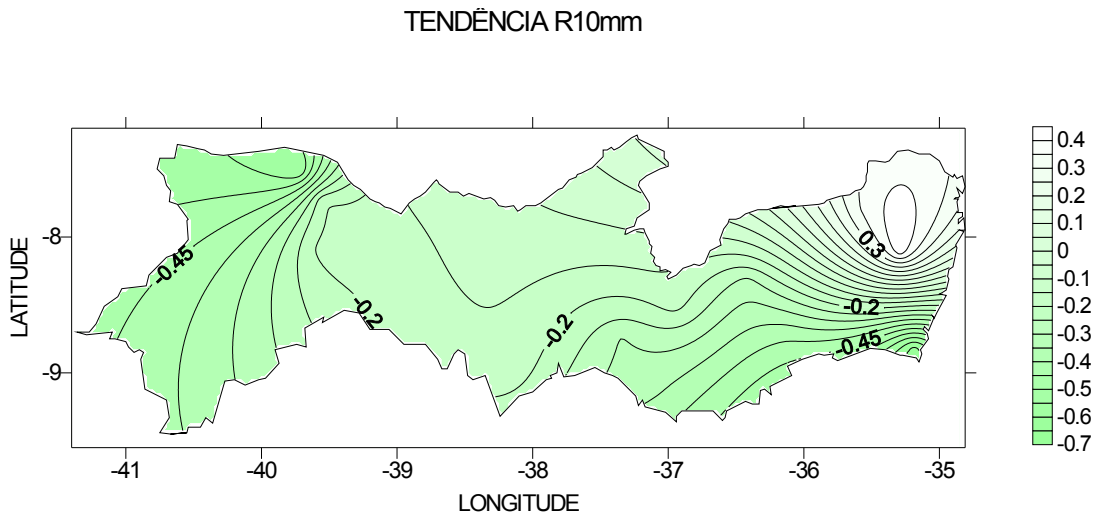


Figura 5.3: Distribuição espacial das tendências do Número de dias úmidos (**R10**), em dias/ano, para o Estado de Pernambuco.

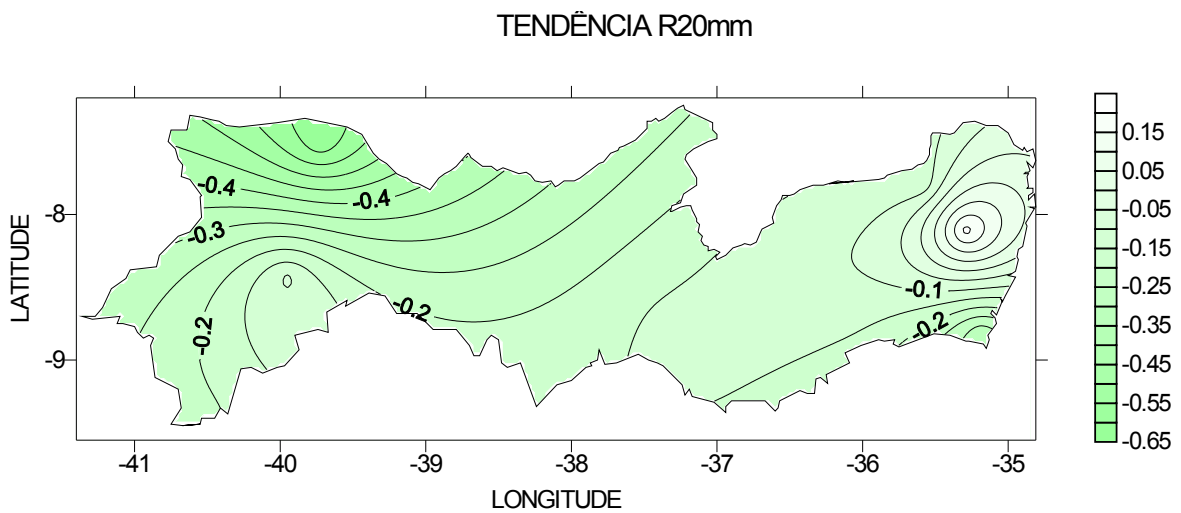


Figura 5.4: Distribuição espacial das tendências do Número de dias muito úmidos (**R20**), em dias/ano, para o Estado de Pernambuco.

A distribuição espacial do índice que exprime o maior total anual de precipitação em cinco dias consecutivos (Rx5day) é mostrada na Figura 5.5. Verifica-se tendências positivas no leste e extremo noroeste do Estado e negativas na parte central, com os maiores decaimentos, superiores a 1 mm/ano, no sudoeste e na parte oeste do Agreste Setentrional, na divisa com o cariri paraibano (Figura 5.5). Este resultado difere das análises do modelo eta-hadcm3 feita pelo CPTEC-PNUD que mostra tendência de aumento da ordem de 1,5 mm/ano, porém quando o CPTEC-PNUD utilizaram o modelo

eta-echam obtiveram tendência negativa de RX5day sobre quase todo Estado, com as maiores diminuições no litoral, ou seja, resultados contraditórios aos obtidos neste estudo. É importante ressaltar que o CPTEC-PNUD utilizaram dados de reanálises do período de 1961 a 1990, e no presente trabalho têm-se dados observados de 1964 a 2006. Vale lembrar, também, que a década de 1991-2000 foi a mais seca dos últimos quarenta anos. E os dados de 1991-2000 não estavam presentes na análise CPTEC-PNUD. Portanto, as diferenças nos resultados podem estar relacionadas com os diferentes períodos analisados.

Com respeito ao índice Rx1day, quantidade máxima de precipitação em um único dia do ano, não foi analisada a configuração espacial porque em apenas seis postos foram verificadas tendências estatisticamente significativas, que é um número relativamente pequeno de postos e uma análise espacial com quantidade tão reduzida de postos pode levar a conclusões errôneas. Entretanto, vale ressaltar que Rx1day seja possivelmente um subconjunto de Rx5day.

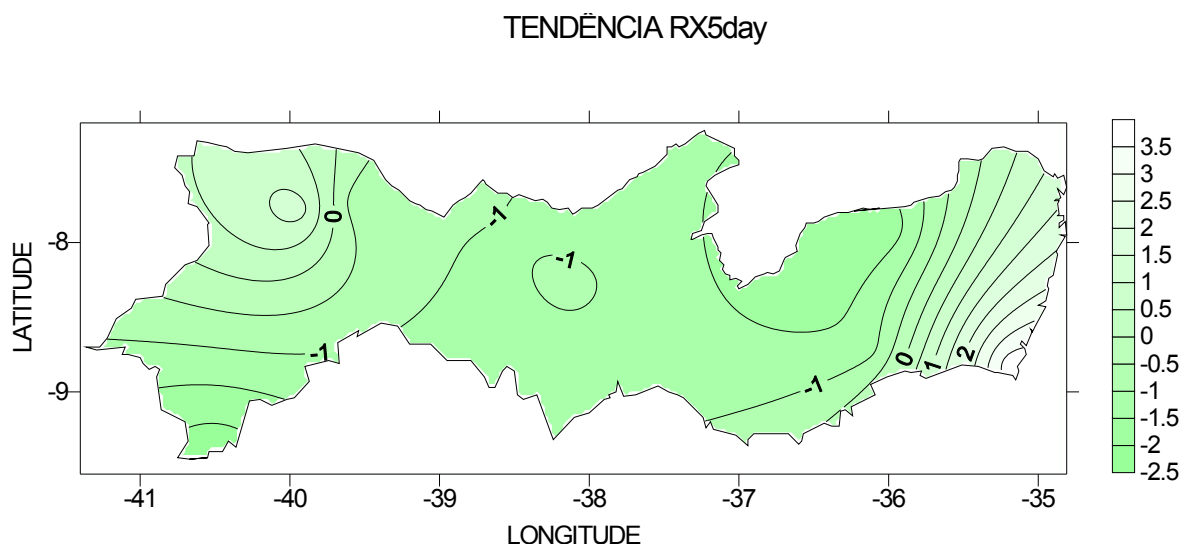


Figura 5.5: Distribuição espacial das tendências da Quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos (**Rx5day**), em mm/ano, para o Estado de Pernambuco.

A distribuição espacial da razão entre a quantidade de precipitação total anual e o número de dias chuvosos no ano, ou seja, o índice simples de intensidade diária de precipitação (SDII), encontra-se na Figura 5.6. Esse índice apresentou um montante de nove (09) postos com tendências ((mm/dia)/ano) estatisticamente significativas.

Observa-se tendências negativas na parte central do Estado, mas precisamente sobre as bacias do Moxotó e Ipanema. No oeste de Pernambuco e na Zona da Mata, Agreste Setentrional e Litoral ocorreram tendências positivas de SDII. Vale ressaltar que a simulação do CPTEC-PNUD com o eta-hadcm3 apresentou tendências positivas sobre todo o Nordeste, inclusive Pernambuco, enquanto que na simulação com o eta-echam praticamente não se observou nenhuma tendência, pois os valores foram muito próximos de zero.

É oportuno observar que para o índice PRCPTOT (precipitação total anual) a tendência foi de decaimento das chuvas em todo Estado, enquanto para o SDII, para uma grande área, observou-se tendência positiva, principalmente no leste e oeste. Portanto, para o período estudado, nestas áreas ocorreu um número menor de dias com chuva, porém de maior intensidade.

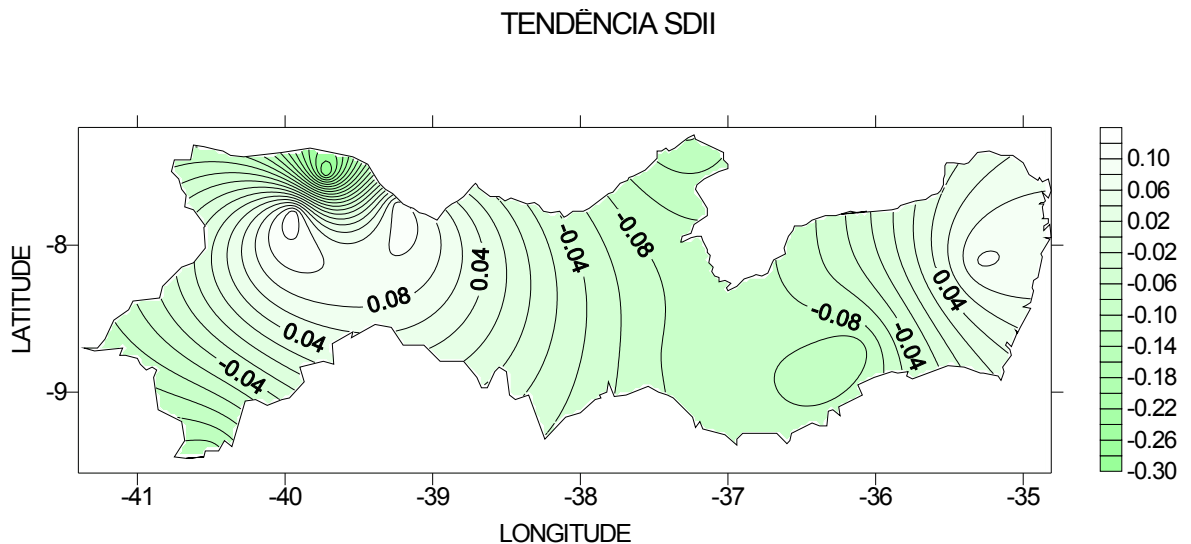


Figura 5.6: Distribuição espacial das tendências do Índice simples de intensidade diária (SDII), em mm/ano, para o Estado de Pernambuco

Ressalta-se que o CPTEC-PNUD (CPTEC, 2010) elaboram diagnósticos de índice extremos de detecção e monitoramento de mudança climáticas usando modelos numéricos para toda América do Sul. Entretanto, os resultados utilizando o modelo eta-HadCM3 foi quase o oposto dos resultados para o eta-Echam4, por exemplo, para o índice Rx5day foi obtido tendência de aumento para todo Pernambuco no eta-HadCM3, enquanto, com o eta-Echam4 obteve-se tendência de decaimento. Como o presente

trabalho está usando dados observados e não resultados de modelos pode ser uma ferramenta útil na comparação para os diferentes resultados obtidos por modelagem.

Por outro lado, é importante mencionar que tendências negativas de precipitação foram detectadas anteriormente para o Estado de Pernambuco por De Paula e Brito (2008), diferentemente de Santos et al. (2009), para o Ceará, e de Santos e Brito (2007), para a Paraíba e Rio Grande do Norte, que mostraram aumento na tendência de precipitação anual.

Em seu estudo sobre tendências nos totais e extremos de chuva para a América do Sul, Haylock et al. (2006) observaram que existiam grandes regiões com coerência espacial nos sinais das tendências, como também no acordo geral entre os índices. Com exceção do CDD, todos os índices climáticos propostos naquele trabalho, referentes à precipitação pluvial, mostraram uma tendência de aumento das condições de umidade. A precipitação total anual (PRCPTOT) mostrou características gerais que também foram detectadas nos demais índices, por exemplo: aumento da tendência de umidade no 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.

Outros aspectos, levantados por Prudêncio et al. (1999), são de que muitas destas alterações nos regimes climáticos têm caráter regional, e não estão relacionadas diretamente a uma mudança global do clima. Esses autores chamam a atenção para o fato de 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, conseqüentemente, da atmosfera. Desta forma, analisa-se de que maneira as tendências observadas para Pernambuco não necessariamente tenham ocorrido devido às mudanças globais do clima, mas devido a um somatório de fatores, tais como desmatamento, degradação do meio ambiente, mudanças globais do clima, entre outros, pois algumas partes do Estado 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 ou regionais, porém não se podem desprezar aquelas de origens globais. É interessante destacar que na maior parte do Estado ocorreu uma tendência de diminuição da precipitação.

Outros fatores podem modificar o clima de uma região, dentre eles encontram-se o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas que, em âmbito local podem ter uma importância mais relevante do que os GEE. O Estado de Pernambuco tem sofrido com o desmatamento da Mata Atlântica, principalmente no litoral norte do Estado. Esse é um ecossistema importante e vulnerável, com o menor percentual de conservação dentre todas as áreas abrangentes. Outro ecossistema de grande importância ambiental é o Vale do Siriji, que também apresenta um nível avançado de degradação, devido principalmente as monoculturas da cana-de-açúcar e da banana, a usina de açúcar, os resíduos sólidos oriundos dos centros urbanos, a urbanização, dentre outros.

Ao longo dos anos, as matas ciliares de Pernambuco deram espaço para as lavouras e os rios passaram a receber dejetos de cana. Como resultado, hoje o Estado conserva somente 2,7% de Mata Atlântica. Atualmente, a região sofre com ações antrópicas devastadoras, entre elas, o corte da vegetação para manutenção da indústria gesseira, de cerâmicas e padarias. Logo, poderão ocorrer mudanças climáticas locais mais drásticas com a introdução das ações produzidas pelos GEE com o desflorestamento e mau uso destes ecossistemas locais.

5.2 Índices climáticos e Anomalias de TSM nos Oceanos Atlântico Tropical, Pacífico Equatorial e Tropical Global

De acordo com Nobre e Shukla (1996), há muitas evidências observacionais, teóricas e baseadas em resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, que as condições oceânicas e atmosféricas sobre a Bacia do Atlântico Tropical influenciam fortemente na variabilidade interanual do clima sobre as Américas e África. Ainda de acordo com Nobre e Shukla (1996), na América do Sul, as regiões mais significativamente influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Tropical são o leste da Amazônia, o Nordeste brasileiro e o extremo Sul do Brasil e Uruguai. Santos (2006) afirma que a variabilidade do clima do NEB está associada a padrões de variação em escala planetária, que estão associados ao comportamento dos oceanos Atlântico e Pacífico.

Nesta seção é verificada a dependência dos índices de extremos climáticos, analisados na seção anterior, com os padrões de anomalias da TSM dos oceanos

Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Para tal, utilizou-se de uma correlação simples entre os índices de extremos climáticos, principalmente, aqueles que apresentaram os maiores números de localidades com tendências, de longo prazo, estatisticamente significativas (Tabela 5.1), dentro da área geográfica estudada (CDD, PRCPTOT, R10mm, R20mm, Rx1day, Rx5day e SDII), e as anomalias de TSM nas regiões: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, no Pacífico Equatorial, NATL, SATL, no Atlântico Tropical, e TROP, Oceanos Tropicais Global.

Conforme a Tabela 5.2, abaixo, para o índice CDD observou-se correlações estatisticamente significativas de 95% nas áreas do Niño 1+2, do Niño 3 e do Niño 4, e de 99% na do Niño 3.4. Entretanto, essas correlações ocorreram em apenas uma localidade para as áreas do Niño 1+2 e Niño 3.4, e em duas nas do Niño 3 e Niño 4. Para demais localidades as correlações não foram estatisticamente significativas. Para as anomalias de TSM das áreas SATL, NATL e TROP observou-se correlações estatisticamente significativas com o índice CDD em apenas, uma, duas e três localidades, respectivamente. Portanto, a dependência do índice CDD dos padrões de anomalias de TSM do Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical é relativamente pequena, porém, não deve ser descartada, uma vez que estas configurações de anomalias de TSM pode produzir um maior número de dias consecutivos seco, tanto no leste como no oeste de Pernambuco.

TABELA 5.2: Correlação entre **CDD** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
BARREIROS	0,150	0,226**	0,247***	0,305**	0,202	0,563***	0,409***
CEDRO	0,347**	0,297*	0,207	0,125	-0,009	0,217	0,286
PETROLÂNDIA	0,087	0,222	0,244	0,365**	0,093	0,501***	0,471***
TUPANATINGA	0,154	0,104	0,079	0,159	0,146	0,227	0,341**
TEIXEIRA	0,065	0,009	0,026	0,006	-0,310*	0,008	-0,174

Com relação à precipitação total anual, cujas correlações com as anomalias de TSM se encontram na Tabela 5.3, observa-se uma dependência mais forte deste índice dos padrões de TSM que do CDD. Entretanto, essa vinculação já é bastante conhecida e divulgada, pois foi abordada por vários pesquisadores, entre eles Nobre e Shukla (1996), Moura e Shukla (1981) e Hastenrath e Heller (1977). Portanto, não é necessário fazer mais uma análise relatando este atrelamento.

TABELA 5.3 : Correlação entre **PRCPTOT** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4	SATL	NATL	TROP
ÁGUAS BELAS	-0,319	-0,320	-0,288	-0,308	0,236	-0,449	-0,449**
BELO JARDIM	-0,356**	-0,307*	-0,216	-0,224	0,0405	-0,157	-385**
BOM JARDIM	-0,332**	-0,189	-0,033	-0,004	-0,088	-0,270*	-0,307**
EXU	-0,335**	-0,357**	-0,301*	-0,382**	-0,057	-0,229	-0,522***
JUREMA	-0,149	-0,075	0,027	0,019	-0,358*	-0,151	-0,225
MOREILÂNDIA	-0,350**	-0,350**	-0,271	-0,203	0,0576	-0,049	-0,355**
PEDRA	-0,338**	-0,349**	-0,270	-0,240	-0,030	-0,324**	-0,433***
PETROLÂNDIA	-0,246	-0,352**	-0,331**	-0,324**	-0,037	-0,321*	-0,481***
TUPANATINGA	-0,410***	-0,359**	-0,227	-0,119	-0,025	-0,244	-0,365**
VERTENTES	-0,142	-0,126	-0,116	-0,168	-0,043	-0,153	-0,324*

Por sua vez, os índices R10mm e R20 mm (Tabelas 5.4 e 5.5, respectivamente) também demonstraram uma forte dependência das configurações de anomalias de TSM no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Para R10mm a dependência foi um pouco mais forte que a precipitação total anual, no entanto para R20mm foi um pouco inferior comparada com a dependência da precipitação total anual e R10mm.

TABELA 5.4: Correlação entre **R10mm** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
ÁGUAS BELAS	-0,309	-0,282	-0,229	-0,254	0,196	-0,351*	-0,423**
BELO JARDIM	-0,326*	-0,356**	-0,302*	-0,315*	-0,009	-0,219	-0,436***
BARREIROS	-0,275	-0,218	-0,115	-0,133	-0,344**	-0,457***	-0,472***
EXU	-0,331**	-0,388**	-0,347**	-0,435***	-0,070	-0,294*	-0,590***
JUREMA	-0,153	-0,126	-0,067	-0,117	-0,381**	-0,255	-0,347**
MOREILÂNDIA	-0,324*	-0,370**	-0,299*	-0,250	-0,016	-0,177	-0,438***
PEDRA	-0,344**	-0,399**	-0,249	-0,204	-0,017	-0,345**	-0,410***
PARNAMIRIM	-0,360**	-0,343**	-0,251	-0,219	0,074	-0,182	-0,326**
PETROLÂNDIA	-0,322**	-0,473***	-0,455***	-0,444***	-0,156	-0,335**	-0,620***
TUPANATINGA	-0,418***	-0,384**	-0,265	-0,194	-0,074	-0,364**	-0,436***

Os índices Rx1day e Rx5day não apresentaram correlações estatisticamente significativas com as anomalias de TSM das áreas do Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, conforme mostra a Tabelas 5.6 e 5.7, em anexo. Para ambos os índices observou-se correlações significativas apenas em uma localidade na área do Niño 1+2 e duas localidades para as áreas do Atlântico Tropical e Oceanos Tropicais. Portanto, a dependência destes índices das TSM do Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical é apenas marginal, ou seja, a possibilidade de ocorrer um forte chuva em um único dia no ano não tem muita dependência dos padrões de anomalias de TSM.

TABELA 5.5: Correlação entre **R20mm** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
BELO JARDIM	-0,364**	-0,396**	-0,366**	-0,396**	0,096	-0,189	-0,432***
BOM JARDIM	-0,396***	-0,343**	-0,242	-0,194	0,057	-0,289*	-0,351**
BARREIROS	-0,229	-0,225	-0,145	-0,137	-0,112	-0,420**	-0,366**
EXU	-0,251	-0,235	-0,180	-0,292*	-0,227	-0,228	-0,533***
JUREMA	-0,211	-0,162	-0,118	-0,131	-0,298*	-0,112	-0,305*
TUPANATINGA	-0,256	-0,275*	-0,205	-0,142	0,017	-0,148	-0,268
URIMAMÃ	-0,412**	-0,446***	-0,378**	-0,313*	0,193	-0,239	-0,389**

Também, as correlações entre as anomalias de TSM no Pacífico Equatorial e SDII foram muito frágeis, apenas duas localidades apresentaram valores estatisticamente significativos a 90% para a área do Niño 4, nas demais áreas não ocorreu nenhuma correlação estatisticamente significativa. Por outro lado, para as áreas do Atlântico Tropical e Tropical Global observou-se correlações estatisticamente significativas em várias localidades (Tabela 5.8). Portanto, a intensidade das precipitações tem dependência moderada a forte das condições sobre o Oceano Atlântico Tropical e Tropical Global, e relativamente frágil das do Pacífico Equatorial.

TABELA 5.6: Correlação entre **RX1day** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
ARARIPINA	-0,110	-0,046	0,028	0,161	0,189	0,355*	0,199
BOM JARDIM	-0,276*	-0,158	-0,058	-0,050	-0,074	0,049	-0,207
VERTENTES	-0,234	-0,145	-0,106	-0,174	-0,095	-0,116	-0,340**

TABELA 5.7: Correlação entre **RX5day** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
BARREIROS	-0,087	-0,151	-0,177	-0,103	0,418**	0,172	0,136
BODOCÓ	-0,300*	-0,269	-0,204	0,0199	0,256	0,121	0,051
VERTENTES	-0,179	-0,094	-0,068	-0,125	-0,223	-0,090	-0,349**

Para o índice R95p observou-se correlações significativas apenas nas áreas do Atlântico Tropical, mesmo assim em apenas três localidades (Tabela 5.9), e para as anomalias de TSM das áreas do Pacífico Equatorial não foi observado correlações significativa entre o R95p e os campos de anomalias de TSM.

TABELA 5.8: Correlação entre **SDII** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
BELO JARDIM	-0,229	-0,276	-0,260	-0,301*	0,037	-0,065	-0,329*
BODOCÓ	-0,191	-0,083	-0,038	0,141	0,238	0,349**	0,230
CEDRO	0,078**	0,040*	0,027	0,097	-0,103	0,584***	0,209
EXU	-0,167	-0,105	-0,081	-0,212	-0,495***	-0,167	-0,481***
JUREMA	-0,071	-0,058	-0,082	-0,169	-0,338**	-0,210	-0,300*
TEIXEIRA	-0,144	-0,198	-0,231	-0,312*	0,008	-0,300*	-0,359**
TUPANATINGA	-0,242	-0,265	-0,213	-0,158	-0,263	-0,176	-0,360**

Finalmente, para os índices CWD, Rnnmm e R99p também se verificou dependência apenas marginal entre estes índices e as configurações de TSM. As Tabelas mostrando as respectivas correlações encontram-se no Anexo B.

Os gráficos da variabilidade interanual dos índices: CDD, PRCPTOT, R95p, SDII, R10mm, e R20mm de algumas localidades, e as anomalias de TSM das áreas dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Global, que apresentaram as maiores correlações com significâncias estatísticas são mostrados nas Figuras 5.7 a 5.13.

TABELA 5.9: Correlação entre **R95p** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
ALIANÇA	-0,081	-0,001	0,0719	0,169	0,346**	0,062	0,220
BARREIROS	-0,174	-0,231	-0,218	-0,121	0,318*	-0,127	0,009
VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	-0,154	-0,212	-0,209	-0,102	0,173	-0,354**	-0,063

A Figura 5.7 mostra a variabilidade interanual do índice CDD, no litoral sul pernambucano, e da anomalia de TSM na área do Niño 3 e de acordo com a mesma, pode-se observar uma correlação positiva ($r = 0,226$), identificando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Oceano Pacífico nessa região contribui para o aumento do número de dias consecutivos secos, pois o aquecimento das água superficiais e sub-superficiais do Pacífico Equatorial contribui para a inibição da formação de chuvas sobre o NEB, incluindo Pernambuco. Da mesma forma, a Figura 5.8 mostra a variabilidade interanual do índice PRCPTOT, no sertão, e anomalia de TSM na área NATL, com correlação negativa ($r = -0,324$), diagnosticando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Norte Tropical favorece o deslocamento da ZCIT mais para o norte e, com isso, contribui para a diminuição de chuvas sobre o NEB, diminuindo o valor de PRCPTOT. As Figuras 5.9 e 5.10 mostram as variabilidades interanuais dos índices R95p e SDII e as anomalias de TSM nas áreas SATL e TROP, respectivamente, sendo que as correlações entre 95p e SATL ($r = 0,346$) foi positiva, e entre SDII e TROP ($r = -0,481$) foi negativa, mostrando que, o aumento nas anomalias de TSM do Oceano Atlântico Sul aumenta a formação de chuvas muito intensa sobre a Zona da Mata Norte, enquanto que o aumento nas anomalias de TSM sobre todos Oceanos Tropicais inibe a ocorrência de um maior número de dias no ano com precipitações intensas no sertão pernambucano.

A variabilidade interanual do índice R10mm no sertão de Pernambuco e a anomalia de TSM na área do Niño 3.4 é mostrada na Figura 5.11, com correlação negativa ($r = -0,455$). Esse resultado evidencia que um aumento nessa anomalia diminui a formação de chuva de 10 mm ou mais para a região.

As Figuras 5.12 e 5.13 apresentam as variabilidades interanuais do índice R20mm, no agreste e sertão, e as anomalias de TSM nas áreas do Niño 1+2 e do Niño 4, as correlações foram negativas ($r = - 0,396$) e ($r = - 0,364$), respectivamente, identificando novamente que o aumento na anomalia positiva da TSM do Pacífico inibe a produção de chuvas intensas diárias, superior a 20 mm/dia, em Pernambuco.

De um modo geral, os índices dias consecutivos secos, número de dias no ano com chuvas acima de 10mm/dia e 20mm/dia, e intensidade simples de precipitação são dependentes dos padrões de anomalias de TSM nos Oceanos Tropicais e Equatoriais. Enquanto que, os índices de chuva máxima em um único dia no ano, curto período do ano com chuvas muito forte e extremamente forte tem pouca dependência das configurações de anomalias de TSM.

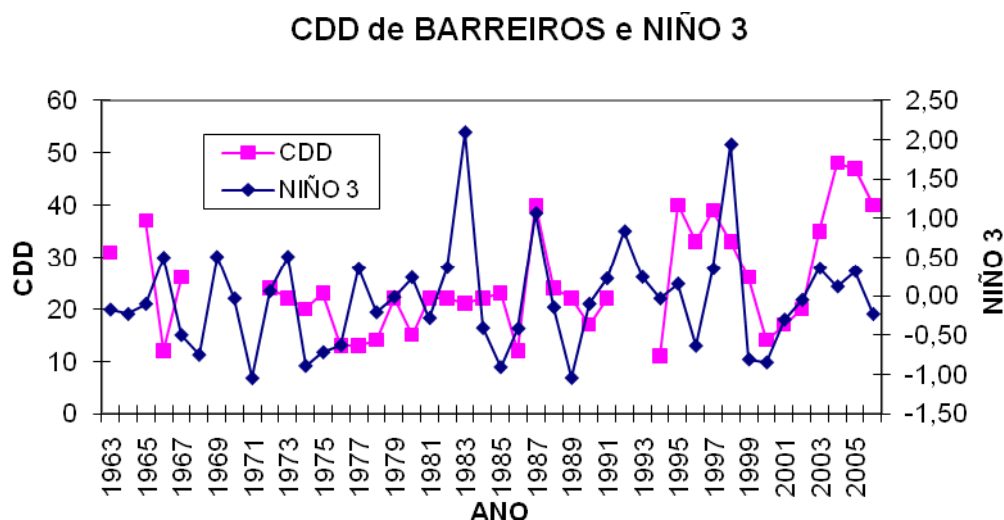


Figura 5.7: Variabilidade interanual do índice CDD na localidade de Barreiros, litoral sul de Pernambuco, e anomalia de TSM na área do NIÑO 3, ($r = 0,226$).

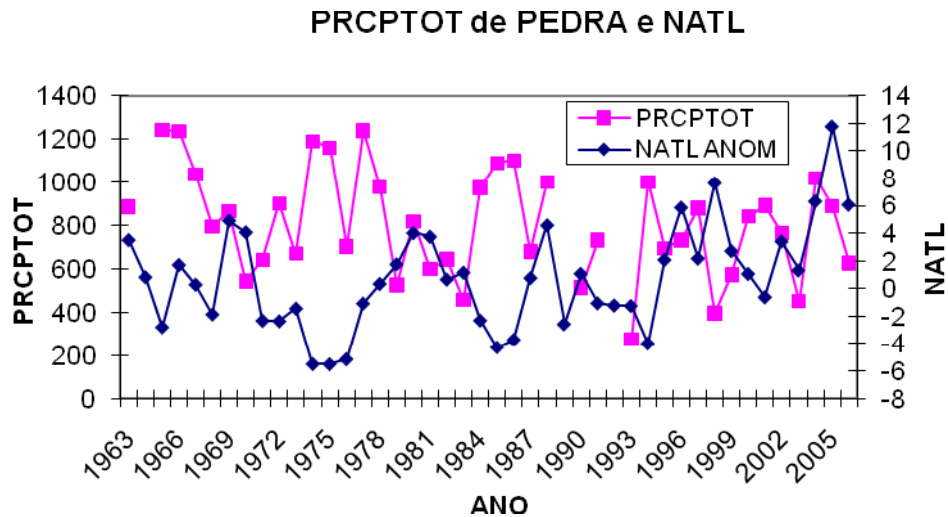


Figura 5.8: Variabilidade interanual do índice PRCPTOT para a localidade de Pedra, sertão de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área NATL, ($r = -0,324$).

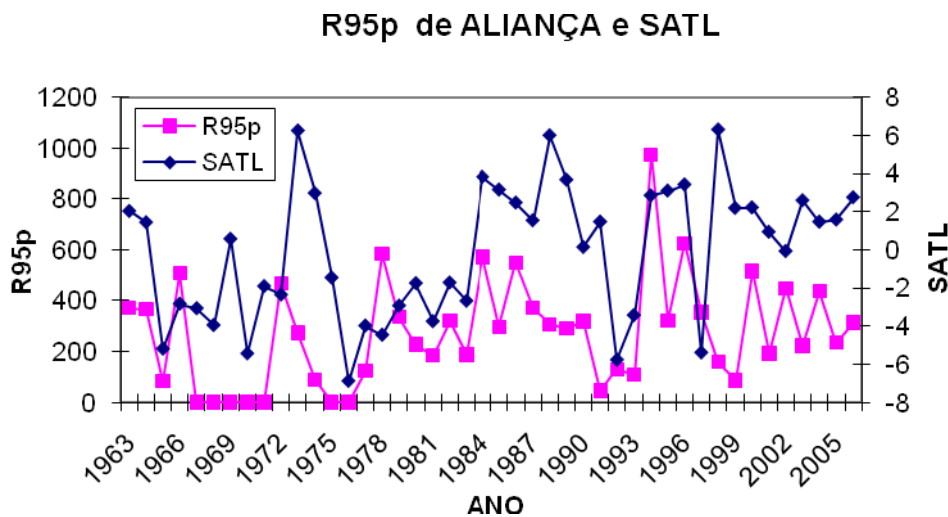


Figura 5.9: Variabilidade interanual dos índices R95p na localidade de Aliança, zona da mata norte de Pernambuco, e anomalia de TSM na área SATL, ($r = 0,346$).

SDII de EXU e TROP

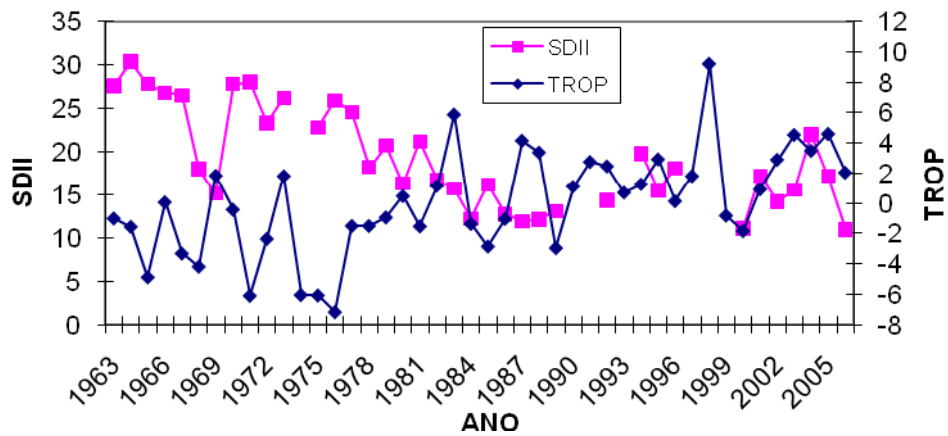


Figura 5.10: Variabilidade interanual do índice SDII na localidade de Exu, sertão de Pernambuco, e anomalia de TSM na área TROP, ($r = -0,481$).

R10mm de PETROLÂNDIA e NIÑO 3.4

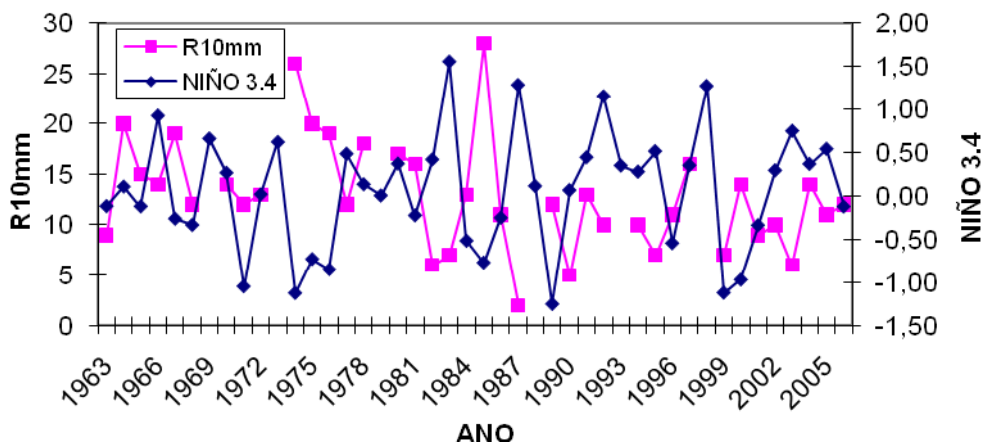


Figura 5.11: Variabilidade interanual do índice R10mm na localidade de Petrolândia, no sertão de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área do NIÑO 3.4, ($r = -0,455$).

R20mm de BOM JARDIM e NIÑO 1 + 2

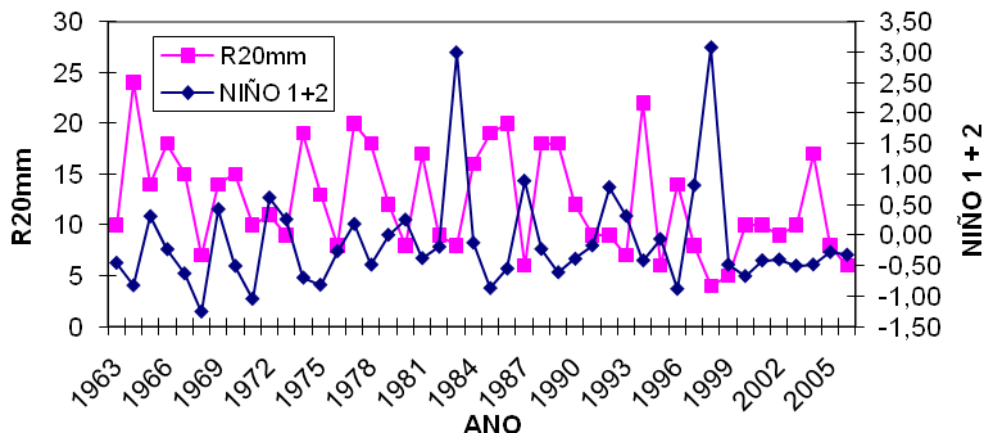


Figura 5.12: Variabilidade interanual do índice R20mm na localidade Bom Jardim, agreste setentrional de Pernambuco, e a anomalia de TSM na área do NIÑO 1+2, ($r = - 0,396$).

R20mm de BELO JARDIM e NIÑO 4

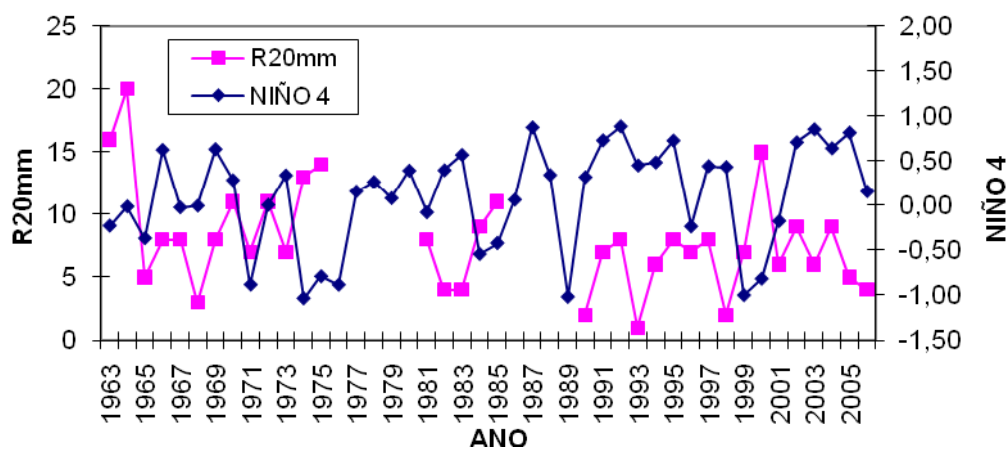


Figura 5.13: Variabilidade interanual do índice R20mm na localidade de Belo Jardim, sertão de Pernambuco, e anomalia de TSM na área do NIÑO 4, ($r = - 0,364$).

5.3 Índices climáticos e IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

A associação entre as variações de precipitação e os valores de IVDN como indicador do vigor da vegetação tem sido apontado em vários trabalhos, principalmente

para o monitoramento da vegetação. Braga (2000) observou que em anos secos, os valores de IVDN tendem a diminuir, aumentando consideravelmente em anos chuvosos, com o aumento da densidade e vigor da vegetação.

Nesta estudo utilizou-se dados do índice IVDN para o período de 1982 e 1999, os quais fazem parte do banco de dados da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas.

As análises de correlação completa entre todos os índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas relativos à precipitação e o IVDN das 12 localidades encontram-se na Tabela 5.10. Entretanto, nesta seção são discutidas apenas as melhores correlações para os índices que são estatisticamente significativas (Tabela 5.11).

TABELA 5.10: Correlação entre os índices extremos de chuva e o IVDN. Estão em destaque apenas as que são estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	CDD	PRCP TOT	CWD	R10mm	R20mm	R50 mm	Rx1day	Rx5day	R95p	R99p	SDII
ARARIPINA							0,477				
ALIANÇA									0,310		
BARREIROS	0,179		-0,16	0,193	0,173		-0,078	0,061	0,095		
BETÂNIA	-0,073	0,116						-0,339			
EXU	-0,584	0,678	0,114	0,721	0,559	0,583					-0,237
JUREMA	0,061	0,176		0,144	0,307		0,418	0,442			0,294
PALMARES											
PETROLÂN- DIA	-0,191	0,603		0,579							
POÇÃO											
SALGUEIRO		0,706		0,466							
VERTENTES		0,616					0,394	0,439		0,373	
VITÓRIA DE SANTO ANTÃO				0,041	0,037	-0,162			-0,087		-0,156

Conforme mostrado na Tabela 5.11, o índice PRCPTOT foi o que apresentou o maior número de localidades com correlações estatisticamente significativas, porém isto já era esperado, uma vez que outros pesquisadores, como por exemplo, Braga et al. (2000) e Barbosa (1999), obtiveram resultados semelhantes. Entretanto, quando se

faz análise da relação do IVDN com outros índices de extremo climático, em geral, os resultados são diferentes daqueles para a precipitação total anual como mostrado na própria Tabela 5.11. A propósito para o índice CDD observou-se correlação significativa entre este índice e o IVDN apenas para a região de Exu. Os índices referentes às maiores intensidades de chuva, R10mm e R20mm, demonstraram correlações estatisticamente significativas com o IVDN nas regiões de Exu e Petrolândia. O índice R50mm apresentou correlação estatisticamente significativa com o IVDN apenas para a região de Exu, sendo esta de 95%. Ainda foi observada uma correlação de 90% entre o índice Rx1day e o IVDN para os dados coletados pela estação de Araripina.

Chama-se a atenção para o fato de que, das 26 estações cujos dados foram empregados neste trabalho, apenas 12 tiveram o cálculo do IVDN realizado e, destas, apenas as cinco (05) mostradas na Tabela 5.11 apresentaram correlações estatisticamente significativas entre os índices extremos de chuva e o IVDN, sendo que para parte leste do Estado, apenas a localidade de Vertentes verificou-se correlação estatisticamente significativa entre o IVDN e o índice PRCPTOT. Portanto, pode-se conjecturar que apenas no oeste do Estado verificou-se certa dependência da dinâmica da vegetação e os índices de extremos climáticos, nas demais regiões a dependência entre o IVDN e os índices extremos de chuva não foi observada, exceto a precipitação total anual, que por sua vez já tem sido objeto de estudos de outros pesquisadores (BRAGA et al., 2000; BARBOSA, 1999)

Tabela 5.11: Correlação entre os índices extremos de chuva e o IVDN (apenas aquelas estatisticamente significativas).

Postos pluviométricos	CDD	PRCPTOT	R10mm	R20mm	R50 mm	Rx1day
Araripina	--	--	--	--	--	0,477*
Exu	-0,584**	0,678***	0,721***	0,559**	0,583**	--
Jurema	--	--	--	--	--	--
Petrolândia	-0,191	0,603**	0,579**	--	--	--
Salgueiro	--	0,706***	--	--	--	--
Vertentes	--	0,616**	--	--	--	--

(*) Significância estatística de 90%

(**) Significância estatística de 95%

(***) Significância estatística de 99%

As variabilidades interanuais dos índices CDD, PRCPTOT, RX1day e R10mm juntamente com a do IVDN das estações de Araripina, Exu, Jurema, Petrolândia e Salgueiro com significâncias estatísticas dentro dos limites expostos na Tabela 5.2, são apresentadas nas Figuras 5.14 a 5.22. As Figuras 5.14 e 5.15 mostram a variabilidade interanual do índice CDD e o IVDN para Exu e Petrolândia, respectivamente, de um modo geral o índice CDD e IVDN assumem valores opostos, ou seja, nos anos em que o CDD é mais elevado o IVDN tende a ter os menores valores e vice-versa. É interessante observar que para Petrolândia a correlação não foi estatisticamente significativa, porém o comportamento da variabilidade interanual é semelhante ao de Exu (Figuras 5.14 e 5.15).

Nas Figuras 5.16, 5.17 e 5.18 são mostradas as variabilidades interanuais do índice PRCPTOT e do IVDN para as estações de Exu, Petrolândia e Salgueiro, respectivamente. Observa-se um acompanhamento entre as duas curvas. Ressalta-se, mais um vez que resultados semelhantes já tinha sido obtidos por outros pesquisadores.

Por sua vez, as Figuras 5.19 e 5.20 mostram as variabilidades interanuais do índice RX1day e do IVDN para Araripina e Jurema, respectivamente, cuja significância estatística ficou em 90% e as correlações foram muito próximas (Tabela 5.2). Porém, ao analisar as Figuras 5.19 e 5.20 verifica-se que o comportamento as curvas de RX1day e IVDN de Jurema estão mais próxima que as de Araripina, principalmente no início do período. Isto evidencia que é importante mostrar os valores das correlações e a distribuição temporal das curvas correlacionadas. Finalmente, as Figuras 5.21 e 5.22 apresentam a variabilidade interanual do índice R10mm e IVDN para Exu e Petrolândia, respectivamente. Observa-se na Figura 5.21 uma forte relação do IVDN com a precipitação acima de 10 mm, no alto sertão pernambucano, e uma relação um pouco menos intensa, em Petrolândia (Vale do São Francisco). Portanto, as chuvas superiores a 10 mm/dia é de extrema importância para a manutenção da umidade no solo e, conseqüentemente do desenvolvimento da folhagem da Caatinga, no alto sertão, no Vale do São Francisco esta dependência não é tão forte devido a umidade do vale.

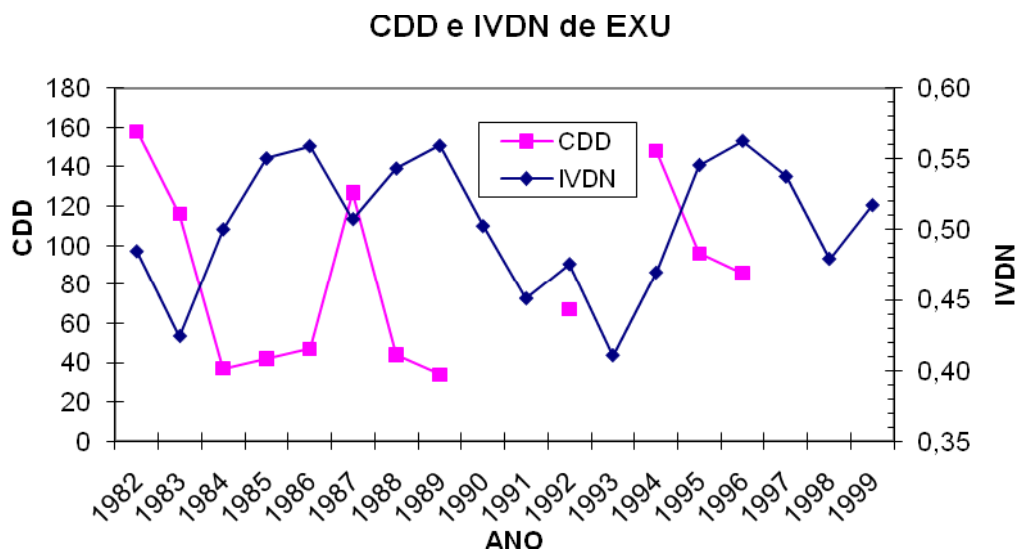


Figura 5.14: Variabilidade interanual do índice CDD e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = -0,584$).

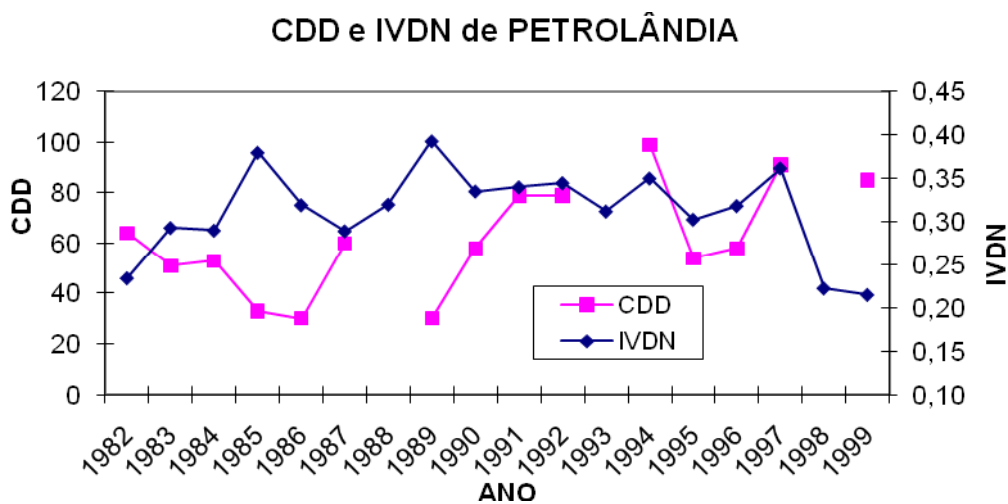


Figura 5.15: Variabilidade interanual do índice CDD e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = -0,191$).

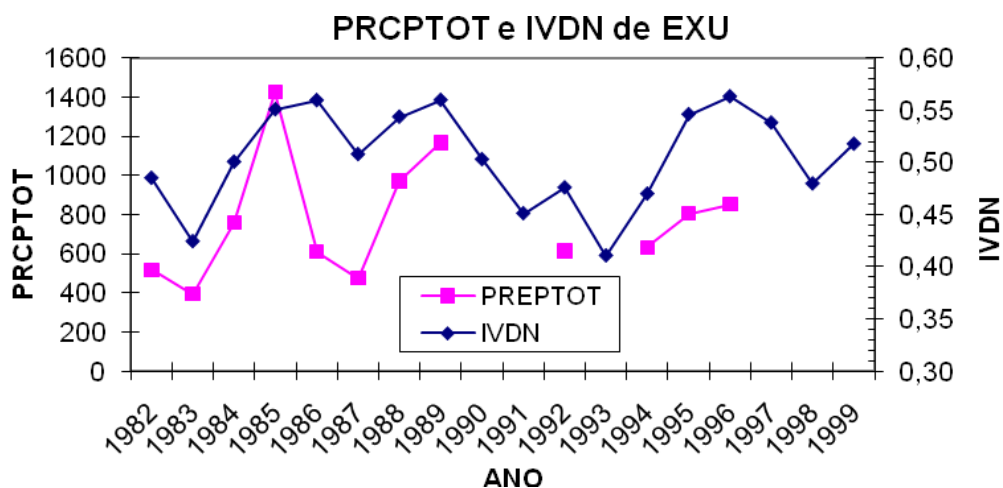


Figura 5.16: Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = 0,678$).

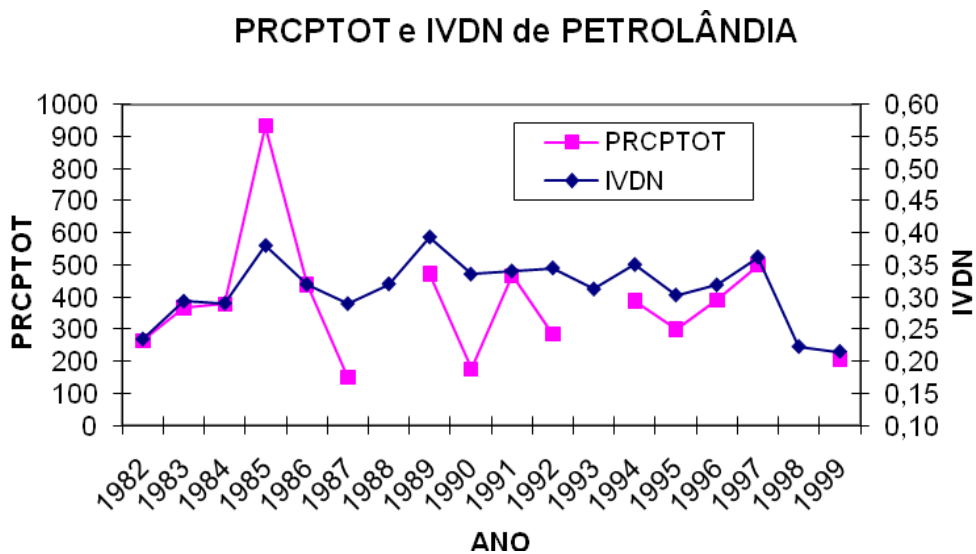


Figura 5.17: Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = 0,603$).

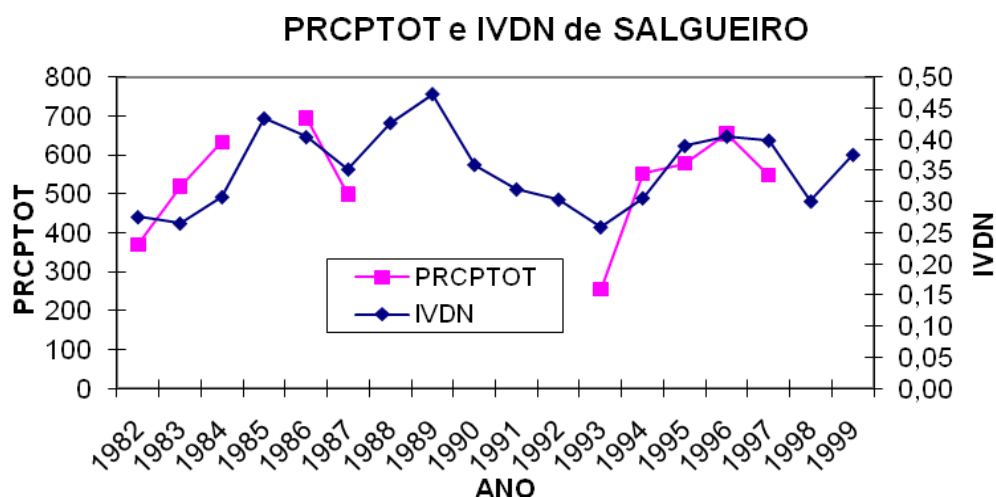


Figura 5.18: Variabilidade interanual do índice PRCPTOT e do IVDN para a localidade de Salgueiro, sertão de Pernambuco, ($r = 0,706$).

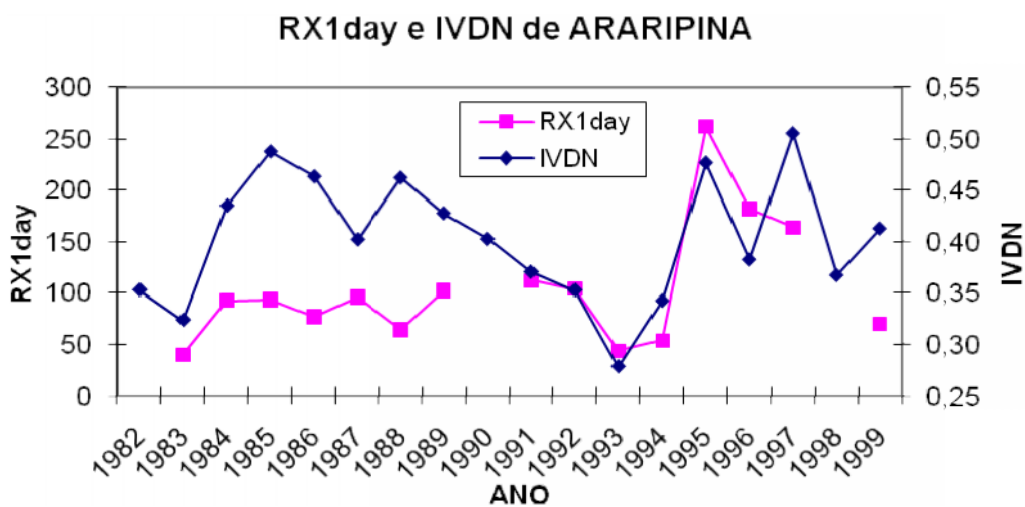


Figura 5.19: Variabilidade interanual do índice RX1day e do IVDN para a localidade de Araripina, sertão de Pernambuco, ($r = 0,477$).

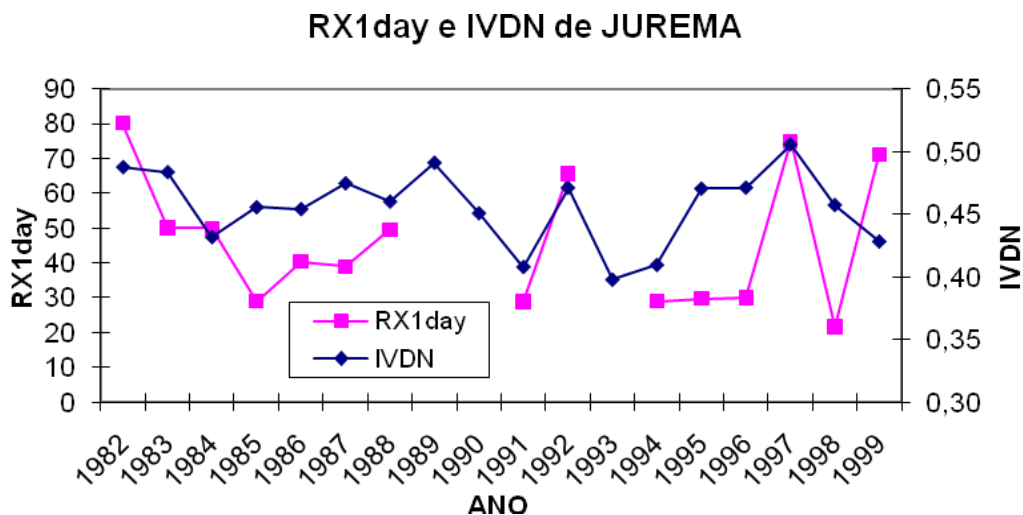


Figura 5.20: Variabilidade interanual do índice RX1day e do IVDN para a localidade de Jurema, agreste meridional de Pernambuco, ($r = 0,418$).

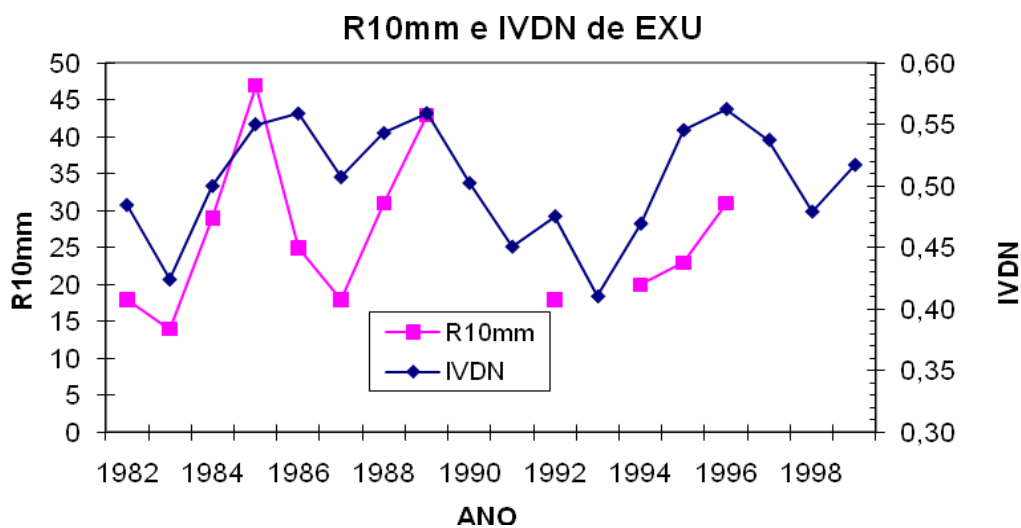


Figura 5.21: Variabilidade interanual do índice R10mm e do IVDN para a localidade de Exu, sertão de Pernambuco, ($r = 0,721$).

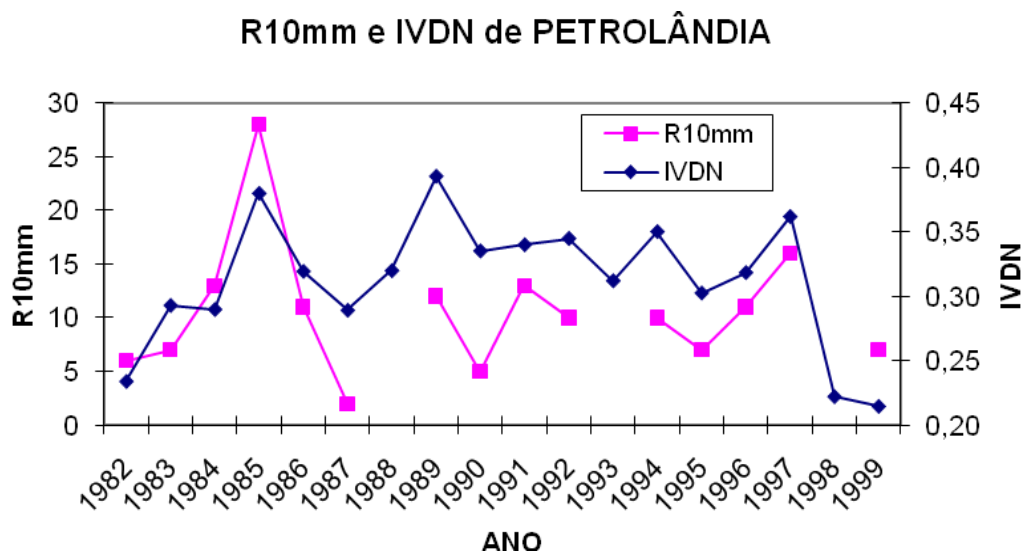


Figura 5.22: Variabilidade interanual do índice R10mm e do IVDN para a localidade de Petrolândia, sertão de Pernambuco, ($r = 0,579$).

5.4 Índices climáticos e IIAB (Índice Inverso de Aridez de Budyko)

Nesta seção é analisado o índice inverso de aridez de Budyko, com a finalidade de se observar de que maneira este índice está relacionado com os índices de extremos climáticos, com a dinâmica da vegetação do Estado de Pernambuco, e com a variabilidade interanual das anomalias da TSM do Pacífico Equatorial, Atlântico Tropical e Oceanos Tropicais, além de alterações no IVDN.

Na Figura 5.23 tem-se plotada a variabilidade espacial do índice inverso de aridez de Budyko, donde pode-se observar que, na maior parte do Estado de Pernambuco, esse índice está diminuindo. Apenas na região do extremo leste e noroeste pernambucano, a tendência do IIAB apresenta valores positivos. Como esse é um índice de aridez inverso, pode-se afirmar que quanto mais negativo for sua tendência, mais árido está se tornando o lugar. Chama-se atenção em especial para a faixa de longitudes entre $35,5^{\circ}\text{W}$ e 40°W , onde esse aumento de aridez se mostra mais acentuado, pode-se notar que o Estado como um todo está se tornando mais árido, com base nesse índice.

TENDÊNCIA DO IIAB

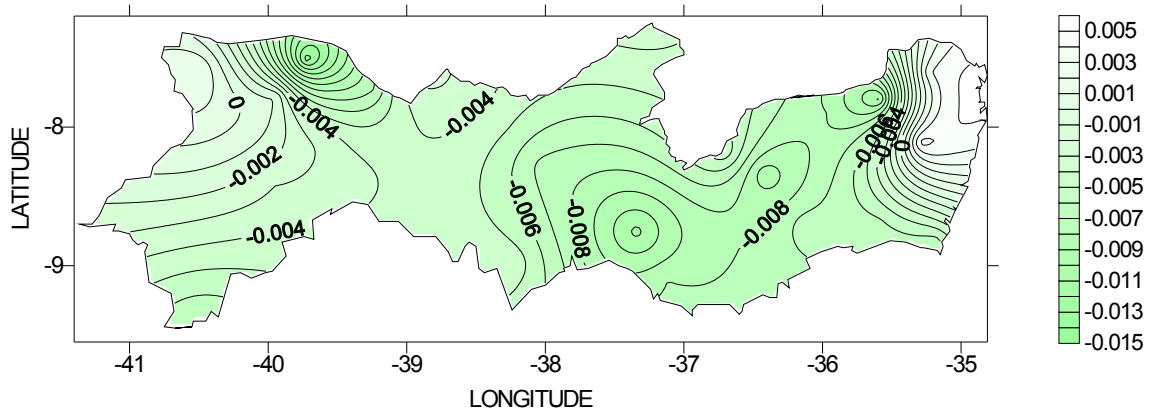


Figura 5.23: Tendência do IIAB (Índice Inverso de Aridez de Budyko), em índice/ano.

Na Tabela 5.3 encontram-se os valores de correlações do IIAB com os índices de extremos climáticos, observa-se que o índice PRCPTOT não é feito o cálculo da correlação com o IIAB, uma vez que a precipitação total anual entra no cálculo do índice de aridez (Equação 15). Observa-se que o IIAB se correlaciona muito satisfatoriamente com todos os índices analisados, pois os valores em negrito na Tabela 5.3 significam correlações com significância estatística de 99%. Em especial, nota-se que o índice R10mm foi o que apresentou valores mais significativos de correlação com o IIAB, para quase todas as localidades observadas. No entanto, o maior valor de correlação foi entre o IIAB e o índice R20mm ($r=0,964$). O índice que apresentou valores menos significativos de correlação foi o CWD, apenas duas estações, com significância de 99%, seguido pelo índice R99p com três estações. É interessante notar também que os valores de correlação entre o IIAB e o número de dias consecutivos secos foram sempre negativos, o que é esperado, uma vez que se está considerando um índice inverso: se o número de dias secos aumenta, o índice inverso de aridez diminui.

Tabela 5.12 : Correlação entre os índices extremos de chuva e o IIAB.

Postos plu- viométricos	CDD	CWD	R10mm	R20mm	R50 mm	Rx1day	Rx5day	SDII	R95p	R99p
Águas Belas	-0,419**	--	0,818	--	--	--	--	--	--	--
Aliança	--	--	--	--	--	--	--	--	0,302*	--
Araripina	--	--	--	--	--	0,620	--	--	--	--
Barreiros	-0,567	--	0,710	0,903	--	0,333*	0,642	--	0,751	--
Belém de São Francisco	--	--	0,914	--	--	--	--	--	--	--
Belo Jardim	--	--	0,915	0,896	0,734	--	0,685	0,737	0,864	0,684
Betânia	-0,456	--	--	--	--	--	0,556	--	--	--
Bodocó	--	--	--	--	--	--	0,754	0,352	--	--
Bom Jardim	-0,372**	0,525	0,949	0,886	--	0,588	--	--	--	0,649
Cedro	-0,422	0,564	--	--	--	--	--	--	--	--
Exu	-0,313*	--	0,926	0,902	0,790	--	--	0,584	--	--
Juazeiro	--	--	--	0,964	0,810	0,812	0,799	0,719	0,863	--
Jurema	--	--	0,923	0,775	--	0,438**	0,566	0,605	--	--
Moreilândia	--	--	0,899	--	0,777	0,577	0,383**	--	0,808	0,469
Parnamirim	--	--	0,935	--	--	--	--	--	--	--
Pedra	--	--	0,933	--	--	--	--	--	--	--
Petrolândia	-0,552	--	0,901	--	--	--	--	--	--	--
Teixeira	--	--	--	--	--	--	--	0,437	--	--
Tupanatinga	--	--	0,945	0,905	--	--	--	0,635	--	--
Urimamã	--	--	--	0,898	--	--	--	--	--	--
Vertentes	--	--	--	--	--	0,677	0,696	--	--	0,620
Vitória de Santo Antão	--	--	0,922	0,901	0,633			0,813	0,812	
Número de localidades+	07	02	13	09	05	07	08	08	06	04

(*) Significância estatística de 90%

(**) Significância estatística de 95%

(em negrito) Significância estatística de 99%

+ Número de localidades com correlações estatisticamente significativas.

Para um melhor entendimento desse mecanismo, o IIAB foi dividido em parte leste e parte oeste. Isto porque foi observado diferenças das relações do IIAB das localidades que estão no oeste e as que estão no leste com as anomalias de TSM. A propósito as correlações do IIAB (oeste e leste) com as anomalias do Pacífico Equatorial, Atlântico Tropical e Oceanos Tropicais e IVDN são mostradas na Tabela 5.3.

Para a área oeste, tem-se que o IIAB está melhor correlacionado, e portanto mais dependente, com as anomalias nas regiões do Niño 1+2, do Niño 3 e do Niño 3.4 (99%), Atlântico Tropical Norte e Tropicais Global (99%). Para a região do Atlântico Sul não houve correlação estatisticamente significativa. O IIAB para a faixa oeste apresentou uma correlação bastante satisfatória com o IVDN(99%).

Para a parte leste, no Atlântico, houve correlação estatisticamente significativa apenas na região da anomalia do Atlântico Norte. Com relação ao Pacífico, o IIAB na faixa leste do Estado apresentou uma melhor correlação com a anomalia do Niño 1+2 (95%). Com o IVDN, essa correlação também se mostrou muito boa (99%).

Tabela 5.13: Correlações das anomalias de temperatura com o IIAB de Oeste - PE e Leste - PE.

	NIÑO1+2	NIÑO 3	NIÑO 4	NIÑO 3,4	NATL	SATL	TROP	IVDN
IIAB OESTE	-0,551***	-0,559***	-0,377**	-0,459***	-0,366**		-0,514***	0,781***
IIAB LESTE	-0,333**	-0,285*			-0,305*			0,612***

(*) Significância estatística de 90%

(**) Significância estatística de 95%

(***) Significância estatística de 99%

É também relevante analisar a variabilidade temporal do IIAB e do IVDN em ambas as regiões do Estado (Figuras 5.24 e 5.25), para as regiões oeste e leste, respectivamente.

Observa-se mais uma vez a forte dependência entre o IIAB e o IVDN, especialmente para a região do oeste pernambucano, onde a aridez do solo influencia de maneira decisiva na cobertura vegetal do mesmo.

A variabilidade temporal do IIAB e da anomalia do Pacífico na região do Niño 1+2 é mostrada nas Figuras 5.26 e 5.27, para o Oeste e o Leste de Pernambuco, respectivamente. Observa-se que para a região oeste tem-se uma ótima correlação (99%) entre os dois índices, no entanto, é possível notar também que esses índices se comportam de maneira oposta, ou seja, o IIAB é máximo quando a anomalia de Niño 1+2 é mínima. Isso significa que anos de intensa variação nas águas do Pacífico são anos mais secos no oeste de Pernambuco. Para a região leste, os dois índices estão bem correlacionados (90%) e mais uma vez, percebe-se que o comportamento de ambos é oposto. Esse resultado revela que, também na porção leste do Estado, secas

e estiagens estão relacionadas às atividades mais intensas na região de Niño 1 + 2. Esses resultados concordam com aqueles de Melo (1999), que mostrou através de uma série histórica a correspondência entre a seca e o fenômeno El Niño para o NEB.

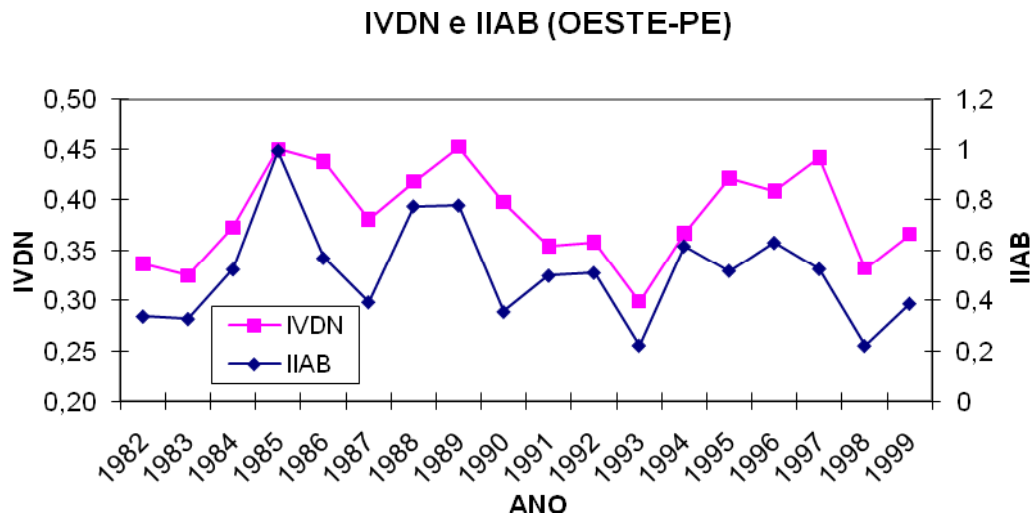


Figura 5.24: Gráfico das variabilidades interanuais de IVDN e IIAB para a parte oeste do Estado de Pernambuco, ($r = 0,781$).

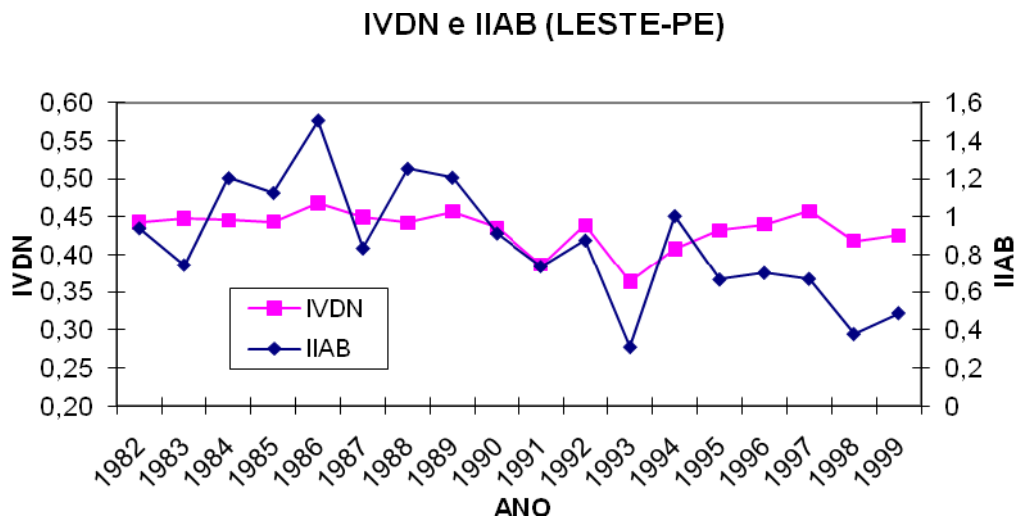


Figura 5.25: Gráfico das variabilidades interanuais de IVDN e IIAB para a parte leste do Estado de Pernambuco, ($r = 0,612$).

NIÑO 1+2 e IIAB (OESTE- PE)

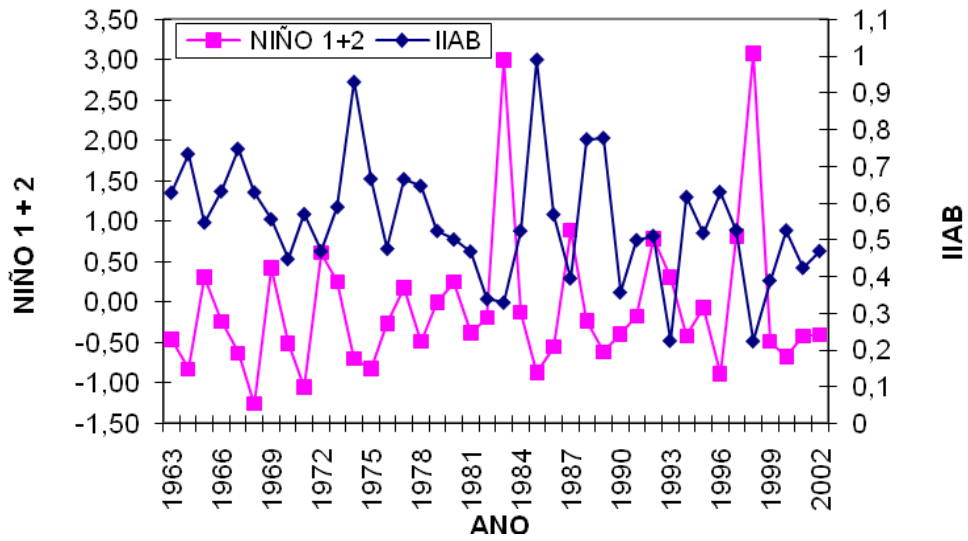


Figura 5.26: Gráfico das variabilidades interanuais da anomalia de TSM na área de Niño 1+2 e IIAB da parte oeste de Pernambuco, ($r = -0,551$).

NIÑO1 + 2 e IIAB (LESTE-PE)

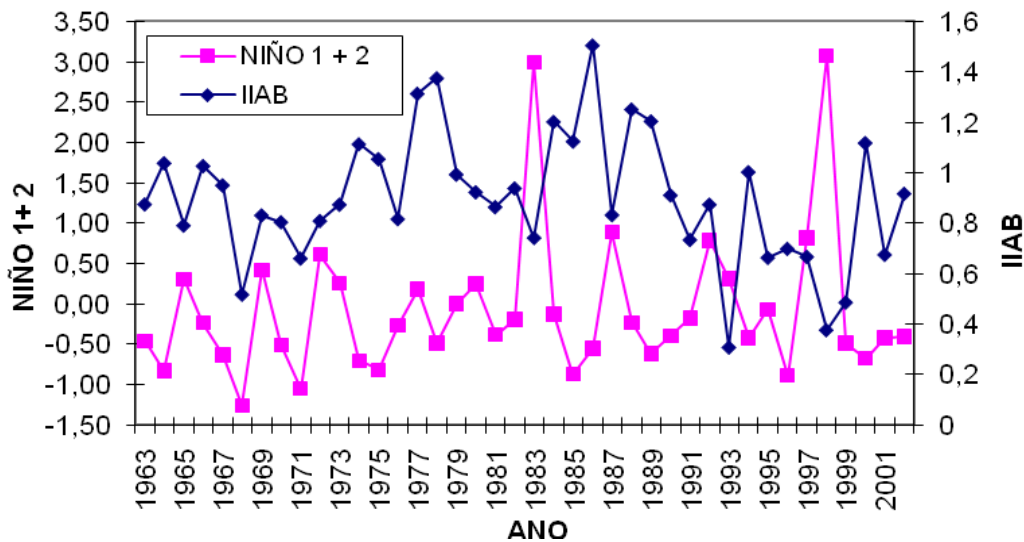


Figura 5.27: Gráfico das variabilidades interanuais da anomalia de TSM na área de Niño 1+2 e IIAB da parte leste de Pernambuco, ($r = -0,333$).

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 Conclusões

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

- No Estado de Pernambuco houve um aumento no número de dias secos, com uma diminuição no número de dias úmidos e da precipitação total anual, com menor ocorrência de eventos extremos, algumas áreas no norte do Estado apresentaram um aumento na ocorrência desses eventos, enquanto os eventos muito extremos não apresentaram tendência nem negativa e nem positiva.
- O número de dias consecutivos secos no ano, o total anual de precipitação, número de dias com precipitação diária superior a 10mm/dia e superior a 20mm/dia e intensidade simples de precipitação sobre o Estado de Pernambuco são dependentes dos padrões de anomalias de TSM, no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Enquanto que os dias extremamente chuvosos, ou seja, máximo valor de precipitação em um único dia do ano, o total de precipitação de 1% dos dias mais chuvosos no ano não apresentam uma dependência direta das configurações de anomalias de TSM.
- Os índices de precipitação: dias consecutivos seco no ano, total anual de precipitação, número de dias no ano com chuvas superiores a 10mm/dia e 20mm/dia demonstraram ter influência na dinâmica da vegetação, medida através da variabilidade interanual do IVDN, principalmente na parte semiárida do Estado.
- Com relação ao índice inverso de aridez de Budyko conclui-se que o IIAB é dependente dos índices de extremos climáticos, principalmente, R10mm, bem como dos padrões de anomalias da TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Ressalta-se que parte da dependência do IIAB dos índices de extremos climáticos é decorrente da vinculação dos índices e anomalias de

TSM. Outra conclusão é que o IVDN é fortemente dependente dos valores do IIAB, deve ser mencionado que parte desta dependência ocorre de forma indireta através das configurações de anomalias de TSM.

- As alterações nos regimes climáticos observadas neste trabalho apontam para um caráter global, porém não se pode afirmar categoricamente que estas tendências se relacionem com uma mudança global do clima, pois para localidades isoladas verificaram-se tendências negativas e positivas em alguns dos índices analisados, o que evidencia o aspecto regional. Os possíveis fatores regionais que podem ter modificado o clima em Pernambuco foram o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas ou até mesmo a soma dos dois.

6.2 Sugestões

Deve ser realizados estudos para verificar a influência das Oscilações Decadal do Pacífico (PDO) e Multidecadal do Atlântico (MAO) sobre os índices de extremos climáticos e IIAB.

Também sugere-se estudar os índices de extremos climáticos oriundos das temperaturas do ar máxima e mínima e investigar suas relações com as anomalias de TSM, IVDN e IIAB.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABER, J. D. Terrestrial ecosystems. IN: TRENBERTH, K. E. (ed.) **Climate System Modeling**. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 173-200, 1994.

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., X. ZHANG, T. C. PETERSON, J. CAESAR: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, **Geophysical Research Letters**, v.33, L03706, 2006.

ARAÚJO, W. S., **Detecção de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários**. Campina Grande. 127p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. 2009.

ATLAS ESCOLAR PERNAMBUCO. **Espaço Geo-Histórico e Cultural**, João Pessoa: GRAFSET, 2003.

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, L13217, 4pp, 2004.

BARBOSA, H. A. Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 164 p, 1999.

BRAGA,C.C., Inter - relação entre Padrões de Índice de Vegetação e de Pluviometria no Nordeste do Brasil. Campina Grande. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba, 2000.

BRAGA, C.C., SANSIGOLO, C.A., RAO, T.V.R. Padrões de variabilidades espaciais e temporais de ndvi na região Nordeste do Brasil usando análise fatorial, Anais do XI

Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-30c7d442f585718fce06c1e0bfc44e1e.pdf>, acesso em 15 de janeiro de 2009.

BUDYKO, M. I., **Climate and life**, New York: Academic Press, 488 pp, 1958.

CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.111, n.8, p.1655-1664, 1983.

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

CPTEC. **Índice de vegetação**, Disponível em: <<http://pituna.cptec.inpe.br/ndvi/faq.jsp>>. Acesso em: 03/02/2010.

DE PAULA, R. K.; BRITO, J.I.B. **Índices de Mudanças Climáticas, Vegetação da Superfície, Seca e desertificação: Um Estudo de Caso para o Estado de Pernambuco**. In: **V Congresso de Iniciação Científica da UFCG**. Campina Grande. ANAIS: CD-ROM, Campina Grande, 2008.

GALVÍNCIO, J. D. **Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco**, Revista de Geografia, v. 22, n. 2, p.96-113, 2005.

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.

HARE, F. K. Climate and Desertification p. 63-167. IN: **Desertificacion: Its causes and consequences**. Secretariat of the United Nations Conference on Desertification, Nairobi. Pergamon Press. Oxford. 1977a. 448p.

HARE, F. K. Connections Between Climate and Desertification. **Environment Conservation**, v.4, n.2, p.81-90, 1977b.

HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 411-425, 1977.

HASTENRATH, S., Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, v.112, p.1097-1107, 1984.

HASTENRATH, S., GREISCHAR, L.: Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies, **Journal of Climate**, v.6, n.12, p.743-758, 1993.

HAYLOCK, M. R., PETERSON, T. C., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIÇÃO, 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. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

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.

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**, v.83, p.195-213, 2002.

IICA. **Programa de combate à desertificação e à mitigação dos efeitos da seca na América do Sul**, disponível em: <http://www.iicadesertification.org.br>, acesso em 28/01/2010.

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 - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Novos Cenários Climáticos**, 42 p., 2007. Third Assessment Report. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em: 15/12/2009.

IPCC. **Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – AR4, 2007**. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch> >. Acesso em: 13/12/2009.

JATOBÁ, L.; LINS, R. C. **Introdução a Geomorfologia**. Recife: Bagaço, 1998, 140 p.

KOUSKY, V. E.: Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p.488-498, 1980.

- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlim: Walter De Gruyter und Co., 1923.
- LETTAU, H.H. Evapotranspiration climatology I: A new approach to numerical prediction of monthly evapotranspiration, runoff, and soil moisture storage. **Monthly Weather Review**, v.97, p.691-699, 1969.
- 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**, v. 17, p.4357-4367, 2004.
- 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.
- 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**, v.103D, p.1775–1783, 1998.
- 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**, v.103, p.1775-1783, 1998.
- MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.79-96, 2004.
- MARENGO, J. A.; DIAS, P. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (Ed.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, p.63-109, 2006.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v.1, 2007, 214p.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., CARDOSO, M. F., OYAMA, M., OLIVEIRA, G. S. de, OLIVEIRA, R. de, CAMARGO, H., ALVES, L. M., The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, p.495-516, 2008a.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., CARDOSO, M. F., OYAMA, M. D., **Hydro-climatic: and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, v.21, p.1-6, 2008b.

MARINI, A., **Mudanças Climáticas.** Escola Agrotécnica Federal de Castanhal, PA, p. 1-21, 2007. Disponível em: <http://www.eafc-pa.gov.br/professores/adriano.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2009.

MELO, J. C. de, **O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil**, Revista Raízes, v. 20, p.13-21, 1999.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. **Análise Subjetiva da Simulação de Precipitação do Modelo Eta Climático para o Nordeste do Brasil no Período entre Janeiro e Março de 2003.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, 2003, Santa Maria-RS. Anais: Santa Maria-RS: SBA, 2003, p. 811-12.

MEYER, P. L. **Probabilidade Aplicações Estatística**, 2ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2000, 426p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2ed. – Viçosa: UFV, 307 p., 2003.

MOURA, A. D., SHUKLA J. **On the dynamics of droughts in northeats Brazil: Observation, theory, and numerical experiments with a general circulation model.** *Journal of the Atmospheric Sciences*, v.38, p.2653-2675, 1981.

NICHOLSON, S.E.; TUCKER, C.J.; BA, M.B. **Desertification, Drought, and Surface Vegetation: An Example from the West African Sahel.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.79, n.5, p.815-829, 1998.

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

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

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G., SALAZAR, L., **Mudanças climáticas e Amazônia. Ciência e Cultura**. [online]. v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

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

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, 1998.

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

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.

SANTOS, C.A.C. **Estimativas e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com Base na Precipitação Diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. Campina Grande: UFCG. 115p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. 2006.

SANTOS, C.A.C., BRITO, J. I. B. **Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.3, p.303-312, 2007.

SANTOS, C.A.C., BRITO, J. I. B., RAO, T.V.R., MENEZES, H.E.A., **Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará**, Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, p. 34-47, 2009.

SELLERS, P.J. **Biophysical models of land surface processes**. IN: TRENBERTH, K. E. (ed.) *Climate System Modeling*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, p. 451-490.

SERRA, A. B., **The general circulation over South America**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.22, p.173-179, 1941.

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/IB UnB, (Doutor, Ecologia, 2004). Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, 2004.

SUN, L.; H. Li; WARD, M. N.; MONCUNILL, D. F. **Climate Variability and Corn Yields in Semiarid Ceará, Brazil**. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 46, p.226-240, 2007.

THORNTWHAITE, C.W. **The climates of North America according to a new classification**, *Geophysical Review*, v. 21, p.633-655, 1931.

THORNTWHAITE, C. W. **An approach toward rational classification of climate**. *Geographical Review*, v. 38, p.55-94, 1948.

THORNTWHAITE, C.W.; MATTER, J. R. **The water balance**. Centerton, New Jersey. Laboratory of Climatology. 1955.

THORNTWHAITE, C.W.; MATHER, J.R. **Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance**. *Publication in Climatology*, v.10, n.3, 1957.

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

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

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B., RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.;

GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; AND KAROLY, D.; **Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000**. *Journal of Climate*, v.18, n.12, p.5011-5023, 2005.

ZHANG, X., YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 2004, 22p.

8. ANEXOS

ANEXO A:

TABELA A.1: Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 26 estações.

LOCALIDADES	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (METROS)	INÍCIO	TÉRMINO
ÁGUAS BELAS - PE	-9,110	-37,120	376	1963	2000
ALIANÇA - PE	-7,603	-35,231	123	1963	2006
ARARIPINA - PE	-7,576	-40,498	622	1963	2000
BARREIROS - PE	-8,818	-35,186	22	1963	2006
BELÉM DE SÃO FRANCISCO - PE	-7,576	-38,966	305	1963	2006
BELO JARDIM - PE	-8,340	-36,420	608	1963	2006
BETÂNIA - PE	-8,280	-38,030	431	1963	2006
BODOCÓ - PE	-7,778	-39,941	443	1963	2006
BOM JARDIM - PE	-7,796	-35,587	333	1963	2006
CEDRO - PE	-7,720	-39,240	610	1963	2003
EXU - PE	-7,512	-39,724	523	1963	2006
JUREMA - PE	-8,710	-36,130	723	1963	2006
MOREILÂNDIA - PE	-7,733	-39,550	502	1963	2006
PALMARES - PE	-8,683	-35,592	108	1963	2006
PARNAMIRIM - PE	-8,090	-39,570	392	1963	2006
PEDRA - PE	-8,500	-36,950	660	1963	2006
POÇÃO - PE	-8,180	-36,710	1035	1963	2006
PETROLÂNDIA - PE	-8,979	-38,219	282	1963	2006
SALGUEIRO - PE	-8,074	-39,119	420	1963	2006
URIMAMÃ - PE	-8,425	-39,952	350	1963	2006
SERRA TALHADA- PE	-7,992	-38,298	429	1963	2006
TEIXEIRA - PB	-7,217	-37,267	770	1963	2004
VERTENTES - PE	-7,903	-35,988	401	1963	2006
VITÓRIA DE SANTO ANTÃO- PE	-8,110	-35,290	156	1963	2002
TUPANATINGA - PE	-8,755	-37,342	710	1963	2006
JUAZEIRO - BA	-9,410	-40,500	368	1964	1990

ANEXOS B

TABELA B.1: Correlação entre **CWD** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
CEDRO	-0,395**	-0,436***	-0,391**	-0,316*	0,031	-0,413**	- 0,452***
EXU	-0,048	-0,170	-0,251	-0,232	0,339**	0,030	0,073

TABELA B.2: Correlação entre **R99p** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
VERTENTES	-0,169	-0,164	-0,171	-0,249	-0,302*	-0,149	-0,407**

TABELA B.3: Correlação entre **R50mm** e as anomalias de TSM das áreas do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, SATL, NATL, TROP. Estão em destaque apenas as correlações estatisticamente significativas.

LOCALIDADES	NIÑO1+2	NIÑO 3	NIÑO 3.4	NIÑO 4	SATL	NATL	TROP
EXU	-0,248	-0,231	-0,189	-0,277	-0,118	-0,102	-0,396**

ANEXOS C

TABELA C.1: Tendências dos índices de extremos climáticos para as localidades de Pernambuco e seus respectivos valores da estatística p, estimado pelo teste F.

LOCALIDADE		CDD	PRCP TOT	CWD	R10mm	R20mm	R50mm	Rx1day	Rx5day	R95p	R99p	SDII
ÁGUAS BELAS	TENDÊNCIA	1,330	-9,345	-0,049	-0,335	-0,098	-0,005	-0,148	-0,049	-0,602	-0,477	0,038
	VALOR P	0,012	0,038	0,442	0,012	0,147	0,806	0,769	0,931	0,762	0,645	0,185
ALIANÇA	TENDÊNCIA	0,100	4,667	0,052	0,056	0,087	0,018	0,294	0,235	4,667	0,261	0,008
	VALOR P	0,529	0,273	0,495	0,721	0,298	0,479	0,444	0,676	0,062	0,823	0,759
ARARIPINA	TENDÊNCIA	-0,734	3,384	-0,012	-0,066	-0,041	0,041	1,292	0,312	4,329	1,936	-0,074
	VALOR P	0,119	0,466	0,675	0,617	0,619	0,276	0,067	0,710	0,118	0,147	0,205
BARREIROS	TENDÊNCIA	0,308	-7,261	-0,187	-0,666	-0,342	0,093	1,804	3,836	9,655	4,583	0,027
	VALOR P	0,022	0,347	0,038	0,001	0,017	0,166	0,007	0,006	0,069	0,128	0,485
BELÉM DE SÃO FRANCISCO	TENDÊNCIA	0,352	-2,619	-0,003	-0,148	-0,04	-0,005	0,522	0,759	0,12	0,025	0,024
	VALOR P	0,412	0,327	0,896	0,029	0,366	0,819	0,165	0,251	0,947	0,981	0,684
BELO JARDIM	TENDÊNCIA	0,591	-8,58	-0,049	-0,273	-0,106	-0,043	-0,225	-1,664	-3,714	-2,127	-0,071
	VALOR P	0,032	0,003	0,119	0,011	0,032	0,04	0,524	0,015	0,025	0,075	0,036
BETÂNIA	TENDÊNCIA	1,621	-4,055	0,012	-0,11	-0,018	-0,017	-0,392	-0,944	-1,477	-0,995	0,06
	VALOR P	0,01	0,10	0,622	0,159	0,702	0,316	0,127	0,062	0,207	0,256	0,299
BODOCÓ	TENDÊNCIA	1,325	0,857	-0,01	0,021	0,003	0,01	0,342	1,258	0,472	1,414	0,135
	VALOR P	0,021	0,779	0,43	0,784	0,964	0,649	0,323	0,062	0,777	0,114	0,009
BOM JARDIM	TENDÊNCIA	0,618	-11,08	-0,053	0,348	-0,136	-0,016	-0,716	-0,646	-2,054	-1,773	0,009
	VALOR P	0,014	0,001	0,052	0,002	0,023	0,167	0,054	0,285	0,185	0,05	0,697
CEDRO	TENDÊNCIA	1,337	-4,688	-0,058	-0,172	0,004	-0,003	-0,208	-0,712	-0,874	-0,565	0,111
	VALOR P	0,06	0,24	0,067	0,154	0,947	0,903	0,619	0,242	0,677	0,68	0,059
EXU	TENDÊNCIA	0,973	-17,47	0,047	-0,602	-0,636	-0,097	0,191	-0,323	-2,038	0,301	-0,304
	VALOR P	0,087	0,0	0,053	0,0	0,0	0,002	0,645	0,606	0,169	0,743	0,0
JUAZEIRO	TENDÊNCIA	-0,443	-9,942	-0,026	-0,167	-0,215	-0,053	-1,342	-2,384	-6,582	-1,663	-0,153
	VALOR P	0,706	0,026	0,657	0,139	0,018	0,035	0,10	0,022	0,019	0,254	0,034
JUREMA	TENDÊNCIA	0,713	-6,392	0,01	-0,38	-0,129	-0,001	-0,886	-1,212	-1,267	-0,366	-0,113
	VALOR P	0,09	0,065	0,859	0,006	0,046	0,919	0,015	0,035	0,452	0,682	0,004
MOREILÂNDIA	TENDÊNCIA	0,651	-7,118	-0,032	-0,213	-0,048	-0,042	-0,62	-0,841	-2,783	-1,699	0,03
	VALOR P	0,174	0,005	0,328	0,005	0,223	0,036	0,036	0,10	0,067	0,071	0,568
PALMARES	TENDÊNCIA	-0,086	-4,064	0,033	-0,227	-0,073	0,009	-0,513	-0,068	-0,612	-2,092	-0,055
	VALOR P	0,805	0,433	0,636	0,176	0,469	0,807	0,114	0,909	0,84	0,178	0,112
PARNAMIRIM	TENDÊNCIA	-0,148	-4,651	-0,011	-0,188	-0,062	-0,016	-0,133	-0,479	-0,893	0,545	0,022
	VALOR P	0,819	0,123	0,725	0,042	0,293	0,37	0,696	0,313	0,523	0,566	0,623
PEDRA	TENDÊNCIA	0,398	-6,295	-0,061	-0,18	-0,062	-0,021	-0,281	-0,279	-2,57	-1,347	0,011
	VALOR P	0,166	0,037	0,004	0,083	0,308	0,279	0,447	0,612	0,127	0,239	0,796

Continuação da TABELA C.1

LOCALIDADE		CDD	PRCP TOT	CWD	R10mm	R20mm	R50mm	Rx1day	Rx5day	R95p	R99p	SDII
PETROLÂNDIA	TENDÊNCIA	0,968	-5,298	-0,001	-0,159	-0,069	-0,015	-0,202	0,083	-1,497	-0,577	-0,023
	VALOR P	0,001	0,019	0,963	0,018	0,154	0,378	0,528	0,861	0,304	0,396	0,701
POÇÃO	TENDÊNCIA	0,339	-2,071	-0,046	-0,085	-0,025	0,008	-0,168	0,158	0,151	0,653	-0,003
	VALOR P	0,446	0,524	0,383	0,429	0,643	0,66	0,683	0,789	0,922	0,506	0,918
SALGUEIRO	TENDÊNCIA	0,551	-4,02	-0,004	-0,2	-0,062	-0,008	0,179	-0,263	-0,62	0,468	-0,043
	VALOR P	0,392	0,051	0,83	0,004	0,17	0,664	0,645	0,634	0,634	0,578	0,35
SERRA TALHADA	TENDÊNCIA	-0,04	-3,599	0,042	-0,136	-0,048	-0,023	-0,473	-0,098	-1,603	-0,841	-0,035
	VALOR P	0,939	0,294	0,194	0,194	0,473	0,209	0,143	0,869	0,23	0,328	0,394
TEIXEIRA	TENDÊNCIA	-1,367	-1,405	0,053	-0,042	-0,05	-0,034	-0,056	0,128	-2,499	0,159	-0,147
	VALOR P	0,02	0,737	0,296	0,711	0,521	0,207	0,875	0,876	0,217	0,879	0,053
TUPANATINGA	TENDÊNCIA	0,734	-7,94	0,008	-0,303	-0,136	-0,03	-0,084	-0,572	-2,417	-1,121	-0,087
	VALOR P	0,001	0,029	0,816	0,036	0,066	0,136	0,769	0,355	0,134	0,268	0,052
URIMAMÃ	TENDÊNCIA	-0,599	-2,653	0,018	-0,138	-0,094	0,007	0,216	-0,26	0,795	0,547	-0,042
	VALOR P	0,437	0,352	0,285	0,125	0,084	0,759	0,424	0,654	0,584	0,436	0,576
VERTENTES	TENDÊNCIA	0,704	-6,72	-0,037	-0,134	-0,079	-0,024	-1,119	-1,798	-2,413	-2,636	-0,029
	VALOR P	0,178	0,026	0,204	0,178	0,112	0,15	0,009	0,005	0,128	0,013	0,12
VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	TENDÊNCIA	0,053	9,965	0,016	0,428	0,219	0,07	0,761	0,851	8,109	2,289	0,104
	VALOR P	0,744	0,139	0,837	0,044	0,08	0,006	0,14	0,268	0,011	0,181	0,002

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)