

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA
BACIA DO UNA, PE E SUA RELAÇÃO COM AS ANOMALIAS DE
TEMPERATURAS DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO**

IONEIDE ALVES DE SOUZA

Orientadores: Prof. Dr. André Maciel Netto

Prof. Dr. José Roberto G. de Azevedo

Recife, PE
Agosto, 2013

IONEIDE ALVES DE SOUZA

**VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA
BACIA DO UNA, PE E SUA RELAÇÃO COM AS ANOMALIAS DE
TEMPERATURAS DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, do Departamento de Energia Nuclear, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção de título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Aplicação de radioisótopos na agricultura e meio ambiente.

Orientadores: Prof. Dr. André Maciel Netto
Prof. Dr. José Roberto G.
de Azevedo

Recife - PE

Agosto, 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

S729v Souza, Ioneide Alves de.
Variabilidade climática e deficiência hídrica na bacia do Una, PE e sua relação com as anomalias de temperaturas dos oceanos Pacífico e Atlântico. / Ioneide Alves de Souza. - Recife: O Autor, 2013.
104 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. André Maciel Netto.
Orientador: Prof. Dr. José Roberto G. de Azevedo.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2013.
Inclui Referências, Anexo e Apêndices.

1. Variabilidade e mudanças climáticas. 2. ODP.
3. ENSO. 4. Dipolo do Atlântico. I. Maciel Netto, André (orientador). II. Azevedo, José Roberto G. de (orientador).
III. Título.

CDD 551.6 (21. ed.)

UFPE
BDEN/2013-21

**VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA BACIA DO
UNA, PE E SUA RELAÇÃO COM AS ANOMALIAS DE TEMPERATURAS
DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO**

Ioneide Alves de Souza

APROVADA EM: 02/08/2013

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Maciel Netto

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. José Roberto G. de Azevedo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Maciel Netto DEN/UFPE

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Sampaio DEN/UFPE

Prof. Dra. Werônica Meira de Souza UFRPE/Garanhuns

Prof. Dr. JoséIVALDO de Brito Ciências Atmosféricas /UFCG

Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura Dept. Agronomia/UFRPE

Visto e permitido a impressão

Coordenadora (o) do PROTEN/DEN/UFPE

A Deus, o criador e mantenedor do universo, minha fonte de esperança e força, meu mestre e amigo inseparável, dedico.

“Haverá grandes terremotos, epidemias e fome em vários lugares, coisas espantosas e também grandes sinais do céu. Haverá sinais no sol, na lua e nas estrelas, sobre a terra, a angústia entre as nações em perplexidade por causa do bramido do mar e das ondas”.
(Evangelho segundo escreveu São Lucas 21:11 e 25)

A toda a minha família, amigos e pernambucanos, ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha eterna gratidão por tudo que consegui realizar, pela fé suficiente para enfrentar os obstáculos e superá-los, pela capacidade de tornar realidade um dos maiores sonhos da minha vida.

Aos meus queridos pais, **João Alves de Souza e Maria Salete dos Santos**, agradeço pelo esforço para me dar a formação necessária para que pudesse chegar onde estou. A minha família, meu maior patrimônio e porto seguro, pelo incentivo e apoio em todos os momentos. Em especial, ao meu marido **Manassés de Souza Freitas**, pela ajuda incondicional, apoio e incentivo. Ao meu querido filho, **Vitor Rafael**, que me inspira a enfrentar os desafios.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, nas pessoas da **Reitora Maria José de Sena e do prof. Luciano Galvão Diretor geral da Unidade Acadêmica de Serra Talhada**, pela concessão do afastamento de minhas atividades acadêmicas para a conclusão deste curso.

As instituições que forneceram os dados climatológicos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e o Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP).

Aos meus orientadores Prof. **André Maciel Netto** e Prof. **Roberto Azevedo** pelas sugestões e orientação deste trabalho.

Aos professores **Everardo Valadares Sampaio, José Ivaldo de Brito, Geber Barbosa de Albuquerque Moura, Werônica Meira de Souza e Josiclêda Galvêncio** pelas valiosas sugestões e contribuições no desenvolvimento da pesquisa e, ainda, por aceitar fazer parte da banca examinadora.

Aos Professores **Brayner, Edvane Borges e Olga** do Departamento de Energia Nuclear pela amizade, apoio e incentivo.

A professora **Werônica Meira de Souza** pelas sugestões e orientação no uso do software RClimdex.

A amiga **Ana Dolores** pela amizade, apoio e incentivo.

A secretaria do DEN/PROTEN, nas pessoas de **Nilvania Monteiro e Kalydja Izabel Santos Lopes** pelo apoio administrativo e disponibilidade.

A todos que fazem o Departamento de Energia Nuclear pela convivência e amizade.

E por fim, agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização de mais uma etapa de minha vida acadêmica.

RESUMO

Resumo da tese apresentada ao PROTEN/DEN/UFPE como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências.

VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA BACIA DO UNA, PE E SUA RELAÇÃO COM AS ANOMALIAS DE TEMPERATURAS DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO

Ioneide Alves de Souza

Orientadores: Prof. Dr. André Maciel Netto

Prof. Dr. José Roberto G. de Azevedo

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a variabilidade e as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas, déficit e excedente hídrico, na bacia do rio Una, PE, a partir da análise do comportamento da precipitação anual, semestral, mensal e diária. Foram consideradas 15 localidades que dispunham de dados pluviométricos diários e mensais no período de 1965 a 2006. Para a obtenção dos índices de tendência climática, utilizou-se o software RCLimindex 2.9.0. A classificação dos anos extremos foi obtida através do índice de seca. Os anos extremos foram comparados com as anomalias das temperaturas da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico. A identificação das áreas com déficit e excedente hídrico ocorreu por meio da estimativa do balanço hídrico climático, bem como a classificação das áreas de maiores e menores riscos climáticos. Os índices de detecção de mudanças climáticas apontaram tendência de redução de chuva em toda a extensão da bacia, aumento na quantidade de dias secos e diminuição dos dias úmidos, e tendência positiva na quantidade de dias com precipitações iguais e superiores a 50 mm por dia no Litoral (Barreiros). As áreas com maiores deficiência hídricas encontram-se no Agreste e com maior disponibilidade hídrica na Zona da Mata e no Litoral. A bacia do Una apresenta alta variabilidade na distribuição espacial e temporal da precipitação diária, mensal, sazonal e anual. Os padrões de variabilidades dos oceanos Pacífico e Atlântico influenciam no comportamento pluviométrico por intermédio dos fenômenos oceânico-atmosférico de grande escala ENOS, ODP e Dipolo do Atlântico.

PALAVRAS CHAVES: variabilidade e mudanças climáticas; ODP; ENSO; Dipolo do Atlântico.

ABSTRACT

Abstract of thesis presented to PROTEN/UFPE as part of the requirements for the degree of
Doctor of Science

CLIMATE VARIABILITY AND HYDRIC DEFICIT IN BASIN OF UNA, PE AND ITS RELATION TO THE ANOMALIES OF TEMPERATURES OF PACIFIC AND ATLANTIC

Ioneide Alves de Souza

Advisors: Prof. Dr. André Maciel Netto

Prof. Dr. José Roberto G. de Azevedo

This research aimed to evaluate the general variability and trends of climate change detection index, hydric excess and deficit, Una River basin, PE, from the behavior analysis of annual, seasonal, monthly and daily precipitation. 15 locations were considered, each with their own daily and monthly rainfall data in the period from 1965 to 2006. For obtaining climatic trend index, we used the RClimdex software 2.9.0. The classification of extreme years was obtained through the index of drought. The extreme years were compared with the anomalies of sea surface temperatures in the Pacific and Atlantic oceans. Identification of areas with hydric excess and deficit occurred through the estimation of climatic water balance, as well as the classification of areas of higher and lower climatic risks. The climate change detection index showed a trend of rainfall reduction throughout the basin extension, increase in the amount of dry days and decrease in the humid days, and positive trend in the number of days with rainfall exceeding 50 mm equal a day on the Coast in city Barreiros. Areas with higher hydric deficiency can be found in the Agreste and with hydric availability in the Mata Zone and the Coast. The Una basin has high variability in spatial and temporal distribution of precipitation daily, monthly, seasonal and annual. Patterns of variability of the Pacific and Atlantic oceans influence the rainfall behavior through the oceanic-atmospheric phenomenon of large-scale ENOS, ODP and Atlantic dipole.

KEY WORDS: climate variability and change, ENSO, PDO and Atlantic dipole

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1	Esquemas representativos das variações observadas sobre os indicadores de temperaturas e hidrológicos, nos continentes e nos oceanos..... 24
Figura 2	Distribuição temporal dos Índices de Oscilação Decenal do Pacífico..... 30
Figura 3	Índices bimestrais multivariados do ENOS, no período de 1950 a 2011, no oceano Pacífico Equatorial..... 31
Figura 4	Componentes do ciclo hidrológico no globo terrestre..... 36
Figura 5	Esquema dos impactos das mudanças climáticas no sistema hidrológico..... 37
Figura 6	Produção média anual de leite em Pernambuco, no período de 2007 a 2012..... 39
Figura 7	Localização espacial da bacia do rio Una com seus principais afluentes, com destaque para as mesorregiões das quais a bacia está inserida..... 40
Figura 8	Municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Una, PE..... 41
Figura 9	Diagrama unifilar para a bacia hidrográfica do rio Una, PE..... 42
Figura 10	Localização dos municípios que dispunham de dados pluviométricos no período de 1965 a 2006, na bacia do Una-PE..... 47
Figura 11	Área de atuação do ENOS no oceano Pacífico Equatorial com destaque para as regiões de Niños 1+2, 3, 3.4 e 4... .. 49
Figura 12	Fluxograma com a representação das etapas da pesquisa..... 50
Figura 13	Esquema dos componentes do balanço hídrico climático em uma cultura agrícola..... 58
Figura 14	Classificação climática para a bacia do Una de acordo com os índices de aridez..... 60
Figura 15	Distribuição espacial da precipitação pluviométrica anual, na bacia hidrográfica do rio Una, PE..... 61
Figura 16	Distribuição das médias mensais da precipitação pluviométrica para a bacia do Una, PE..... 62
Figura 17	Distribuição temporal dos desvios padronizados da precipitação média anual para o período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE..... 64
Figura 18	Distribuição temporal dos desvios padronizados da precipitação média observada na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE..... 64

Figura 19	Distribuição anual das anomalias de TSM no Pacífico e sua relação com o índice de seca no período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE.....	66
Figura 20	Distribuição semestral das anomalias de TSM no Pacífico e sua relação com o índice de seca na estação chuvosa no período de 1965 a 2006, no leste da bacia do Una, PE.....	68
Figura 21	Distribuição semestral das anomalias de TSM no Pacífico e sua relação com o índice de seca na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006, no oeste da bacia do Una, PE.....	70
Figura 22	Distribuição das anomalias de TSMs nos oceanos Pacífico e Atlântico e sua relação com os índices de seca na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006 na bacia do Una, PE.....	72
Figura 23	Série temporal dos índices de extremos climáticos (DCS (a), DCU (b), R99P (c) e R50mm (d)), para o leste da bacia do Una, PE, no período de 1965 a 2006.....	77
Figura 24	Série temporal dos índices de extremos climáticos (DCS (a), DCU (b), R99P (c) e R50mm (d)), para o oeste da bacia do Una, PE, no período de 1965 a 2006.....	78
Figura 25	Distribuição espacial das tendências da precipitação total anual (PRCPTOT) na bacia do Una, PE.....	79
Figura 26	Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos secos (DCS) em dias ano ⁻¹ na bacia do Una, PE.....	79
Figura 27	Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos úmidos (DCU) em dias ano ⁻¹ , na bacia do Una, PE.....	80
Figura 28	Distribuição espacial da tendência de dias extremamente úmidos (R99p) para a bacia do Una, PE.....	81
Figura 29	Distribuição espacial da tendência na ocorrência dias com precipitações iguais ou superiores a 50 mm, na bacia do Una, PE.....	81
Figura 30	Distribuição espacial do excedente hídrico médio anual na bacia do Una, PE.....	83
Figura 31	Distribuição espacial do déficit hídrico médio anual na bacia do Una, PE....	83

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 1 Municípios da bacia do Una, PE, que dispunham de dados pluviométricos no período de 1965 a 2006.....	48
Tabela 2 Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, com suas definições e unidades.....	52
Tabela 3 Classificação dos anos secos e chuvosos de acordo com os índices de seca.	54
Tabela 4 Classificação do IOS para quantificar a intensidade do ENOS.....	55
Tabela 5 Classificação climática com base nos índices de aridez (PNUMA, 1991)....	59
Tabela 6 Classificação dos anos de El Niño, La Niña e Neutros com base no IOS.....	65
Tabela 7 Resumo da classificação pluviométrica anual para a bacia do Una, PE durante as fases do ENOS e anos Neutros e sua relação com a ODP.....	67
Tabela 8 Resumo da classificação da estação chuvosa para o Leste da bacia do Una e sua relação com as fases do ENOS e ODP.....	69
Tabela 9 Resumo da classificação da estação chuvosa para o Oeste da bacia do Una e sua relação com as fases do ENOS e ODP.....	71
Tabela 10 Resumo da atuação do Dipolo, ENOS e a precipitação da estação chuvosa na bacia do Una, PE	73
Tabela 11 Correlações lineares entre os índices de secas anual e estação chuvosa da Bacia e as anomalias de TSMs de janeiro a junho e anual do Pacífico, Atlântico	75
Tabela 12 Correlações lineares entre o índice de seca anual para os anos chuvosos e secos e as anomalias de TSMs nos oceanos Pacífico (N1+2 e N3) e Atlântico Tropical.....	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APAC	Agência Pernambucana de Água e Clima
AT	Atlântico Tropical
ATN	Atlântico Tropical Norte
ATNE	Atlântico Tropical Neutro
ATS	Atlântico Tropical Sul
ATSM	Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
CCI/CLIVAR	International Research Programme on Climate Variability Predictability (Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática)
CPD	Climate Prediction Center
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais ou Serviço Geológico do Brasil
CV	Coeficiente de Variação
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
DCS	Dias Consecutivos Secos
DCU	Dias Consecutivos Úmidos
DD	Dipolo Desfavorável
DDC	Centro de Distribuição de Dados
DF	Dipolo Favorável
DPP	Desvios Padronizados de Precipitação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ETCCDMI	Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas)
ETP	Evapotranspiração Potencial
IA	Índice de Aridez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IODP	Índice de Oscilação Decenal do Pacífico
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPCC	Intergovernmental Painel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
MCGAs	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera
NASA	National Aeronautics & Space Administration (Agência National Aeronáutica e Espacial)
NCDC	National Climate Data Centre
NCEP	Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América
NEB	Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ODP	Oscilação Decenal do Pacífico
OMA	Oscilação Multidecenal do Atlântico
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OS	Oscilação Sul
PB	Estado da Paraíba
PE	Estado de Pernambuco
PNM	Pressão atmosférica ao Nível Médio dos Mares
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRCPTOT	Precipitação Total Anual
R50mm	Número de dias com precipitação igual ou superior a 50mm
R99p	Dias extremamente úmidos
RN	Estado do Rio Grande do Norte
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TMAX	Temperatura máxima
TMIN	Temperatura mínima
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
VCAS	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZM	Zona da Mata

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Latitude
ϕ	Longitude
h	Altitude
T	Temperatura
%	Porcentagem ou porcentagem
Pr	Precipitação
CFCs	Clorofluorcarbonos
CFC-11	Clorofluorcarbono onze
CFC-12	Clorofluorcarbono doze
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
Km ²	Quilômetro quadrado
Km ³ . ano	Quilômetro cúbico por ano
mm	Milímetro
mm.ano ⁻¹	Milímetro por ano
NO	Óxido de Nitrogênio
° C	Graus Celsius
SO ₂	Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO		Pg.
1. INTRODUÇÃO.....		17
1.1. Objetivos.....		20
1.1.1. Objetivo Geral.....		20
1.1.2. Objetivos Específicos.....		20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....		21
2.1. Considerações Climatológicas.....		21
2.1.1. Variabilidade Climática.....		21
2.1.1.1. Variabilidade Temporal.....		22
2.1.2. Mudanças Climáticas.....		23
2.2. Aquecimento global.....		25
2.3. Fenômenos Oceânicos Atmosféricos e a Variabilidade Climática.....		28
2.3.1. El Niño/Oscilação Sul.....		28
2.3.2. La Niña		29
2.3.3. Dipolo do Atlântico.....		32
2.3.4. Variabilidade Interanual da Precipitação sobre o Nordeste do Brasil.....		32
2.3.5. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas.....		34
2.3.6. Ciclo Hidrológico e as Alterações Climáticas.....		35
2.3.7. Impactos das Alterações Climáticas na Agricultura.....		38
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....		40
3.1. Caracterização da Área de Estudo.....		40
3.1.1. Divisão Político Administrativa da Bacia.....		41
3.1.2. Hidrografia.....		42
3.1.3. Uso e Ocupação do Solo.....		42
3.1.4. Impactos nos Recursos Hídricos		43
3.1.5. Economia		43
3.1.6. Topografia.....		44
3.1.7. Geologia e Pedologia		44
3.1.8. Caracterização Climática		44
3.1.9. Sistemas Meteorológico Atuantes em Pernambuco.....		45

3.2. Dados.....	46
3.2.1. Dados Pluviométricos.....	46
3.2.2. Dados de Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar.....	48
3.3. Metodologia.....	49
3.3.1. Roteiro Metodológico.....	50
3.3.2. Cálculos dos Índices de Extremos Climáticos.....	50
3.3.3. Controle de Qualidade dos Dados.....	51
3.3.4. Tratamentos dos Dados Pluviométricos Mensais.....	52
3.3.5. Classificação de Anos com Extremos Climáticos.....	54
3.3.6. Identificação dos Anos com Evidências de ENOS.....	54
3.3.7. Balanço Hídrico Climático.....	55
3.3.7.1. Estimativa de Temperatura Média do ar.....	56
3.3.7.2. Estimativa da Evapotranspiração Potencial.....	56
3.3.8. Classificação Climática.....	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1. Classificação Climática com Base no Índice de Aridez.....	60
4.2. Análise Climatológica da Precipitação Média Anual.....	61
4.3. Avaliação do Regime Pluviométrico da Bacia do Una, PE.....	62
4.4. Análise Temporal da Variabilidade e Tendência Climática.....	63
4.5. Análise Anual das Anomalias de TSM no Oceano Pacífico (N1+2), sua relação com o ENOS, ODP e a Precipitação na bacia do Una, PE.....	65
4.6. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Oceano Pacífico (N1+2), sua relação com o ENOS, ODP e a Precipitação no Leste da bacia do Una, PE...	68
4.7. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Oceano Pacífico (N1+2), sua relação com o ENOS, ODP e a Precipitação no Oeste da bacia do Una, PE...	70
4.8. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical e sua relação com o ENOS, durante a estação chuvosa da bacia do Una, PE....	72
4.9. Análise das Correlações entre as Precipitações na Bacia do Una, PE e as Anomalias de TSMs nos Oceanos Pacífico e Atlântico.....	75
4.10. Análise Temporal dos índices de Detecção de Mudança Climática, Derivados da Precipitação diária para a Bacia do Una, PE.....	76
4.11. Análise Espacial dos índices de Detecção de Mudança Climática,	

Derivados da Precipitação diária para a Bacia do Una, PE.....	78
4.12. Análise da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Una, PE.....	82
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	84
5.1. Conclusões.....	84
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	86
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	87
ANEXO 1.....	95
APÊNDICE A.....	96
APÊNDICE B.....	97
APÊNDICE C.....	98
APÊNDICE D.....	99
APÊNDICE E.....	100
APÊNDICE F.....	101
APÊNDICE G.....	102
APÊNDICE H.....	103
APÊNDICE I.....	104

1. INTRODUÇÃO

A Terra pode ser considerada como um enorme e complexo sistema, dividido em inúmeros subsistemas, dos quais três são evidentes: o atmosférico, o litosférico e o hidrosférico (DREW, 1994). Eles não se superpõem, mas continuamente permutam matéria e energia e funcionam como uma hierarquia de sistemas, todos parcialmente independentes, mas firmemente vinculados. É na área de interação entre esses sistemas que ocorre a vida (a biosfera).

Pode-se considerar o clima como um sistema, que influencia diretamente as plantas, os animais e o solo. Por outro lado, o clima próximo da superfície é influenciado pelos elementos da paisagem, da vegetação e do homem, por meio de suas várias atividades. Em síntese, o clima refere-se à soma de todas as condições atmosféricas ao longo de certo período, para uma região ou para o planeta como um todo. Assim, o clima de uma região é a resposta da interação entre a ação antrópica e vários fatores naturais, como continentalidade, maritimidade, latitude, topografia, presença de corpos hídricos, vegetação e fenômenos oceânico-atmosféricos de grande, meso e micro escala (AYOADE, 1996).

A perturbação no sistema climático pode ser confirmada com base na avaliação da concentração dos gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e clorofluorcarbonos) na atmosfera global, responsáveis pelo aquecimento global. Os gases de efeito estufa compreendem uma classe de gases que podem aprisionar ou reter o calor próximo da superfície da Terra. À medida que aumenta sua concentração na atmosfera, o calor extra que eles retêm colabora para o aquecimento global. Este aquecimento, por sua vez, exerce uma pressão sobre o sistema climático da Terra e pode levar a uma mudança climática (TIM, 2007).

De acordo com o IPCC¹ (2001), o termo mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, quer se deva a variabilidade natural ou decorrente da atividade humana. A variabilidade natural do clima é observada através de oscilações que podem ser cíclicas ou aperiódicas, e pode ser entendida como uma característica intrínseca ao sistema climático terrestre, responsável pelos padrões naturais.

¹ Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

Estudos sobre a variabilidade climática têm mostrado correlação entre os fenômenos oceânicos-atmosféricos de grande escala, como o El Niño (aquecimento das águas superficiais no oceano Pacífico Equatorial), La Niña (resfriamento das águas superficiais no oceano Pacífico Equatorial) e o Dipolo do Atlântico (aquecimento/resfriamento no oceano Atlântico Tropical norte/sul) e a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil (MOURA et al., 2000). Esta variabilidade natural do clima, em especial no comportamento da precipitação e da temperatura do ar, é evidenciada em diversas partes do globo terrestre; em alguns lugares são observadas chuvas intensas, inundações, furacões e ciclones e em outras, secas severas (ARAGÃO, 1986; PHILANDER, 1989).

O quarto relatório sobre as mudanças climáticas do IPCC (2007) aponta para um aumento dos desastres naturais de origem atmosférica, com destaque para as tempestades e os eventos de precipitações intensas nas regiões Sul e Sudeste e intensificação e frequência da seca na região Nordeste e expansão desta para as regiões Norte e Centro Oeste do Brasil. A OMM² considera que os eventos climáticos extremos, tais como furacões, tempestades, inundações e secas, são responsáveis por 75 % das catástrofes, que se traduzem em perdas de milhares de vidas e enormes danos econômicos e sociais aos países. No Brasil, as catástrofes naturais estão relacionadas às chuvas intensas que ocasionam enchentes e às secas que afetam algumas regiões e levam a perdas humanas e econômicas e a restrições no abastecimento de água (MARENGO, 2010).

As enchentes são fenômenos naturais que ocorrem quando a precipitação é elevada e a vazão ultrapassa a capacidade de escoamento. Quando a chuva é intensa e constante, a quantidade de água nos rios aumenta, extravasando para as margens (áreas de várzeas). Com as interferências antrópicas, as inundações são intensificadas em vista de alterações no uso e ocupação da terra, tais como a urbanização, impermeabilização e desmatamento. De acordo com Tucci (2006), as enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade. Esses impactos podem ocorrer devido ao crescente processo de urbanização ou à inundação natural da várzea ribeirinha em decorrência de eventos chuvosos extremos. Na bacia hidrográfica rural, o fluxo é retido pela vegetação, infiltra-se no subsolo e, o que resta, escoar sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados. As enchentes naturais extravasam a sua calha menor, em média, a cada dois anos, ocupando o seu leito maior.

² Organização Meteorológica Mundial

Desse modo, um dos maiores desafios a ser enfrentado por toda a sociedade e, principalmente pelos órgãos governamentais diz respeito ao monitoramento dos extremos climáticos (secas e enchentes) e ao gerenciamento dos recursos hídricos, devido ao aquecimento global, desflorestamentos e uso inadequado das terras. Tais questões merecem investigação, pesquisa, planejamento e acompanhamento de modo a proporcionar os meios necessários para o enfrentamento de uma nova realidade em decorrência das alterações climáticas.

Nos últimos anos, as chuvas intensas na bacia do Una, em Pernambuco, ocasionaram enchentes com destruição total ou parcial das vias de acesso, hospitais, comércios, e residências resultando em perdas humanas, econômicas e ambientais. Deste modo, o conhecimento atualizado das condições climáticas, principalmente no que se referem às tendências de alterações no clima local é de suma importância, tendo em vista que estas condições influenciam diretamente na disponibilidade dos recursos hídricos e no desenvolvimento econômico. Neste contexto, pretende-se nesta pesquisa investigar as condições climáticas atuais, a tendência de eventos climáticos extremos e o balanço hídrico climatológico da bacia do rio Una. O resultado desta pesquisa pode servir como suporte para subsidiar os órgãos tomadores de decisão em Pernambuco, no que diz respeito ao planejamento e ao gerenciamento dos recursos hídricos, através do controle e prevenção de enchentes e inundações.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar a variabilidade e as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas definidos pela OMM, calcular o balanço hídrico climático e analisar o déficit e o excedente hídrico, na bacia hidrográfica do rio Una, em Pernambuco.

1.1.2. Objetivos específicos:

- ✓ Analisar o comportamento da precipitação anual, mensal e diária;
- ✓ Avaliar o regime pluviométrico e identificar as áreas climáticas mais vulneráveis à ocorrência de secas e de inundações;
- ✓ Analisar a variabilidade da precipitação pluviométrica anual e semestral (a estação chuvosa: março a agosto) e sua relação como ENOS³, ODP⁴ e Dipolo do Atlântico;
- ✓ Aferir a evolução temporal da variabilidade climática e as tendências climáticas;
- ✓ Estimar as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas (precipitação anual, dias consecutivos secos e úmidos, dias extremamente úmidos e o número de dias anuais com precipitações iguais e superiores a 50 mm);
- ✓ Avaliar a disponibilidade hídrica por meio do balanço hídrico climático;

³ El Niño Oscilação Sul

⁴ Oscilação Decenal do Pacífico

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Considerações Climatológicas

Os relatórios de avaliação sobre mudanças climáticas divulgadas pelo IPCC mostram que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está evidenciado pelos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, pelo derretimento generalizado da neve e do gelo e pela elevação do nível médio do mar (IPCC, 2007).

2.1.1. Variabilidade Climática

De um modo geral, o clima de um local ou região varia ao longo do ano em função do movimento de translação da terra (origem das quatro estações) e do processo de interação ou conexões entre os oceanos e a atmosfera, acarretando alterações nos padrões da circulação geral da atmosfera (AYOADE, 1996).

A região Nordeste do Brasil (NEB) é caracterizada por vários tipos de variabilidades climáticas, nas escalas espacial e temporal. A variabilidade pluviométrica pode ser medida na escala diária, mensal, sazonal, intrasazonal, interanual e interdecenal, principalmente na região semiárida onde os fatores climáticos exercem grande influência no comportamento das precipitações pluviais (KOUSKY, 1980; NOBRE & MELO, 2001).

Segundo Conti (1995), o comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para o outro e mesmo de uma década para outra, podendo-se observar flutuações a curto, médio e longo prazo. Alguns termos são usados para designar cada modalidade de variação no comportamento do clima: oscilação, flutuação, tendência, variabilidade, etc. Neste contexto, consideraram-se alguns termos que serão usados no decorrer da pesquisa:

- a. Oscilação climática - flutuações onde se registram máximas e mínimas sucessivas.
- b. Flutuações climáticas – qualquer mudança que se expresse por duas máximas (ou mínimas) e uma mínima (ou máxima) observada no período de registro.
- c. Tendência climática - refere-se ao aumento ou diminuição lenta dos valores médios ao longo da série de dados de, no mínimo, três décadas, podendo ou não ocorrer de forma linear.
- d. Variabilidade climática - é a maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expresso através de desvio-padrão.

2.1.1.1. Variabilidade Temporal

De acordo com Tucci (2003), a escala temporal depende da ação antrópica e da variabilidade climática. Os efeitos podem ser observados dentro de uma escala de percepção humana ou apenas com base em medidas de sua ocorrência, a saber:

a. Variabilidade de curto prazo ocorre num evento chuvoso de minutos, horas ou poucos dias e que caracterizam a inundação que afeta a população e os sistemas hídricos, como os reservatórios.

b. Variabilidade sazonal (dentro do ano) define o ciclo de ocorrência dos períodos úmidos e secos no qual a população e os usuários da água procuram conviver com tal realidade. Dentro deste contexto está o ciclo de culturas agrícolas, alterações da paisagem e vegetação conforme a disponibilidade de umidade do solo.

c. Variabilidade interanual de curto prazo (período de 2 a 3 anos) é o tipo de variabilidade que está dentro da capacidade de percepção da população. É a condição crítica dos sistemas hídricos existentes no semiárido brasileiro.

d. Variabilidade decadal (dezenas de anos), atua fortemente sobre as condições climáticas do globo.

Em termos gerais, climatologicamente, é quase impossível delimitar a abrangência espacial da atuação dos fenômenos meteorológicos, pois eles são dinâmicos e são influenciados pelas condições locais e remotas. Sendo assim, a variabilidade espacial dos efeitos climáticos é um dos desafios do conhecimento hidrológico atual, pois é difícil quantificar os processos nas diversas escalas espaciais.

2.1.2. Mudança Climática

O impacto das mudanças climáticas sobre os ecossistemas e as atividades humanas vem preocupando a sociedade e a comunidade científica e, por esta razão, as Nações Unidas, através do PNUMA⁵ e a OMM criaram, em 1988 o IPCC. Ele é a principal fonte de assessoramento científico sobre a mudança climática para subsidiar os governos quanto às medidas a serem adotadas para minimizar os impactos e adotar ações para combatê-la. O primeiro relatório de avaliação do IPCC foi finalizado em 1990 e serviu de base para as negociações da CQNUMC⁶, realizada no Rio de Janeiro em 1992, que também ficou conhecida como RIO-92.

O sistema climático terrestre é bastante complexo e muito resta a ser compreendido pelos cientistas com relação à magnitude, tempo e impactos das mudanças climáticas. O planeta todo sofrerá com tais mudanças, mas, certamente, as populações mais pobres dos países mais vulneráveis são as mais suscetíveis aos impactos negativos (MARENGO, 2007).

Estudos sobre variações e mudanças climáticas indicam que essas alterações no clima são decorrentes de fatores naturais ou antrópicos. Entre as causas naturais na escala interanual destacam-se os fenômenos oceânico-atmosféricos tipo El Nino, La Niña e Dipolo do Atlântico; na escala interdecenal têm-se a ODP e a OMA⁷; e em escala geológica (muito longo prazo) citam-se os períodos glaciais e interglaciais decorrentes dos ciclos de Milankovitch. Em relação às causas antrópicas destacam-se: os desmatamentos, as queimadas, as emissões de gases para atmosfera, as mudanças do uso da terra, os projetos de irrigação e as construções de barragens (MARENGO & DIAS, 2006).

Segundo IPCC (2001), mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima ocorrido ao longo do tempo, quer se deva a variabilidade natural, ou decorrente da atividade humana. Por outro lado, a CQNUMC refere-se à mudança climática como sendo uma mudança no clima que seja atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição química da atmosfera global, e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo.

⁵Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

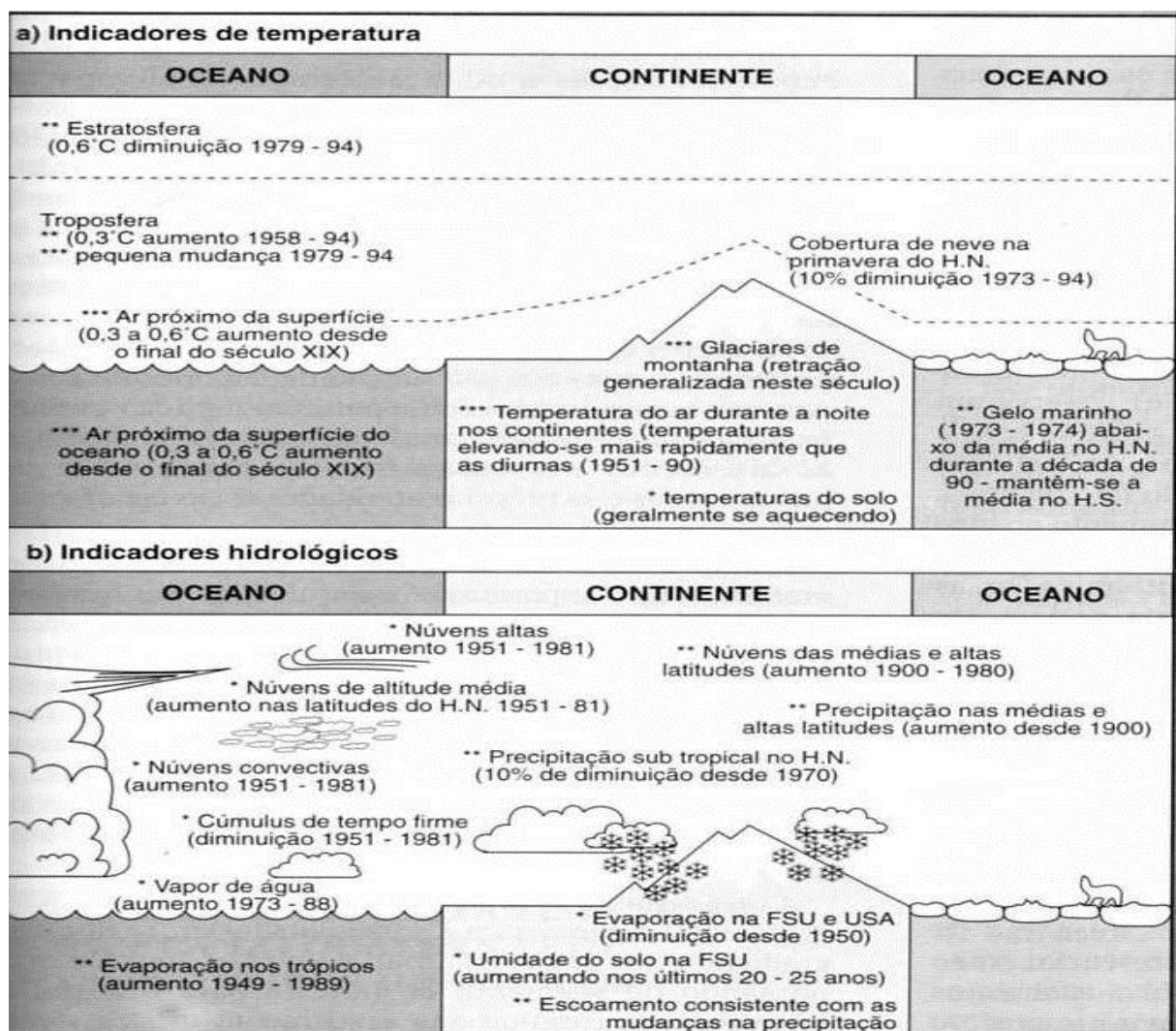
⁶Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima

⁷Oscilação Multidecenal do Atlântico.

Segundo Conti (1995), o termo mudança climática refere-se a toda e qualquer manifestação de inconstância climática, independente de sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas.

A Figura 1 mostra o quadro das mudanças climáticas, com base nas informações instrumentais, com destaque para os indicadores da temperatura e do ciclo hidrológico para as condições continentais e oceânicas. As observações mostram aquecimento ao longo do século XX, acompanhado por alterações no ciclo hidrológico. O aquecimento não pode ser atribuído apenas ao processo de uso da terra e urbanização, pois também é encontrado nas temperaturas do oceano (NICHOLLS et al., 1996 apud CRISTOFOLETTI, 1999).

Figura 1. Esquemas representativos das variações observadas sobre os indicadores das temperaturas e dos hidrológicos, nos continentes e nos oceanos.



Legenda: H.N (Hemisfério Norte) e H.S (Hemisfério Sul).

Fonte: NICHOLLS et al., 1996 apud CRISTOFOLETTI (1999).

2. 2. Aquecimento global

Segundo Christofolletti (1999), a ação antropogênica tem favorecido a emissão de gases de efeito estufa que, além de contribuírem para o aquecimento global, repercutem na composição química da atmosfera, contaminando a baixa camada da atmosfera. Em decorrência disto, alteram a qualidade do ar, tendo consequência nas circunstâncias de vida dos seres humanos, animais e plantas. Alteram-se os rendimentos da fotossíntese, respiração e evapotranspiração e o metabolismo e, conseqüentemente, surge o fenômeno da poluição afetando a saúde dos seres vivos e criando condições para a intensificação de doenças.

De acordo com o IPCC (2001), o aquecimento global climático de grande escala corresponde ao aumento da temperatura média superficial global nos últimos 150 anos. As causas deste fenômeno têm sido atribuídas ao crescimento populacional, industrialização, urbanização, atividades agrícolas e pastoris, desmatamento, queimadas e o uso intensivo de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral). Os principais gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrogênio (N_2O), dióxido de enxofre (SO_2) e clorofluorcarbonos (CFCs, CFC-12 e CFC-11).

Os cenários de aquecimento global e mudanças climáticas são obtidos a partir de simulações das condições atmosféricas por meio de MCGAs⁸, que consistem em formulações matemáticas dos processos atmosféricos e das superfícies terrestre e oceânica, baseadas nos princípios físicos clássicos da hidrodinâmica. Estes modelos são ferramentas com grande potencial para o estudo das mudanças climáticas que poderiam advir do aumento da concentração de gases atmosféricos do efeito estufa, bem como de outros fatores naturais ou antropogênicos. Os MCGAs são capazes de simular cenários climáticos futuros da variação de temperaturas e das chuvas em decorrência das mudanças climáticas. Ressalta-se, porém, as limitações desses modelos em relação à resolução espacial, bem como a descrição da dinâmica da atmosfera, pois as equações descrevem o comportamento médio da atmosfera.

Azevedo (1999) utilizou resultados do modelo do Hadley Center HadCM3 (IPCC/DDC) em um estudo de sensibilidade, referentes a cenários futuros de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, para a bacia hidrográfica do rio São Francisco e os resultados da análise apontaram que haverá aumento na temperatura do ar de até 5°C, sendo

⁸ Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

1,1°C para o período 2010 a 2039, 2,4°C de 2040 a 2069 e até 4,2°C de 2070 a 2099. A precipitação deverá variar mais ou menos 20 % nos períodos úmidos e secos.

Ainda de acordo com o IPCC (2001), a principal evidência do aquecimento global vem das medidas de temperatura de estações meteorológicas em todo o globo terrestre desde 1850. Os dados com a correção dos efeitos de “ilhas urbanas” mostram que o aumento médio da temperatura foi de ± 0.6 °C durante o século XX, que foi o mais quente do milênio. Os maiores aumentos foram em dois períodos: 1910 a 1945 e 1976 a 2000. Ressalta-se que estes períodos são coincidentes com a fase quente da ODP.

Por outro lado, Molion (2001) ressaltou que entre 1920 e 1945 a temperatura aumentou em torno de 0,37 °C, enquanto entre 1945 e 1978 diminuiu cerca de 0,14 °C e entre 1978 e 1999 voltou a aumentar 0,32 °C. O primeiro período de aquecimento coincide com o período em que a atividade vulcânica foi mais fraca nos últimos 400 anos. Neste período, o albedo planetário diminuiu e a Terra se aqueceu. O segundo período de aquecimento (1978 a 1999) tem ocasionado polêmica, pois não foi constatado em todas as partes do mundo e pode não ter sido real, mas sim, resultado de outras influências, como as mudanças no uso de instrumentos meteorológicos, falta de manutenção destes instrumentos, alterações no meio ambiente ou na área circunvizinha das estações meteorológicas ou até mudanças de endereço. Molion (2001) ressaltou ainda que se os resultados das previsões feitas pelos MCGAs fossem considerados, o aumento de 25 % na concentração de CO₂ na atmosfera, ocorrido nos últimos 150 anos, já teria ocasionado um incremento na temperatura média da terra entre 0,5 e 2,0 °C. Porém, observa-se que os desvios da temperatura média global do ar próximo à superfície, com relação à média do período de 1961 a 1990, aumentaram apenas cerca de 0,56 °C desde 1850.

Com o aquecimento global, esperam-se cenários de climas mais extremos, com secas, inundações e ciclones tropicais, em algumas áreas isoladas podem ocorrer ondas de calor e de frio. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas (MARENGO, 2006).

As principais conclusões do quarto relatório do IPCC (2007) sugerem com margem de confiança acima de 90 % que o aquecimento global dos últimos 50 anos é causado pelas atividades humanas. O aumento global da concentração de dióxido de carbono ocorre principalmente devido ao uso de combustível fóssil e à mudança no uso da terra, enquanto o

aumento da concentração de metano e de óxido nitroso ocorre principalmente devido à agricultura.

De acordo com o quarto relatório (IPCC, 2007), onze dos últimos doze anos antes de 2006 estavam entre os 12 anos mais quentes desde o primeiro registro instrumental da temperatura da superfície terrestre (desde 1850). De 2007 até o presente as temperaturas continuaram elevadas, sendo 2010 o ano mais quente, desde o início dos registros instrumentais, com temperatura de 0,67 °C acima da média. A tendência linear no período de 100 anos (1906 a 2005) é de 0,74 °C, com aquecimento de 0,56 °C a 0,92 °C, e mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000 de 0,6 °C, cujo aquecimento foi de 0,4 °C a 0,8 °C. A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos é de 0,13 °C e o aquecimento foi de 0,10 °C a 0,16 °C por década; isto representa quase o dobro do aquecimento dos últimos 100 anos.

Ainda de acordo com o IPCC (2007), o aumento da temperatura do planeta continuará numa taxa de 0,2 °C por década, independente do cenário de emissões de gases de efeito estufa, podendo a temperatura média global subir de 2 °C a mais de 4 °C até o final do século XXI. O nível médio do mar pode se elevar entre 28 cm e 59 cm, com o risco de alcançar mais de 100 cm se for acelerada a tendência de degelo das grandes massas de gelo da Groelândia. Ainda de acordo com o mesmo relatório, os modelos globais têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode subir entre 1,4 °C e 5,8 °C, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes, pelo menos, nos últimos 10.000 anos.

No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75 °C até o final do século XX, com média anual de 24,9 °C, na série histórica de 1961 a 1990, sendo 1998 o ano mais quente. Ao nível nacional, de 1951 a 2002, as temperaturas mínimas aumentaram em todo o país, em até 1,4 °C por década, enquanto as temperaturas máximas e médias aumentaram em até 0,6 °C por década em quase todo o país (MARENGO, 2006).

Segundo Marengo (2010), algumas consequências notáveis do aquecimento global já foram observadas, como o derretimento de geleiras nos polos e o aumento de dez centímetros no nível do mar em um século. A frequência de eventos extremos também aumentou em diversas partes do mundo, como as enchentes e ondas de calor na Europa em 2002 e 2003, os invernos intensos na Europa e na Ásia nos últimos anos. No Brasil, podem-se destacar eventos climáticos extremos como o furacão Catarina em 2004, as secas no Sudeste em 2001, no Sul em 2004 e na Amazônia em 2005.

De acordo com a CPRM⁹ (2013) observou-se chuvas intensas na Amazônia em 2009 e 2012, onde as cotas registradas no rio Negro em Manaus foram consideradas as mais elevadas (29,77 m) em 2009 desde 2002, e em 2012 registrou-se outro recorde no nível máximo das cotas (29,97 m), sendo a maior enchente registrada nos últimos cem anos. Enquanto, em 2010 registrou-se uma das maiores secas na Amazônia, onde o nível d'água do dia 24/10/2010, no rio Negro, atingiu 13,63 m tornando-se a maior vazante registrada na série histórica de 108 anos, superando a vazante de 1963, cujo nível d'água havia atingido 13,64 m (CPRM, 2010). Por outro lado, em 2012 verificou-se uma das maiores secas no Nordeste brasileiro, sendo considerada como uma das piores dos últimos 50 anos causando perdas humanas e econômicas, em Pernambuco, a situação foi ainda mais crítica tendo em vista que os dois anos anteriores a 2012 as precipitações foram bastante irregulares (APAC, 2013).

2.3. Fenômenos Oceânicos-Atmosféricos e a Variabilidade Climática

Fenômenos atmosféricos de grande escala como o El Niño, La Niña e o Dipolo do Atlântico influenciam diretamente nas condições climáticas globais, regionais e locais e, conseqüentemente, na disponibilidade hídrica na região semiárida (ARAGÃO, 1990; SOUZA et al, 1999; MOURA et al, 2000). Em relação às oscilações decenais, as influências delas sobre o regime de chuvas no Nordeste ainda são desconhecidas.

2.3.1. El Niño /Oscilação Sul

O ENOS ou “El Niño Southern Oscillation” (ENSO) caracteriza tanto a ocorrência do El Niño (EN) como o La Niña e está associado a duas variáveis, uma delas corresponde à anomalia de temperatura da superfície do mar (ATSM) das águas do oceano Pacífico Tropical, na região compreendida entre as coordenadas de latitude 5° S a 5° N e longitude 90° a 150° W e a outra à pressão atmosférica ao nível médio do mar, e está relacionado à Oscilação Sul (OS) na mesma região oceânica. O ENOS pode ser entendido como a interação entre o oceano e a atmosfera e possui características que alteram o padrão de circulação da atmosfera que causam mudanças no comportamento dos ventos alísios e induz anomalias climáticas em escala mundial (PHILANDER, 1989).

⁹ Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais

O ENOS pode ser medido por meio do Índice de Oscilação Sul (IOS). Este parâmetro constitui um indicativo da intensidade com a qual o fenômeno se manifesta e pode ser avaliado por meio do cálculo das anomalias normalizadas das pressões atmosféricas entre a região do Taiti (Oceania) e de Darwin (Austrália).

O El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas no oceano Pacífico tropical. Em anos de El Niño ocorre uma inversão na direção dos ventos alísios e a célula de circulação (Walker) sobre o oceano Pacífico divide-se em duas e desloca-se para o leste em relação a sua posição média. Em anos normais, a circulação observada sobre o oceano Pacífico caracteriza-se por movimentos ascendentes na parte central e oeste e por movimentos descendentes no oeste da América do Sul. Na condição de El Niño, há redução dos movimentos conectivos e, conseqüentemente, nas precipitações sobre o Norte e o Nordeste do Brasil. Por outro lado, forma-se um bloqueio na parte centro-sul do Brasil que impede o avanço das frentes frias, que ficam semi-estacionárias no sul do Brasil, aumentando assim, os níveis de chuva nesta região (KOUSKY & CAVALCANTI, 1984; BERLATO & FONTANA, 2003).

2.3.2. La Niña

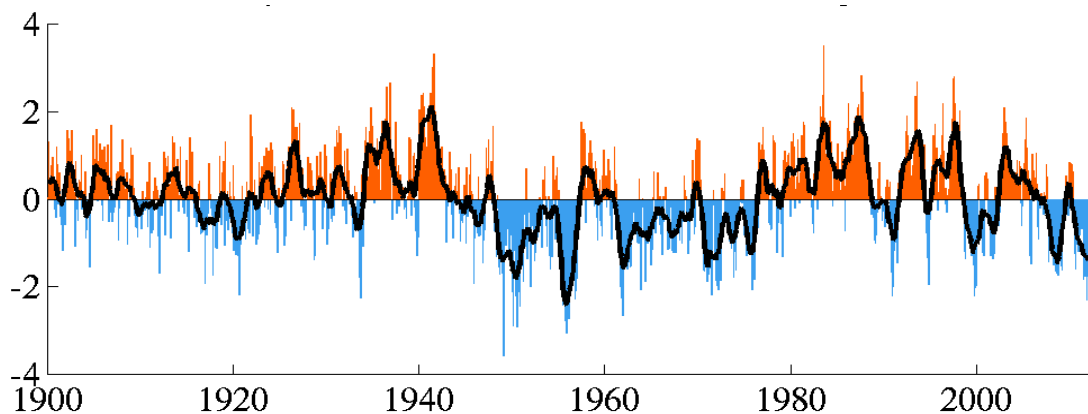
Refere-se ao fenômeno caracterizado pelo resfriamento das águas do oceano Pacífico tropical sendo o oposto do El Niño. Durante a La Niña os ventos alísios tornam-se intensos e transportam as águas aquecidas da superfície do oceano Pacífico em direção à parte oeste. Como consequência, ocorre a ressurgência de águas frias na parte central e leste do Pacífico o que propicia temperaturas da superfície do mar abaixo da normal. Na condição de La Niña, há favorecimento no avanço das frentes frias, que atingem as regiões Norte e Nordeste brasileiro, provocando chuvas acima do normal para essas regiões. Na região Sul, no entanto, as chuvas são reduzidas, já que as frentes passam rapidamente pela região, durante os períodos de La Niña ocorrem diminuição da temperatura do ar nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (PHILANDER, 1989; ARAGÃO, 1996; BERLATO & FONTANA, 2003).

De acordo com Mantua et al. (1997), as TSMs do oceano Pacífico apresentam uma configuração com variações de prazo mais longo, semelhante ao ENOS, chamada de ODP. Os eventos ODP persistem por um período de 20 a 30 anos (Figura 2), enquanto, os ENOS por períodos de 6 a 18 meses. Do mesmo modo que o ENOS, a ODP apresenta duas fases. A fase fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, simultaneamente,

anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. A fase quente apresenta anomalias de TSM positiva no Pacífico Tropical e anomalias negativas de TSM no Pacífico Extratropical de ambos os hemisférios. Mantua et al. (1997) definiu um índice (IODP) para identificar a fase e a intensidade da ODP. Este índice baseia-se na componente principal do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas das anomalias de TSM ao norte de 20 °N no Pacífico. Quando o IODP é positivo ou regime quente, prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico tropical e leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico norte; para IODP negativo, o padrão de TSM apresenta configuração inversa. Para se distinguir às fases positiva e negativas da ODP foram usadas, respectivamente, as siglas ODP (+) e ODP (-).

Mantua et al. (1997) comparando o IODP com o IOS, durante o período de 1900 a 2000, notaram que durante a ODP (+) (1925-1946 e 1977-2000) houve uma maior ocorrência de El Niños, enquanto que na ODP (-) (1910-1924 e 1947-1976) observou-se um maior número de La Niñas, e no período 1910-1924 a ODP não ficou bem definida. Isto mostra que a ODP pode atuar de forma construtiva para a ocorrência de El Niños ou La Niñas (Figura 2). Ressalta-se que de 2000 a 2012 não foi observado evento intenso do El Niño, no entanto observou-se uma La Niña forte no período de setembro/2010 a janeiro de 2012.

Figura 2. Distribuição temporal dos Índices anuais de Oscilação Decenal do Pacífico.



Legenda: amarelo (fase quente da ODP) e azul (fase fria da ODP).

Fonte: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>.

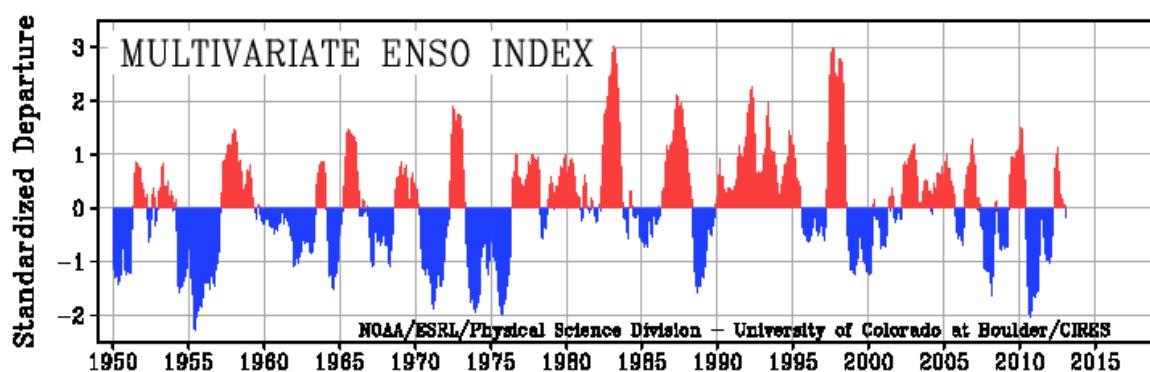
Conforme Molion (2005), a ODP pode ser considerada como um ENOS de longo prazo, ou seja, período em que a frequência do El Niño é maior, com predomínio da fase quente e período em que a La Niña com predomínio da fase fria é mais frequente. No século

passado, a ODP (Figura 2) apresentou uma fase quente entre 1925 e 1946 (22 anos), seguida por uma fase relativamente mais fria até 1976 (30 anos) e uma nova fase quente até 1998 (22 anos).

De acordo com Molion (2005), as condições de variação anual e decadal das precipitações impõem incertezas no comportamento da natureza do semiárido, sendo que estes padrões de variação local e regional estão associados a outros padrões de variações de escala global que, periodicamente, se alternam através de fenômenos como ENOS. Além destes eventos, há também estudos que indicam padrões de oscilações no comportamento das águas do oceano Atlântico, através do Dipolo Térmico que também se apresentam quentes e frias.

Wolter & Timlin (2011) fizeram estudo por meio do método de análise de componentes principais com seis variáveis climáticas observadas no período de 1950 a 2010, na região do Pacífico tropical, para obtenção do índice multivariado do ENOS (Figura 3). Como este índice envolve variáveis atmosféricas e oceânicas o seu cálculo é feito de forma bimestral (Dez/Jan, Jan/Fev, Fev/Mar,..., Nov/Dez). Os resultados mostraram a intensidade e a frequência da atuação do ENOS, com destaque na predominância de eventos La Niña no período de 1950 a 1976, em contraste com a alta frequência de eventos severos de El Niño entre 1977 e 1998.

Figura 3. Índices bimestrais multivariados do ENOS, no período de 1950 a 2011, no oceano Pacífico Equatorial.



Legenda: Picos em vermelho (fase positiva do ENOS=El Niño) e picos em azul (fase negativa do ENOS=La Niña). Fonte: http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_MEI.html.

2.3.3. Dipolo do Atlântico

O Dipolo do Atlântico é caracterizado por mudanças anômalas na temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico Tropical. Esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera (célula de Hadley) e inibe ou aumenta a formação de nuvens sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África, diminuindo ou aumentando a precipitação. Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Tropical Sul mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas nestas regiões (MOURA & SHUKLA, 1981; UVO & NOBRE, 1989) Isto foi observado em 2010, ano em que as anomalias de TSM estavam positivas no Atlântico tropical Norte e negativas no Sul, condição em que favoreceu a ocorrência de seca no semiárido do NEB.

Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens e aumentando a precipitação e provocando chuvas abundantes e até enchentes, em muitas ocasiões. Os períodos de duração das secas e enchentes vão depender do período de atuação, duração, intensidade e cobertura do ENOS e do Dipolo do Atlântico. Os episódios podem ser considerados muito fracos, fracos, moderados e fortes, dependendo do valor das anomalias das temperaturas observadas na superfície do mar, da extensão e do período de atuação (ARAGÃO, 1990).

2.3.4. Variabilidade Interanual da Precipitação sobre o Nordeste do Brasil

A variabilidade interanual da precipitação (anos secos intercalados por anos chuvosos) registrada sobre o Nordeste brasileiro é um dos fatores limitantes ao desenvolvimento econômico e manutenção dos ecossistemas. A variação dos totais pluviométricos anuais por meio de secas ou enchentes decorrentes de redução ou aumento das chuvas acarretam prejuízos irreparáveis, pois controlam todo um conjunto de atividades, a começar pelas agrícolas e hidrológicas das quais tantas outras dependem (RAO et al., 1993; SOUZA et al., 1999; 2004).

De acordo com Sansigolo (2002), a seca é um fenômeno climático regional causado pelo déficit de precipitação em relação aos volumes médios climáticos. É caracterizada pela sua duração, magnitude, extensão e severidade que podem ser entendidas por meio de quatro definições que tem como base as condições meteorológicas, hidrológicas, agrícolas e econômicas. Deste modo tem-se: a seca meteorológica que se refere à precipitação abaixo das normais esperadas (média climatológica); seca hidrológica refere-se aos níveis dos rios e reservatórios abaixo do normal; seca agrícola refere-se à deficiência na umidade do solo para suprir a demanda hídrica das plantas e a seca econômica que ocorre quando o déficit de água induz a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, etc.) devido ao volume inadequado, a má distribuição das chuvas, ao aumento no consumo, ou ainda ao mau gerenciamento dos recursos hídricos.

A frequência nos processos dinâmicos entre os oceanos e a atmosfera contribui diretamente para a variabilidade climática em diversas escalas de tempo, afetando assim a distribuição temporal e espacial da precipitação sazonal, interanual e interdecenal no Nordeste brasileiro. Diversos trabalhos científicos sobre a precipitação e as ATSMs têm mostrado correlações entre os fenômenos El Niño, La Niña e o Dipolo do Atlântico e a qualidade da estação chuvosa sobre a Região (ARAGÃO, 1986; ALVES et al., 1997; SOUZA et al., 1999).

As variações nos padrões de TSMs sobre os oceanos tropicais, especialmente sobre o Atlântico, favorecem o deslocamento e a intensidade da ZCIT, principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas no norte do Nordeste, ocasionando acréscimo ou redução nos totais pluviométricos (HASTENRATH & HELLER, 1977; MOURA & SHUKLA, 1981; HASTENRATH, 1984)

Alves et al. (1997) investigaram a variabilidade espacial da precipitação e de sua intensidade de 1914 a 1985, sobre o setor leste do Nordeste, durante os meses de abril a julho, em associação aos eventos ENOS. Eles constataram que a variabilidade interanual da precipitação tem um predomínio de chuvas abaixo da média durante a primeira metade do século, e que as chuvas estiveram acima da média na maioria dos anos a partir da década de 50. Assim, os autores constaram que a ocorrência do ENOS afeta a distribuição da precipitação ano a ano, bem como sua irregularidade entre as décadas.

Moura et al. (2000) compararam a variabilidade pluviométrica sobre o setor leste do Nordeste brasileiro com as anomalias de TSM do oceano Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico (área do ENOS). Eles constataram que esses episódios influenciam diretamente no comportamento das chuvas em toda a costa leste do Nordeste brasileiro.

Souza et al. (1999) analisaram o comportamento da precipitação em Pernambuco durante o ano de 1998, compararam com a média climatológica e identificaram redução de até 50 % nos totais anuais, em praticamente todas as mesorregiões (Sertão, Agreste, Zona da Mata e Litoral) em decorrência da atuação do ENOS (1997-1998) que apresentou anomalias positiva de TSM de até 5 °C, sendo considerado como um dos eventos mais forte do século.

Nobre & Melo (2001) realizaram um estudo sobre a variabilidade temporal das chuvas sobre o Nordeste brasileiro, de 1998 a 2000, e concluíram que as interações entre circulações atmosféricas de escala planetária, tais como o ENOS, padrão de Dipolo sobre o Atlântico e oscilações atmosféricas sazonais influenciam a quantidade e qualidade da precipitação diária e mensal na Região.

2.3.5. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas

Estudos sobre a variabilidade e tendências climáticas por intermédio da análise dos índices de detecção de mudanças climáticas têm mostrado tendência à ocorrência de extremos climáticos, ou seja, frequência de chuvas intensas, e por outro lado, frequência de dias consecutivos sem chuvas. Os extremos climáticos podem ser definidos pela ocorrência de valores de parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura do ar, vento, etc.) superiores ou inferiores a média de referência, ou em relação a um valor crítico. A caracterização climática de um local ou região é feita a partir do estudo de uma série histórica com registros ininterruptos com 30 anos de observações de parâmetros meteorológicos, conforme recomendação da OMM. Para melhor definir e caracterizar as mudanças climáticas, a OMM criou um grupo de trabalho que elaborou um conjunto de 27 índices de detecção de mudanças climáticas dos quais 11 são decorrentes da precipitação pluviométrica e 16 da temperatura do ar (ZHANG et al., 2005).

Santos & Brito (2007) analisaram as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas para o Rio Grande do Norte (RN) e a Paraíba (PB) e constataram forte correlação entre os índices extremos de precipitação diária e as TSMs no Pacífico equatorial, coerente com a atuação do evento El Niño, e no oceano Atlântico, coerente com a atuação do dipolo. Eles observaram aumento no número de dias consecutivos com chuvas e também localidades com diminuição nos dias consecutivos sem chuvas.

De acordo com Souza & Azevedo (2012), os índices de detecção de mudanças climáticas apresentaram a ocorrência de extremos climáticos no Recife (PE), com aumento na

frequência de eventos de precipitação pluvial diária superiores a 100 mm, principalmente a partir da década de 80.

2.3.6. Ciclo Hidrológico e as Alterações Climáticas

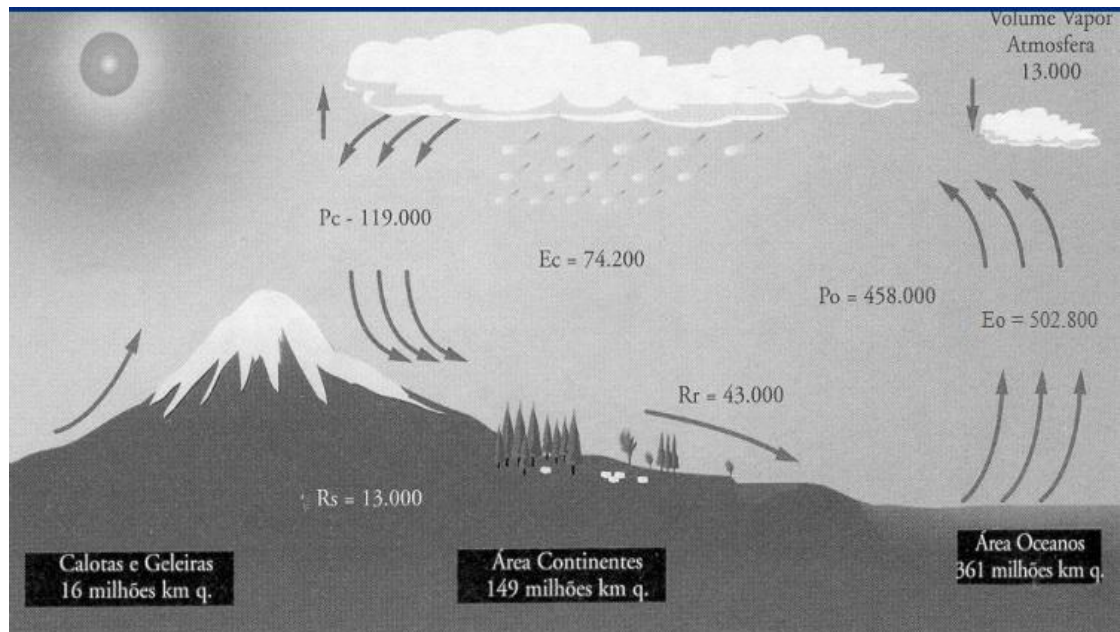
A partir da década de 80, preocupações com as questões ambientais e climáticas, os recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável, entre outros temas, vêm sendo abordados em Conferências Mundiais, com o objetivo de despertar a consciência dos órgãos tomadores de decisões e à população em geral para o uso adequado e racional dos recursos naturais, especialmente dos recursos hídricos.

A água é irregularmente distribuída, 97,5 % do volume total formam os oceanos e mares e somente 2,5 % são de água doce. A maior parcela dessa água doce (68,9 %) forma as calotas polares, as geleiras e neves eternas que cobrem os cumes das montanhas mais altas do planeta e 29,9 % constituem as águas subterrâneas doces. A umidade dos solos e as águas dos pântanos representam 0,9 % do total e a água doce dos rios e dos lagos corresponde a 0,3 % (REBOUÇAS, 2006).

O ciclo da água na Terra é acionado pela energia térmica de origem solar e pela gravidade, formando um gigantesco mecanismo de evaporação, condensação e precipitação das águas da terra. O ciclo todo é caracterizado por um fluxo permanente de energia e matéria ligando o ciclo das águas, das rochas e da vida. Esta visão sistêmica reúne os conhecimentos da geologia, hidrologia, biologia, meteorologia, física, química e áreas afins (REBOUÇAS, 2006).

O ciclo hidrológico retira água das superfícies oceânicas e terrestres por meio da evaporação, utilizando 36 % de toda a energia solar absorvida pela terra (TUCCI, 2003). Segundo Shiklomanov (1998), um volume da ordem de $577.000 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ é transformado em vapor de água, que sobe à atmosfera, sendo $502.800 \text{ mil km}^3 \text{ ano}^{-1}$ evaporados dos oceanos e $74.200 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ das terras emersas. A quantidade de água que cai, principalmente na forma de chuva, neve e neblina, representa $458 \text{ mil km}^3 \text{ ano}^{-1}$ nos oceanos e $119 \text{ mil km}^3 \text{ ano}^{-1}$ nos continentes (Figura 4).

Figura 4. Componentes do ciclo hidrológico no Globo terrestre

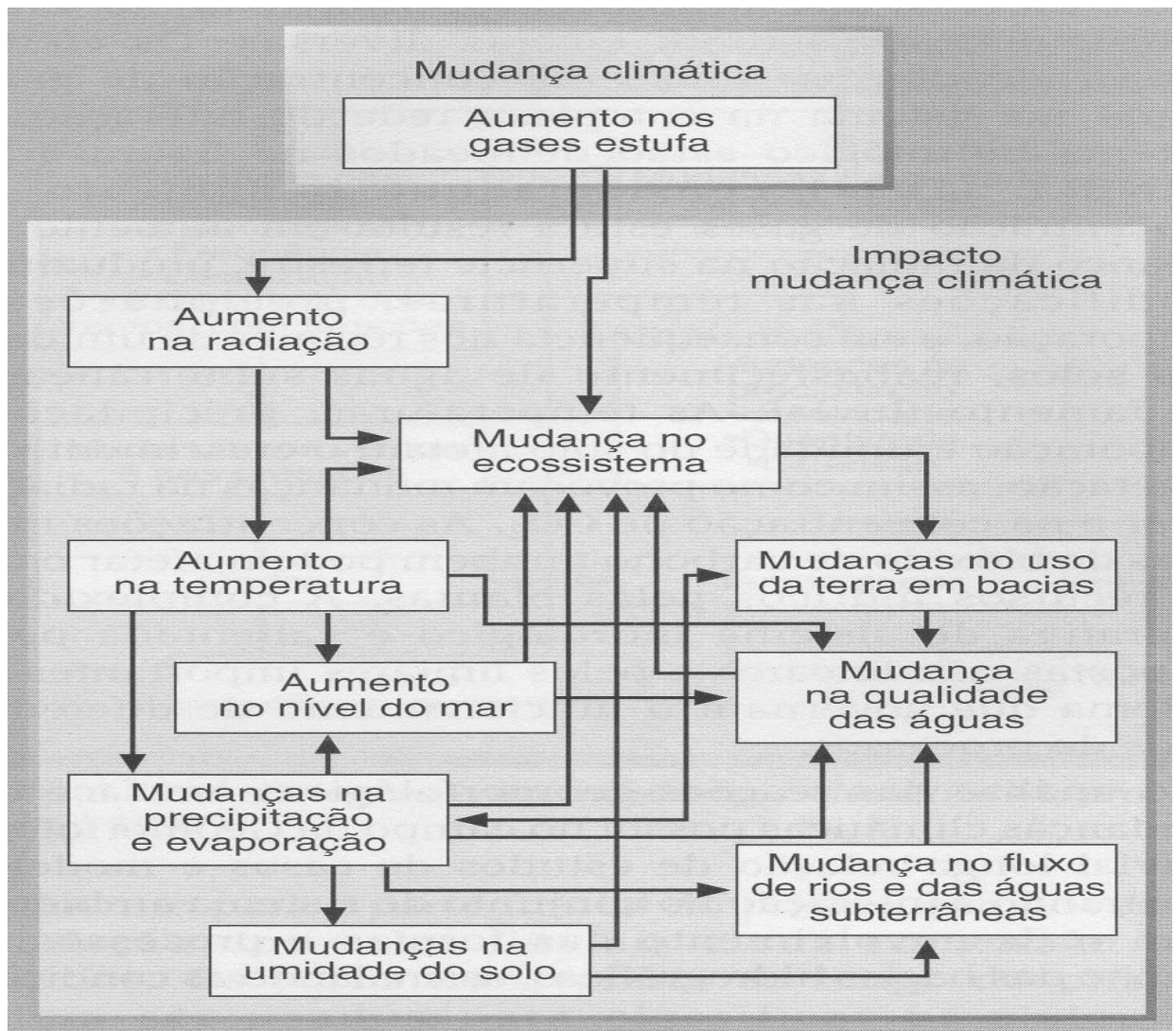


Lenda: P_o = precipitação nos oceanos, P_c = Precipitação nos continentes, E_o = Evaporação dos oceanos, E_c = evaporação dos continentes, R_r = descarga total dos rios, R_s = contribuição dos fluxos subterrâneos às descargas dos rios.

Fonte: Shiklomanov in IHP/UNESCO, 1998

Os efeitos das mudanças climáticas no ciclo hidrológico e no clima apresentam diversas consequências, desencadeadas pelos altos valores na concentração de gases de efeito estufa. De acordo com Arnnel (1996), o aumento da concentração de gases de efeito estufa altera o balanço de radiação na superfície terrestre, ocasionando modificações nas temperaturas, precipitações e evaporação e, consequentemente, nos regimes de umidade do solo, reabastecimento de águas subterrâneas e escoamento superficial. Por sua vez, o comportamento da temperatura, da precipitação, da evaporação e da umidade do solo afeta o crescimento da vegetação. Ainda de acordo com Arnnel (1996), os impactos das alterações climáticas e sua interação com o ciclo hidrológico podem ser ilustrados na Figura 5.

Figura 5. Esquema dos impactos das mudanças climáticas no sistema hidrológico.



Fonte: ARNNEL (1996) apud Christofolletti (1999).

De acordo com as previsões apresentadas pelo IPCC (2007), poderá chover mais e a chuva poderá evaporar mais depressa, o que deixará os solos mais secos em algumas estações do ano. A mudança do padrão de chuva devido à ocorrência de eventos ENOS mais intenso e mais frequente poderá acarretar novas secas, ou secas mais severas e afetar a saúde pública, algumas regiões tornar-se-ão mais secas e outras mais chuvosas. As regiões áridas poderão se transformar em desertos e regiões secas poderão se tornar ainda mais áridas. As regiões costeiras receberão maior quantidade de precipitação aumentando a frequência de chuvas intensas e inundações. A distribuição espacial e temporal da precipitação, a umidade do solo e o escoamento superficial, assim como a frequência e a magnitude das secas e inundações, sofrerão alterações que não podem ser atualmente prognosticadas com suficiente confiança

(IPCC, 2007). Ainda de acordo com os resultados dos modelos de previsão do clima, o Nordeste brasileiro está entre as áreas mais severamente afetadas do mundo, com quedas na média de precipitação anual entre 17 % e 53 %.

Albuquerque e Galvínio (2010), com o objetivo de simular possíveis mudanças nos recursos hídricos superficiais da bacia do Una, usaram dados pluviométricos e fluviométricos, bem como cenários futuros de aumento de temperatura do ar, em um modelo hidrológico semidistribuído para prever o escoamento superficial e constataram tendência de aumento das vazões até o ano 2020.

2.3.7. Impactos das Alterações Climáticas na Agricultura

A agricultura é uma das atividades econômicas que depende de fatores climáticos, como radiação, umidade relativa do ar e, principalmente, temperatura e precipitação. As alterações em um destes elementos podem afetar diretamente a produção agrícola, seja ela praticada de forma tradicional (sequeiro) ou irrigada.

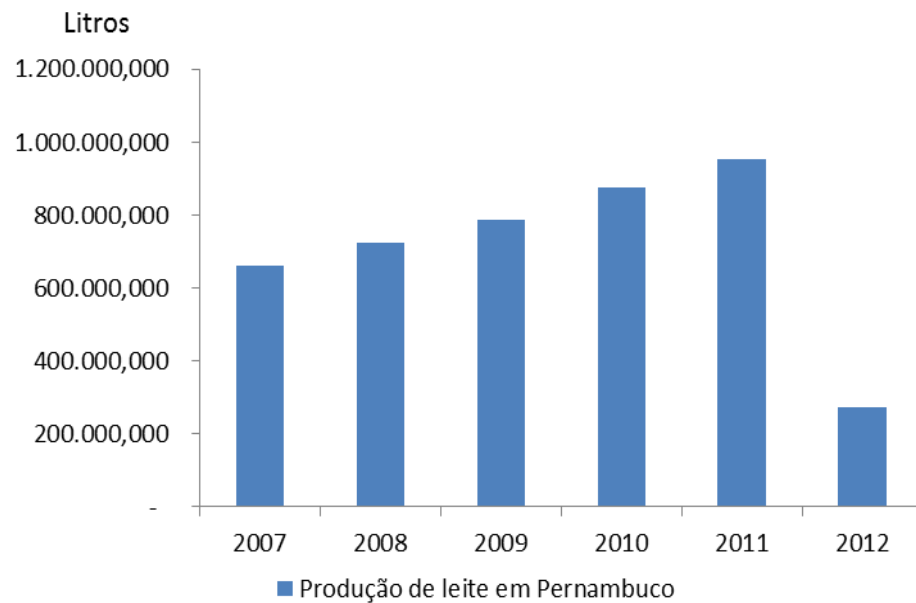
Assad et al. (2004) fizeram simulações a partir dos cenários divulgados pelo IPCC com o objetivo de avaliar os impactos do aumento na temperatura média do ar de 1 °C, 3 °C e 5,8 °C na cultura do café. Os resultados indicaram uma redução de áreas aptas para o desenvolvimento da cultura, superior a 95 % em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75 % no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8 °C.

Campos et. al. (2010) fizeram simulações com o aumento da temperatura do ar de 3 e 6 °C e as consequências na produção de feijão macassar na Paraíba, e constataram que as áreas favoráveis ao cultivo da cultura serão reduzidas consideravelmente nas próximas décadas. A restrição ao cultivo do feijão poderá atingir até 100 % em algumas áreas com o aumento da temperatura do ar de 6 °C. Assim, se este cenário se concretizar haverá o deslocamento das áreas de produção para as mesorregiões mais ao leste do estado (Agreste e Zona da Mata) onde a oferta hídrica é maior.

A variabilidade climática acarreta fortes quebras em safras agrícolas. As medidas preventivas que dependem do monitoramento do clima e do desenvolvimento de variedades adaptadas ao clima mais seco demandam grandes recursos financeiros e tecnológicos. O aumento da estiagem nos verões poderá afetar a produção agrícola e é possível que grandes áreas produtoras de grãos passem a sofrer com secas e ondas de calor mais frequentes. Outras regiões poderão se beneficiar de temperaturas mais altas e aumentar sua produtividade. Por

outro lado, poderá haver redução do potencial de produção de alimentos, o que irá gerar maiores problemas de fome e miséria (IPCC, 2007). Ressalta-se que a seca observada no Nordeste do Brasil em 2012 ocasionou fortes impactos na agropecuária com perdas na produção agrícola de grãos (milho e feijão), em Pernambuco foi constatado decréscimo na produção anual de leite conforme ilustrado na Figura 6 (IBGE, 2013).

Figura 6. Produção média anual de leite, em Pernambuco no período de 2007 a 2012.



Fonte: IBGE/LPSA

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Una, a qual está localizada no setor leste de Pernambuco, entre as coordenadas de 8°17'14'' e 8°55'28'' de latitude sul e 35°07'48'' e 36°42'10'' de longitude a oeste de Greenwich. A bacia faz parte de duas Mesorregiões (Agreste e Zona da Mata), de quatro Microrregiões (Vale do Ipojuca, Garanhuns, Brejo Pernambucano e Mata Meridional Pernambucana) e de três Regiões de Desenvolvimento: Agreste Meridional, Agreste Central e Mata Sul (Figura 7). Possui uma área de 6.785,79 km² sendo 6.292,90 km², pertencente a Pernambuco e os 492,89 km² restantes a Alagoas (PERNAMBUCO, 2006).

Figura 7. Localização espacial da bacia do rio Una com seus principais afluentes, com destaque para as mesorregiões nas quais a bacia está inserida.



Fonte: DANTAS (2012).

3.1.1. Divisão Político-Administrativa da Bacia

A divisão político-administrativa abrange 42 municípios dos quais 11 encontram-se totalmente inseridos na bacia (Belém de Maria, Catende, Ibirajuba, Jaqueira, Maraial, Palmares, Panelas, São Benedito do Sul e Xexéu), 15 municípios com sede inserida na bacia (Água Preta, Agrestina, Altinho, Barreiros, Bonito, Cachoeirinha, Calçados, Capoeiras, Jucati, Jupi, Jurema, Lajedo, Quipapá, São Bento do Una e São Joaquim do Monte) e 16 encontram-se parcialmente inseridos (Barra de Guabiraba, Bezerros, Caetés, Camocim de São Félix, Canhotinho, Caruaru, Gameleira, Joaquim Nabuco, Pesqueira, Rio Formoso, Sanharó, São Caetano, São José da Coroa Grande, Tacaimbó, Tamandaré e Venturosa) conforme mostra a Figura 8. A população da bacia é de aproximadamente 1.272.640 habitantes (PERNAMBUCO, 2006). No APÊNDICE A, constam todas as localidades com suas respectivas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude).

Figura 8. Representação dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Una, PE

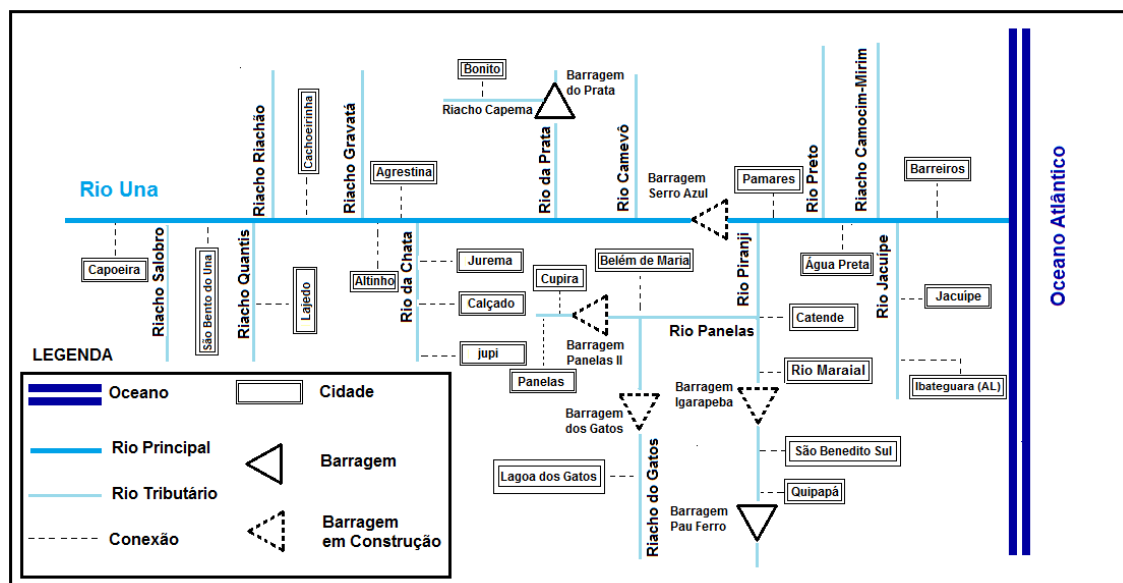


Fonte: SALGUEIRO et al., (2011).

3.1.2. Hidrografia

O rio Una é considerado um dos mais importantes de Pernambuco, Nasce na serra da Boa Vista, no município de Capoeiras, a cerca de 900 m de altitude e chega à foz, nas vilas de Várzea do Una e Abreu do Una, no município de São José da Coroa Grande, depois de percorrer 255 km. Seus principais afluentes na margem esquerda são o rio Bom Retiro, o riacho Riachão, o riacho Maracajá, o rio da Prata, o rio Camevô e o rio Preto, enquanto na margem direita são o riacho Quatis, o rio da Chata, o rio Pirangi, o rio Jacuípe e o rio Carimã. O rio Una é temporário e torna-se perene a partir da Zona da Mata, no município de Catende. A água na área da bacia é destinada, entre outras coisas, para o abastecimento público e a irrigação. A Figura 9 mostra o diagrama unifilar para a bacia do rio Una (PERNAMBUCO, 2006).

Figura 9. Diagrama unifilar para a bacia hidrográfica do rio Una, PE.



Fonte: DANTAS (2012) adaptado

3.1.3. Uso e Ocupação do Solo

Há grande diversidade de usos e de ocupação das terras que abrangem ocupações urbana e industrial, policultura, culturas de subsistência, fruticulturas, cultivo da cana-de-açúcar (Zona da Mata), manguezais e vegetação costeira, Mata atlântica e Caatinga. A

Caatinga predomina na maior parte da área, principalmente no Agreste e na área de transição (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.4. Impactos nos Recursos Hídricos

Os principais impactos ambientais que afetam os recursos hídricos da bacia são a lavagem de pulverizadores, polvilhadeiras e embalagens de defensivos agrícolas nas águas dos rios, descarga de efluentes domésticos, retirada de areia e pedras do leito de vários rios da bacia, construção de edificações (residências, entre outras), próximas aos cursos d'água e nas áreas de proteção dos barramentos (nas margens a montante). Além da poluição atmosférica produzida pela emissão de fuligem decorrente da queima do bagaço de cana nas caldeiras das usinas de açúcar, lançamentos de efluentes oriundos de matadouros públicos e clandestinos localizados às margens dos rios em vários municípios, captação desordenada de água dos rios, agrotóxicos oriundos dos plantios de cana-de-açúcar e outras culturas localizados às margens dos rios e no entorno. Desmatamento das áreas de nascentes e das matas ciliares, presença de lixões nas proximidades de cursos d'água, criatório de suínos, bovinos e aves nas áreas ribeirinhas, com os seus dejetos lançados nos rios, lançamento de lixo doméstico pela população diretamente na calha dos rios e riachos, descarga de efluentes da lavagem de veículos (lava-jato) nos cursos d'água, lançamento de esgoto público nos mananciais e agroindústrias (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.5 Economia

A atividade econômica nos municípios que compõem a bacia é em geral bastante diversificada. O trecho inferior (Zona da Mata e faixa litorânea) é marcado por uma economia predominantemente agrícola. A região tem como principal atividade a produção de cana-de-açúcar e seus derivados, por ser a principal atividade manufatureira da região. Destacam-se também a fruticultura, a produção de tubérculos e a pecuária leiteira e de corte. Quanto às atividades não agrárias, percebe-se a presença de indústrias de transformação, comércio varejista e a prestação de serviços. Estas atividades apresentam maior dinamismo nos centros de comando regionais (município de Palmares e Barreiros). No trecho médio (Agreste), a pecuária bovina leiteira e de corte tem forte expressão econômica, principalmente nas áreas dos municípios de Sanharó e Cachoeirinha. Cachoeirinha merece destaque pela sua feira de

gado, pela produção e comercialização de queijo, pelo artesanato em couro e aço. São Bento do Una apresenta diversificação econômica, com a presença de pecuária leiteira e de corte, policultura e avicultura, especialmente nas áreas onde há disponibilidade hídrica (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.6. Topografia

A bacia é formada por terraços, com altitudes médias que se elevam de acordo com a região. A jusante no município de Barreiros, em direção à desembocadura, apresenta altitude média de 2 a 40 m. Entre Barreiros e Água Preta, a altitude se eleva para as faixas de 40 a 150 m; de Água Preta a Catende de 150 a 500 m; de Catende a Cupira de 500 a 600 m, próximo de São Bento do Una de 600 a 800 m; e em Capoeiras onde tem sua nascente a altitude atinge 900 m. O baixo curso do rio fica entre as altitudes de 2 a 150 m, o médio curso entre os municípios de Catende e Cupira de 150 a 500 m, e o alto curso entre Cupira e Capoeiras (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.7. Geologia e Pedologia

A formação geológica da região estuarina do rio Una teve origem no período quaternário da era Cenozoica, apresentando aluviões, dunas, depósitos areno-argilosos e sedimentos de origem marinha. As várzeas e as áreas de relevo plano, adjacentes ao rio, apresentam solos Orgânicos e Aluviais Distróficos e Eutróficos e também Podzólicos Hidromórficos, que se desenvolvem sob a influência de lençol freático elevado, tendo fertilidade natural variada. Nas áreas de manguezais e de relevo mais baixo, próximas ao mar, observam-se solos hidromorfológicos tipo Indiscriminado de Mangue e Salinos Indiscriminados, com pouco aproveitamento agrícola devido à elevada concentração de sais solúveis (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.8. Caracterização Climática

Na Zona da Mata e no Litoral, o clima é quente e úmido, com totais anuais de precipitação superiores a 1000 mm; os maiores índices pluviométricos ocorrem durante seis meses, iniciando-se em março e prolongando-se até julho/agosto, sendo junho o mais

chuvoso. No Agreste (área intermediária entre a Zona da Mata quente e úmida e o Sertão quente e seco), o clima apresenta similaridade ora com a região da Zona da Mata ora com o Sertão. Os valores médios anuais da precipitação variam entre 600 e 800 mm, sendo março o mês mais chuvoso. O comportamento hidrológico da bacia é caracterizado por precipitações elevadas no médio e baixo curso, enquanto no alto curso as precipitações tendem a diminuir (PERNAMBUCO, 2006).

3.1.9. Sistemas Meteorológicos Atuantes em Pernambuco

- 1. Os sistemas de brisas marítimas / terrestres** – A atuação das brisas ocorre ao longo do ano, porém são observadas com maior intensidade no outono e inverno, quando interagem com outros sistemas meteorológicos que atuam nesta época do ano (ARAGÃO, 1986). As brisas, além de exercer forte influência na distribuição das chuvas nas áreas costeiras (Litoral e Zona da Mata), podem se deslocar até 300 km no continente (KOUSKY, 1979; GAN, 1982).
- 2. Ondas de leste** - São ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios; geralmente deslocam-se de leste para oeste, desde a costa da África até a costa leste brasileira na faixa latitudinal de 5° S a 15° S, ou seja, provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, influenciando diretamente no volume pluviométrico de maio a agosto (YAMAZAKI & RAO, 1977).
- 3. Sistemas frontais ou resquícios de frentes frias** – As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e conseqüentemente as chuvas. Segundo Kousky (1979), os sistemas frontais podem deslocar-se até o centro sul do Nordeste do Brasil. Durante as estações de outono e inverno (março-setembro) contribuem para o aumento da precipitação do setor leste do Nordeste. Em Pernambuco estes sistemas atingem o Agreste e a Zona da Mata.

4. **Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS)** - É um conjunto de nuvens que, observado pelas imagens de satélite, tem a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsistência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Estes sistemas formam-se no oceano Atlântico, atingem a região Nordeste do Brasil no período de outubro e março e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre janeiro e fevereiro (KOUSKY & GAN, 1981).

5. **A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT** é o sistema meteorológico mais importante na determinação do aumento ou redução das chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil, principalmente de março a abril, quando esta alcança sua posição mais ao sul (UVO & NOBRE, 1989). A ZCIT é uma banda de nebulosidade que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul. A convergência dos ventos faz com que o ar quente e úmido ascenda, carregando umidade do oceano para os altos níveis da atmosfera formando nuvens.

6. **Oscilação 30 - 60 dias** - Sistema atmosférico (onda de pressão) que se desloca de oeste para leste contornando o globo terrestre num período entre 30 a 60 dias ao longo do ano. Durante sua passagem sobre o Nordeste brasileiro pode favorecer ou inibir a chuva, dependendo de sua fase positiva ou negativa (KAYANO & KOUSKY, 1992; NOBRE & MELO, 2001).

3.2. Dados

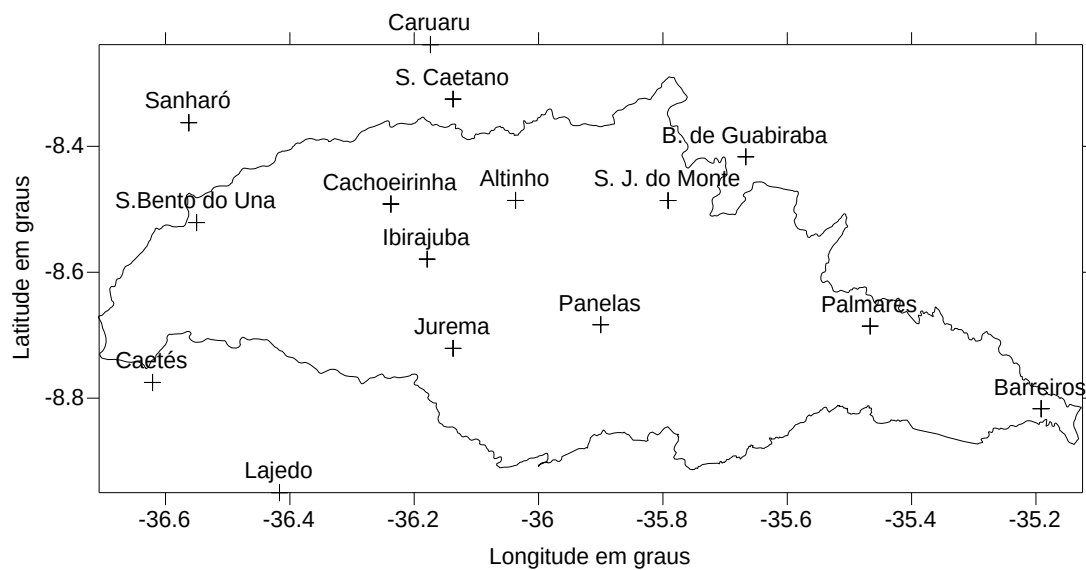
3.2.1. Dados Pluviométricos

Foram selecionados 15 postos pluviométricos (Figura 10) com séries climatológicas de precipitação pluviométrica diária de 1965 a 2006, que representaram toda a área da bacia do rio Una. Foram usados para o estudo das tendências, variabilidade e mudanças climáticas e na execução do balanço hídrico climático. Os dados foram obtidos da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e do ITEP (Instituto Tecnológico de

Pernambuco). A área da bacia foi dividida em dois setores (leste e oeste) para melhor avaliar a variabilidade e tendências climáticas,

Para o cálculo do balanço hídrico mensal foram usados dados médios mensais da temperatura do ar estimada (CAVALCANTE & SILVA, 1994) e da precipitação pluviométrica.

Figura 10. Localização dos municípios que dispunham de dados pluviométricos no período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE.



A Tabela 1 representa os 15 municípios localizados na área da bacia (Figura 9) que dispunham de séries pluviométricas no período de 1965 a 2006, localização geográfica em relação às mesorregiões homogêneas e suas respectivas coordenadas geográficas e precipitação média anual.

Tabela 1. Municípios que dispunham de dados pluviométricos no período de 1965 a 2006, suas respectivas mesorregiões, coordenadas geográficas e precipitação média anual.

Nº	Municípios	Mesorregião	Longitude em (°)	Latitude em (°)	Precipitação anual (mm)
01	Barreiros	Litoral	-35,19	-8,81	2128
02	B. de Guabiraba	Z. da Mata	-35,66	-8,41	1126
03	Palmares	Z. da Mata	-35,46	-8,68	1464
04	Altinho	Agreste	-36,56	-8,56	622
05	Cachoeirinha	Agreste	-36,23	-8,49	463
06	Caetés	Agreste	-36,62	-8,77	777
07	Caruaru	Agreste	-36,17	-8,23	662
08	Ibirajuba	Agreste	-36,17	-8,57	654
09	Jurema	Agreste	-36,13	-8,72	790
10	Lajedo	Agreste	-36,41	-8,95	831
11	Panelas	Agreste	-35,9	-8,68	613
12	S Bento do Una	Agreste	-36,55	-8,52	530
13	Sanharó	Agreste	-36,56	-8,36	710
14	São Caitano	Agreste	-36,13	-8,32	481
15	São Joaquim Monte	Agreste	-35,79	-8,48	988

3.2.2. Dados de Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar nos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical

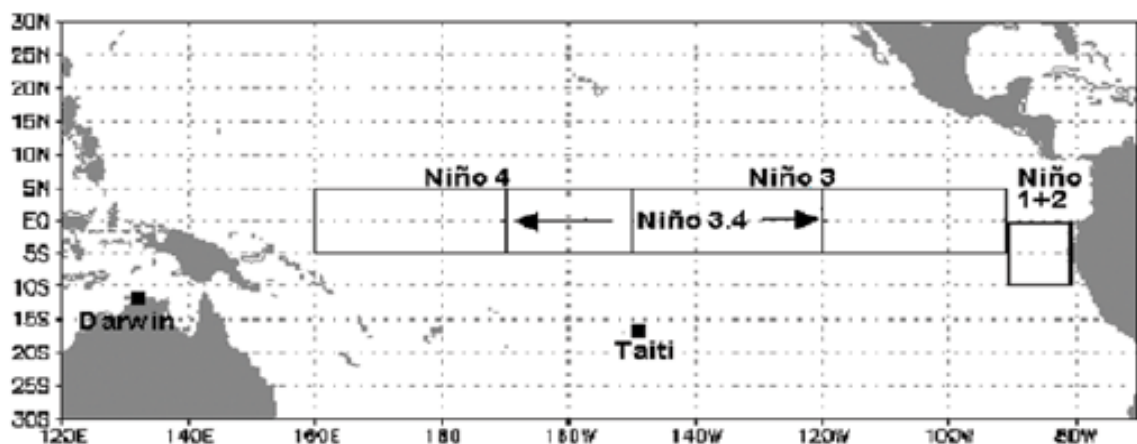
Os dados das anomalias anuais e mensais de TSM nos oceanos Pacífico Equatorial (Figura 11) referente às regiões do Niño1+2 e Niño 3 e de Pressão ao Nível do Mar (PNM) no Pacífico (Darwin e Taiti) foram usados para a classificação anual e semestral (janeiro a julho) do ENOS e anos neutros (IOS inferior a $\pm 0,25$), conforme Galvani & Pereira (1997). Foram analisados dados de anomalias de TSMs para o período de janeiro a julho, considerando que o principal período chuvoso ocorre durante os meses de março a agosto; as anomalias de TSM tiveram 2 meses de defasagem em relação ao início e término do período chuvoso, tempo considerado para a resposta entre os oceanos e a atmosfera.

As anomalias de TSM no oceano Atlântico Tropical foram utilizadas para a classificação dos anos e semestres com Dipolo. Para identificação do Dipolo do Atlântico, foi calculado um índice também chamado de gradiente, o qual é obtido pela diferença entre as anomalias de TSM do Atlântico Tropical Sul (ATS) e as anomalias de TSM do Atlântico Tropical Norte (ATN), de acordo com a definição de Dipolo adotado por Moura & Shukla (1981) e Moura et al.(2000). O Dipolo do Atlântico foi denominado de favorável quando o índice foi positivo (DF), desfavorável quando o índice foi negativo (DD) e neutro (ATNE)

quando o índice foi muito pequeno ($\leq 0,10$). Os dados de anomalias TSM foram obtidos através do website da NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>).

Foram feitas correlações simples entre as precipitações médias anuais, semestrais (março a agosto) e anos extremos (secos e chuvosos) e as anomalias de TSM anuais e semestrais (janeiro a junho) dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, por meio do EXCEL.

Figura 11. Área de atuação do ENOS no oceano Pacífico Equatorial com destaque para as regiões de Niños 1+2, 3, 3.4 e 4.



Fonte: CDC/NOAA

3.3. Metodologia

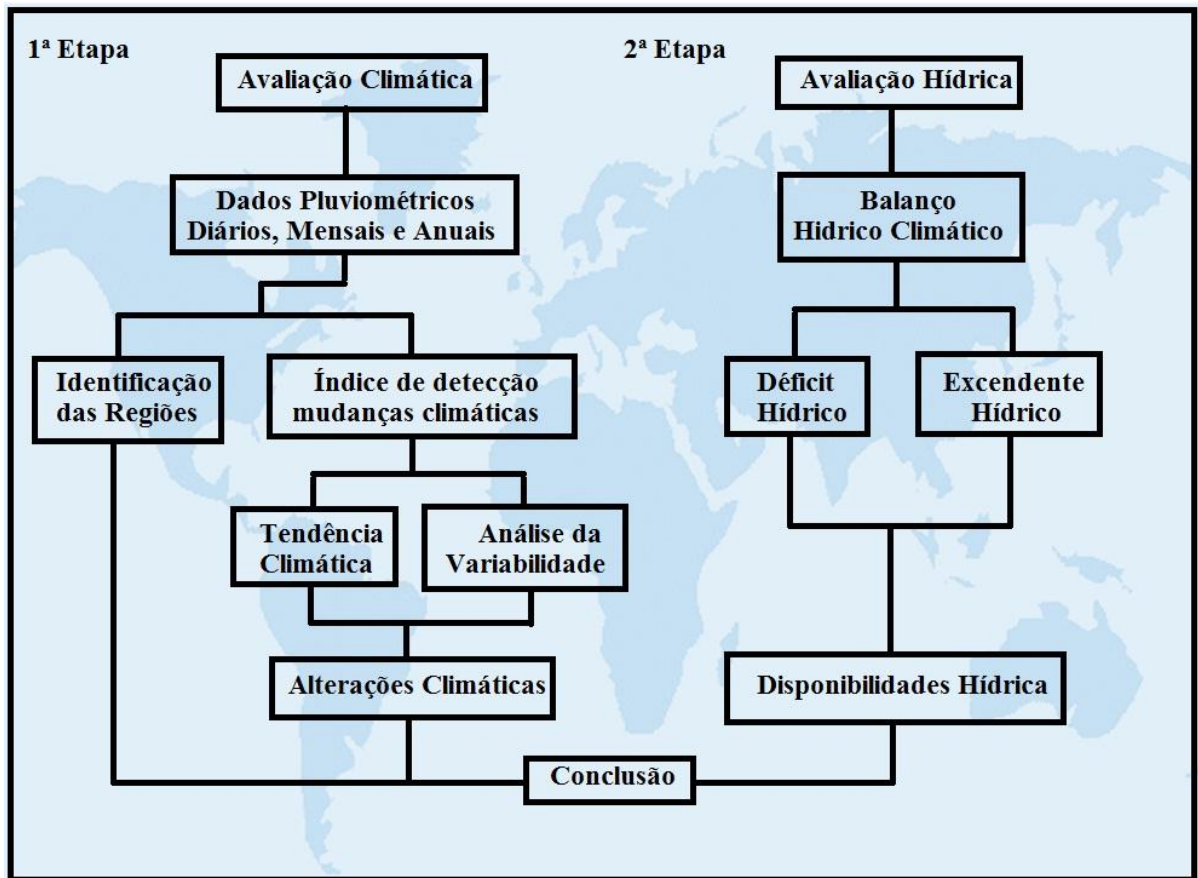
Foram realizadas as seguintes etapas:

- 1) Avaliar o regime pluviométrico da bacia e agrupar os municípios com regimes pluviométricos semelhantes;
- 2) Avaliar a variabilidade climática sazonal, anual e decadal;
- 3) Correlacionar anos extremos com a ocorrência dos fenômenos El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico;
- 4) Calcular os índices extremos de detecção de tendências climáticas para 15 localidades, com a finalidade de analisar a variabilidade diária da precipitação e tendências de mudanças climáticas;
- 5) Avaliar a disponibilidade hídrica anual por meio do balanço hídrico climático.

3.3.1. Roteiro Metodológico

A pesquisa foi dividida em duas etapas principais, representadas no seguinte roteiro metodológico, mostrado na Figura 12.

Figura 12. Fluxograma esquemático do roteiro metodológico da pesquisa



3.3.2. Cálculos dos Índices de Extremos Climáticos

Os índices extremos de tendência climática foram calculados por intermédio do programa RClindex (versão 2.9.0), com base nas séries de precipitação pluviométrica diária de 1965 a 2006. O programa tem como base uma planilha de dados da Microsoft Excel, que fornece um pacote computacional usado no cálculo dos 27 índices de extremos climáticos e outros índices com limites estabelecidos pelo usuário, recomendados pela equipe de especialistas em estudos de mudanças climáticas do CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) para “Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices” – ETCCDMI. O programa foi desenvolvido por Byron

Gleason do National Climate Data Centre (NCDC), da NOAA, e tem sido usado desde 2001 em oficinas sobre índices climáticos pelos especialistas do CCI/CLIVAR. Além dos cálculos dos índices (Tabela 2), fornece a exibição gráfica dos principais índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Sua distribuição é gratuita e está disponível para download no website dos índices da ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>).

O RClindex 2.9.0 fornece, para todos os índices, dados estatísticos tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como os gráficos das séries anuais. Foram obtidos 11 índices de tendências climáticas, os quais constam no ANEXO 1, mas foram analisados apenas 5 dos índices citados (PRCTOT, DCU, DCS, R99p e R50mm), conforme objetivo proposto inicialmente. Os índices foram distribuídos espacialmente para toda a área da bacia através do SURFER 8.0 (Surface Mapping System, Golden Software 2002), adotou-se a krigagem como método de interpolação dos dados (LANDIM et al. 2002).

3.3.3. Controle de Qualidade dos Dados

Para a execução do RClindex é necessário o processamento e controle da qualidade dos dados pluviométricos diários, devendo-se seguir alguns requisitos básicos:

1) organização dos dados pluviométricos diários em arquivo de texto ASCII, separados por espaço, composto de seis colunas, correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX) e temperatura mínima (TMIN). Os registros dos dados devem estar em ordem cronológica, a unidade da precipitação deve ser em mm e a temperatura em graus Celsius;

2) substituição dos dados faltosos por -99.9 (caso não tenha ocorrido o preenchimento de falhas); e

3) O RClindex possui uma rotina que executa um controle de qualidade dos dados baseada no critério de outliers (extremos), definido com os limites superiores e inferiores de uma determinada variável que são estimada como sendo *valores inferiores a média menos n vezes desvio padrão ou superiores a média mais n vezes desvio padrão*. Além disso, se o total de dados faltosos mais os que foram registrados no controle de qualidade for igual ou superior a 25 % dos dados. Todos os índices calculados para a localidade com estas características são registrados.

A Tabela 2 apresenta os índices extremos de detecção de tendência climática, analisados neste estudo, sua definição e unidades. Para o índice **Rnn** (valor da precipitação diária adotada) adotou-se o valor de 50 mm com o objetivo de identificar a ocorrência de eventos de chuvas fortes.

Tabela 2. Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária; $RR \geq 1$ mm representa um dia úmido e $RR < 1$ mm um dia seco.

Identificação	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total nos dias úmidos ($RR \geq 1$ mm)	mm/ano
DCS	Dias Consecutivos Secos	Nº máximo de dias consecutivos com $RR < 1$ mm	dias
DCU	Dias Consecutivos Úmidos	Nº máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm	dias
R50mm	Nº de dias com precipitação acima de 50 mm	Nº de dias em 1 ano em que a precipitação foi ≥ 50 mm	dias
R99P	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	mm

3.3.4. Tratamento dos Dados Pluviométricos Mensais

O controle de qualidade e preenchimento de falhas dos dados pluviométricos mensais e anuais foi realizado por meio de estimativas, interpolação de dados vizinhos e uso da média climatológica, conforme sugerido por Pinto et al. (1976). Ao identificar um valor duvidoso ou faltoso, compara-se o valor em relação aos valores das localidades (postos) circunvizinhas, bem como em meses anteriores e posteriores para o mesmo local e, posteriormente, fez o preenchimento de falhas.

Após o tratamento dos dados pluviométricos mensais foram calculadas as médias mensais, semestrais e anuais, o desvio padrão, os desvios relativos percentuais, os desvios padronizados, o coeficiente de variação e o índice de seca, que foram obtidos com as seguintes fórmulas:

1. Média Climatológica Anual

Esta medida foi obtida por meio de uma série de dados com no mínimo 30 anos de observação conforme normas da (OMM).

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

X_m é a precipitação média anual,

$\sum x$ é a soma de todas as precipitações anuais observadas no intervalo de tempo n ,

n é o número de anos de observações

2. Desvio Padrão

É a medida mais comum da dispersão estatística, mostra o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média.

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}}{n} \quad (2)$$

X_1 é o valor observado,

X_m é a precipitação média anual,

n é o número de anos de observações

3. Desvios Padronizados

$$DP = \frac{(X - X_m)}{\sigma} \quad (3)$$

X é o valor observado,

X_m é a precipitação média anual

σ é o desvio padrão

4. Coeficiente de Variação (CV) da Precipitação

É uma medida relativa à dispersão, útil para a comparação em termos relativos do grau de concentração em torno da média.

$$CV = \frac{\sigma}{Xm} * 100 \quad (4)$$

Xm é a precipitação média anual

σ é o desvio padrão

3.2.5. Classificação de Anos com Extremos Climáticos

Para a identificação de anos secos foi utilizado o índice de secas proposto por Moreno (1994). Este índice foi adaptado para calcular e classificar os anos normais e chuvosos (Tabela 3), que foram calculados da seguinte maneira:

$$I = \frac{(P - Pm)}{Pm} \quad (6)$$

Sendo, **I** o índice de seca, **P** chuva total no ano e **Pm** chuva média anual.

Tabela 3. Classificação dos anos secos e chuvosos de acordo com o índice de seca (adaptados para os anos chuvosos pela autora).

Índice de seca	Classificação	Índices adaptados	Classificação
$0,2 > I > -0,2$	Situação Normal	$-0,2 < I \leq 0,2$	Situação Normal
$-0,2 > I \geq -0,4$	Seca Moderada	$0,2 < I \leq 0,4$	Chuvoso
$-0,4 > I \geq -0,6$	Seca Forte	$0,4 < I \leq 0,6$	Muito chuvoso
$I < -0,6$	Seca Extrema	$I > 0,6$	Extremamente chuvoso

Fonte: MORENO (1994).

3.2.6. Identificação dos Anos com Evidência de ENOS

Foram usados dados de anomalias normalizadas de pressão atmosférica, referentes às estações de Taiti e Darwin, no período de 1965 a 2006, para calcular o IOS anual e semestral. Este índice é determinado pela diferença entre os desvios de PNM registrados nas estações meteorológicas do Taiti (latitude 17°33'S e longitude 149°31'W) no Pacífico Central e Darwin (latitude 12°20'S e longitude 130°52'E) no norte da Austrália, ou seja, o IOS é dado pela PNM do Taiti menos a PNM de Darwin.

Foram identificados os anos e semestres com ocorrência do ENOS conforme critérios adotados por Galvani & Pereira (1997), mostrados na Tabela 4, posteriormente, comparados com a precipitação anual e semestral.

Tabela 4. Classificação do IOS para quantificar a intensidade do ENOS.

IOS (-) Médio	El Niño	IOS (+) Médio	La Niña
0,0 a -0,25	Ausente	0,0 a 0,25	Ausente
-0,26 a -0,75	Fraco	0,26 a 0,75	Fraco
-0,76 a -1,25	Moderado	0,76 a 1,25	Moderado
< -1,26	Forte	> 1,26	Forte

Fonte: GALVANI & PEREIRA (1997)

3.3.7. Balanço Hídrico Climático

Com a finalidade de contabilizar as condições médias da evapotranspiração potencial, umidade do solo, déficit e excedente hídrico, foram estimados balanços hídricos climatológicos (BHC) para as 15 localidades selecionadas, com o objetivo de identificar as áreas com maiores e menores riscos climáticos através dos índices de aridez. O BHC foi estimado por intermédio de uma planilha eletrônica elaborada por Rolim & Sentelhas (1999) que tem como base de cálculos o método proposto por Thornthwaite & Mather (1957). Para a realização do BHC foram considerados os dados médios mensais de temperatura do ar, precipitação pluviométrica e uma estimativa da capacidade de água disponível. Neste caso, adotou-se a capacidade de armazenamento de água pelo solo entre 60 e 150 mm, conforme o tipo e a profundidade do solo (EMBRAPA, 2012). Embora sabendo que na escolha da capacidade de armazenamento devem-se considerar fatores como a textura, a estrutura, a profundidade do solo, a quantidade de matéria orgânica e o sistema radicular da planta, estes fatores não foram considerados por serem de difícil obtenção para todas as localidades. Por isso, considerou-se como porte médio da vegetação predominante a caatinga (sistema radicular menos profundo) e o solo predominante do município. No APÊNDICE B consta as características dos principais tipos de solos.

3.3.7.1. Estimativa da Temperatura Média do Ar

Devido à ausência de dados de temperatura média do ar para as localidades selecionadas, usou-se o Estima_T, programa computacional de estimativa de temperaturas do ar (máxima, média e mínima) para a Região Nordeste do Brasil, pelo método de Cavalcanti & Silva (1994), que consiste em estimar as temperaturas do ar a partir das coordenadas locais, para cada localidade determinando-se o coeficiente de regressão obtido através do método dos mínimos quadrados em função das coordenadas: longitude (ϕ), latitude (λ) e altitude (h).

$$T = c_0 + c_1\lambda + c_2\phi + c_3h + c_4\lambda^2 + c_5\phi^2 + c_6h^2 + c_7\lambda\phi + c_8\lambda h + c_9\phi h \quad (7)$$

3.3.7.2. Estimativa da Evapotranspiração Potencial

Para estimar a Evapotranspiração Potencial (ETP) foi utilizado o método de Thornthwaite & Mather (1957), que define a evapotranspiração potencial como sendo um elemento meteorológico normal, padrão, que representa a precipitação ideal para atender a necessidade de água em uma área com cobertura vegetal. A ETP representa a água que retorna à atmosfera em estado gasoso e depende da energia solar disponível na superfície do solo para vaporizá-la.

A metodologia de Thornthwaite & Mather (1957) considera que a disponibilidade de água no solo decresce com a diminuição do armazenamento, que é levada em consideração no cálculo da evapotranspiração real. Além disso, considera que a água do solo é igualmente disponível aos vegetais desde a capacidade de campo até o ponto de murcha permanente. Isto significa dizer que a evapotranspiração ocorre, potencialmente, enquanto o armazenamento de água no solo não for nulo. Quando o armazenamento é nulo, ocorre deficiência de água no solo, caracterizada como água que falta para que a evapotranspiração real ocorra.

O método usado para calcular a ETP baseia-se na precipitação mensal (mm), na temperatura média mensal do ar (T °C) e na duração efetiva do dia. A ETP mensal em mm/mês pode ser estimada pelo método usado por Thornthwaite (1948) descrito por Ometto (1981) por intermédio da equação:

$$ETP = 16 \left[10 \frac{T_i}{I} \right]^a \quad T_i > 0^\circ \text{ C} \quad (8)$$

Onde, **I** e **T** são, respectivamente, o índice térmico e a temperatura média do ar do mês 1, 2, 3,.....12. O índice térmico anual é obtido pelo somatório dos índices mensais e expresso pela equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514} \quad (9)$$

a é a função cúbica do índice anual térmico, representado por:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,492239 \quad (10)$$

O fator de correção é dado por:

$$FJ = (Dj * Nj) / 12 \quad (11)$$

Dj é o número de dias do mês **j**,

Nj é a duração efetiva do dia de ordem 15 do mês **j** representado por:

$$Nj = 2 \arccos(-Tg\phi * Tg\delta) / 15 \quad (12)$$

Sendo, ϕ a latitude local e $\delta = 23,45^\circ \sin [360 (284+d)/365]$, onde **d** é o número de ordem, no ano, do dia considerado.

A computação do BHC consiste em seis componentes: precipitação pluviométrica ou fluxo de irrigação, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, água armazenada no solo, excesso e deficiência hídrica. De acordo com Reichardt & Timm (2004), estas variáveis podem ser explicadas por meio de processos físicos e dinâmicos com base na conservação de massa (Figura 13), sendo considerado o fluxo de água no solo, num certo período de tempo, em um determinado perfil de solo, cuja representação matemática pode ser estabelecida pela equação:

$$\int_{T.i}^{T.j} (p + i \pm d_s - q_c \pm q_z).d.t = \int_{T.i}^{T.j} \int_0^L \left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} \right).d.z.d.t \quad (13)$$

Onde: **p** = fluxo de precipitação pluviométrica.

i = fluxo de irrigação

d_s = deflúvio superficial

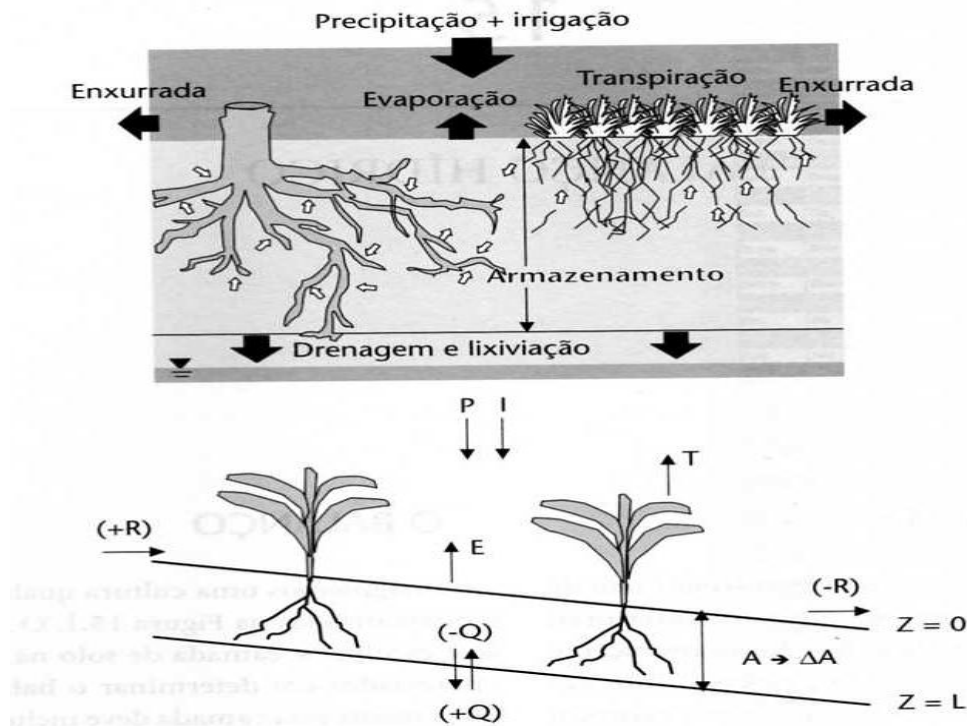
q_c = fluxo de evapotranspiração

L = profundidade do solo

q_c = fluxo da água

$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} \right)$ = gradiente potencial do perfil L do solo

Figura 13. Esquema dos componentes do balanço hídrico climático em uma cultura agrícola.



FONTE: Reichardt & Timm (2004)

A equação que representa os componentes do balanço hídrico climático pode ser explicada pela fórmula:

$$Pr + I = \Delta A + ETP + P + D \quad (14)$$

Sendo a precipitação pluviométrica representada por (**Pr**), correspondendo à quantidade de água que chega naturalmente por intermédio da chuva num certo período; a irrigação (**I**) compreende a quantidade de água adicionada artificialmente num certo período de tempo; ΔA é a variação da umidade do solo ou água armazenada no perfil adotado; **ETP** é a evapotranspiração potencial; **P** representa a percolação; e **D** corresponde ao deflúvio superficial ou enxurrada ou *run off*.

Com a finalidade de determinar a variação do armazenamento de água no solo estabeleceram-se algumas simplificações. Para fins práticos considerou-se a irrigação e o deflúvio superficial nulo. Deste modo, é possível estimar a variação do armazenamento de água (ΔA), também chamado de alteração do armazenamento (ALT), a evapotranspiração real (ETR) e a percolação que pode ser chamada de excedente (EXC), resultando na seguinte equação:

$$ALT = P - ETR - EXC \quad (15)$$

Além da ALT e do EXC, a determinação da ETP e da ETR permite estimar o déficit hídrico (DEF) definido como:

$$DEF = ETP - ETR \quad (16)$$

3.3.8. Classificação Climática

Para classificação climática e identificação do grau de aridez foi calculado o índice de aridez (IA) inverso de Budyko que indica semi-aridez quando os valores variam entre 0,20 e 0,50 é representado pela razão entre a precipitação média anual e a ETP, conforme metodologia proposta pelo PNUMA (1991) para identificar as áreas susceptíveis à desertificação.

$$IA = \frac{Pr}{ETP} \quad (17)$$

Em que, Pr é a precipitação pluvial média anual (mm/ano) e ETP é a evapotranspiração potencial média anual (mm/ano).

O IA foi calculado para os 15 municípios que dispunham de dados pluviométricos. A ETP foi calculada a partir da estimativa do BHC. A classificação climática teve como base os índices de aridez (Tabela 5) propostos pelo PNUMA (1991). Na espacialização dos resultados utilizou-se o SURFER 8.0, que teve como método de interpolação dos dados a krigagem.

Tabela 5. Classificação climática com base nos índices de aridez (PNUMA, 1991).

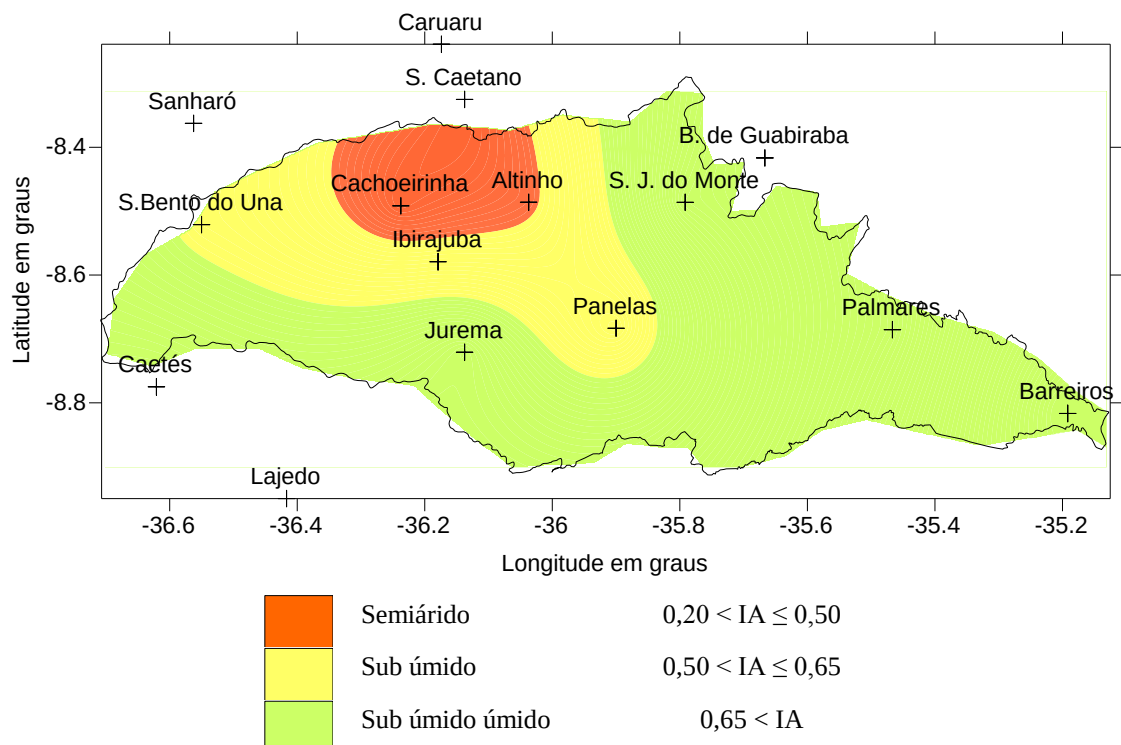
Classificação	Índices de aridez
Árido	$IA \leq 0,20$
Semiárido	$0,20 < IA \leq 0,50$
Subúmido seco	$0,50 < IA \leq 0,65$
Subúmido úmido	$IA > 0,65$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Classificação Climática com Base no Índice Inverso de Aridez de Budyko

Com base nos índices de aridez inverso foram identificados em toda a extensão da bacia três tipos climáticos: semiárido, subúmido seco e subúmido úmido (Figura 14), com isso percebe-se a heterogeneidade pluviométrica representada por três regiões distintas. De acordo com o IPCC, as regiões com predomínio dos dois primeiros tipos climáticos são as mais vulneráveis as mudanças climáticas em decorrência do aumento da temperatura do ar e da redução nos índices pluviométricos. Sendo assim, pode-se observar que parte da área da bacia (Agreste norte) apresenta alta susceptibilidade às alterações climáticas, à desertificação e à aridização (aumento do déficit hídrico ao longo do ano). Dos municípios analisados, destacaram-se com maior vulnerabilidade Cachoeirinha, São Caetano, Ibirajuba e Altinho.

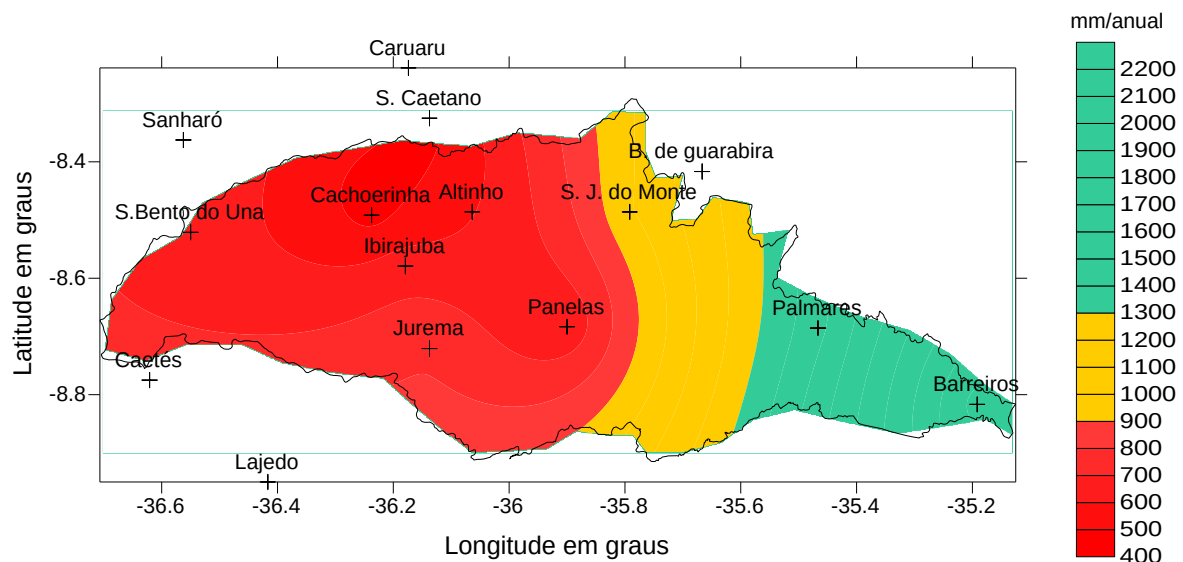
Figura 14. Classificação climática para a bacia do Una de acordo com os índices de aridez.



4.2. Análise Climatológica da Precipitação Média Anual sobre a Bacia do Una, PE

A precipitação média anual ao longo da bacia do Una, PE variou entre 463 mm e 2128 mm (Figura 15). Os municípios que apresentaram, respectivamente, a menor e a maior média anual, foram Cachoeirinha (setor central do Agreste) e Barreiros (Litoral). No geral, no Litoral e na Zona da Mata concentraram-se os maiores valores pluviométricos, oscilando entre 1400 mm e 2100 mm. Na área de transição entre a Zona da Mata e o Agreste, os valores foram entre 900 mm e 1300 mm. No Agreste, onde se encontra a maior parte da bacia, os valores oscilaram entre 463 mm e 800 mm. Os menores valores (500 mm) foram encontrados na área de transição entre o Agreste e o Sertão, principalmente, no setor centro norte.

Figura 15. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica anual, na bacia do Una, PE.

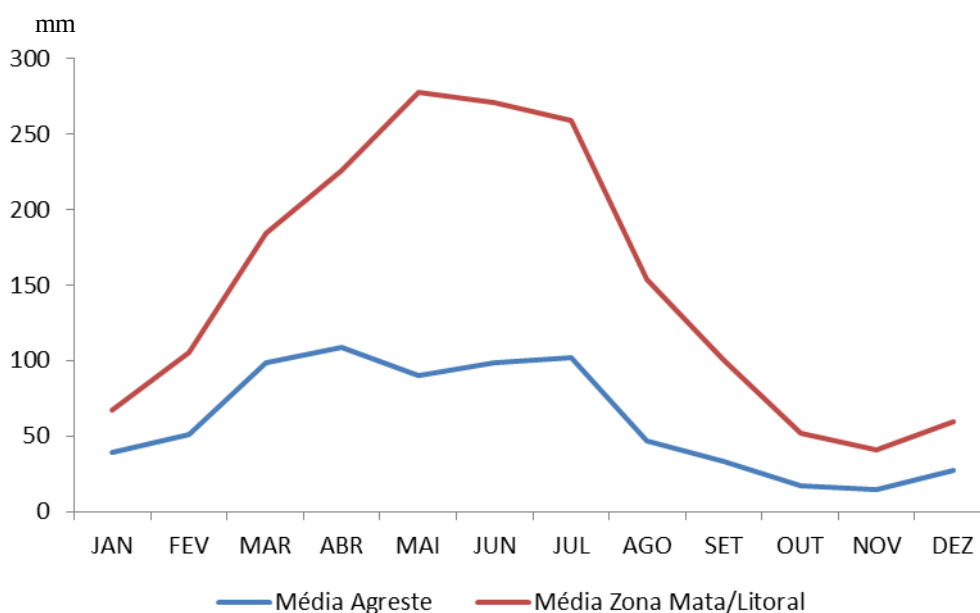


De um modo geral, a média pluviométrica anual na bacia é em torno de 1261,1 mm, com desvio padrão de 421,8 mm, amplitude total de 1655 mm/ano e coeficiente de variação de 48,4 %. A distribuição espacial dos totais pluviométricos apresentou alto grau de dispersão em relação à média climatológica, ou seja, o comportamento da precipitação é bastante heterogêneo na área em estudo. Isto se deve a extensão e abrangência do rio Una que ocupa área de três mesorregiões homogêneas com características fisiográficas diferentes e a atuação dos diversos sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas ao longo da bacia.

4.3. Avaliação do regime pluviométrico da bacia do Una, PE

De acordo com a média mensal da precipitação, componentes do balanço hídrico (excedente e déficit hídrico) e a temperatura média do ar, pôde se constatar dois regimes pluviométricos ou comportamentos climáticos que se referem ao período em que ocorre a distribuição das chuvas. Na bacia do Una, o regime pluviométrico tem duração média de seis meses, iniciando-se em fevereiro/março e estendendo-se até julho/agosto (Figura 16).

Figura 16. Distribuição temporal das médias mensais da precipitação na bacia do Una, PE.



1) No setor leste, que abrange o Litoral e a Zona da Mata, o clima é tropical úmido, quente e chuvoso, com temperatura média anual em torno de 25 °C, máxima que chega a 30 °C durante os meses de verão e a mínima de 21 °C em junho e julho. O principal período chuvoso ocorre de março a agosto, com média pluviométrica anual variando entre 1500 mm e 2000 mm. As ondas de leste e as brisas são os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas precipitações nesta região.

2) No Agreste, área de transição entre a Zona da Mata úmida e o Sertão, o clima predominante é tropical quente e seco, a temperatura média anual é de 23 °C, a máxima chega a 30 °C durante o verão e a mínima em torno de 16 °C em julho e agosto. O período chuvoso tem início em fevereiro e estende-se até julho, os totais pluviométricos anuais variam entre

450 mm e 850 mm. Os principais sistemas responsáveis pelos índices pluviométricos são ZCIT, VCAS e resquícios de frentes frias que atuam conjuntamente.

De um modo geral, o período chuvoso ou úmido na bacia tem início em fevereiro e se prolonga até agosto. Durante os meses de março a julho ocorrem os maiores valores pluviométricos, com médias mensais em torno de 100 mm, no Agreste e de 230 mm na Zona da Mata e Litoral (Figura 16), aumentando os riscos de enchentes no médio e baixo curso do rio Una. Por outro lado, o período seco ou de estiagem ocorre de setembro a janeiro, com precipitações insuficientes para atender a demanda hídrica da vegetação, ou seja, as taxas de evapotranspiração são superiores as precipitações.

4.4. Análise Temporal da Variabilidade e Tendência da Precipitação na Bacia do Una

O NEB é caracterizado por uma alta variabilidade anual e interanual das precipitações quando comparada a outras regiões do Brasil. Para melhor analisar a variabilidade temporal da precipitação na bacia do Una, foram usados os desvios padronizados (DP) da precipitação anual e da estação chuvosa (março a agosto) (Figuras 17 e 18). Padrões de similaridade no comportamento dos DP foram observados, tanto para a média anual, quanto para a estação chuvosa. Constatou-se maior frequência de DP positivo, compatíveis com a precipitação em torno e acima da média, durante a década de 70 e final da década de 80, coerente com a atuação da La Niña durante os anos de 1974-1975; 1984-1986 e 1988-1989 e predomínio de DP negativo na década de 90, com precipitações em torno e abaixo da média, coincidentes com atuação do El Niño, com destaque para os anos de 1992-1994 e 1997-1998, resultando num declínio da precipitação anual e semestral. Somente a partir do ano de 2000 percebe-se a frequência de DP positivos. A Tabela 6 mostra a classificação dos anos de atuação do ENOS. Os coeficientes de variações da precipitação anual e da estação chuvosa foram, respectivamente, de 22,7 % e de 20,7 %, aproximando-se do limiar inferior (25 %) observado em regiões secas (CONTI, 1995). Como o CV é uma medida relativa de dispersão que indica o grau de concentração ou dispersão em torno da média, percebe-se a alta variabilidade pluviométrica observada anualmente e durante a estação chuvosa. No APÊNDICE C consta a classificação dos anos com extremos climáticos para alguns municípios da bacia.

Figura 17. Distribuição temporal dos desvios padronizados da precipitação média anual, no período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE

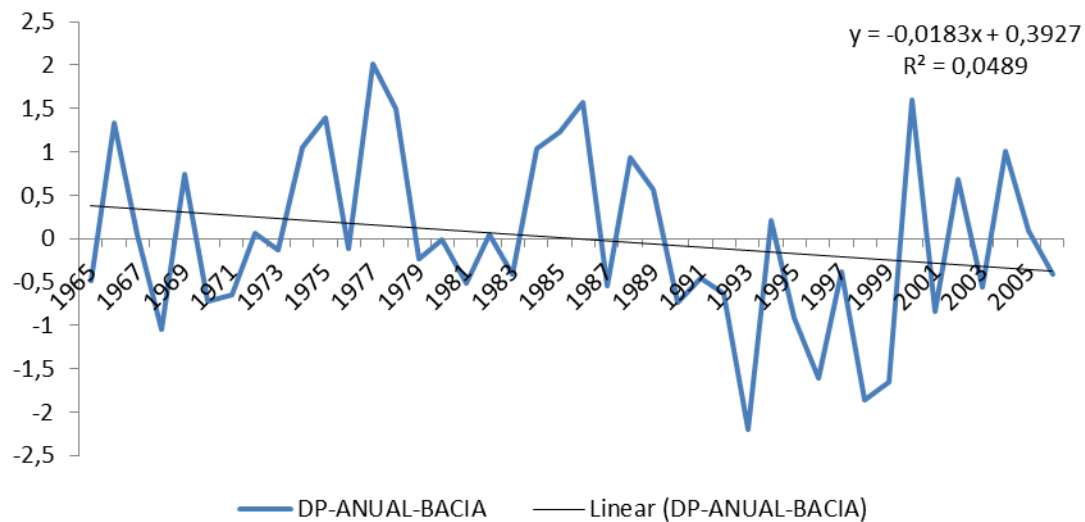
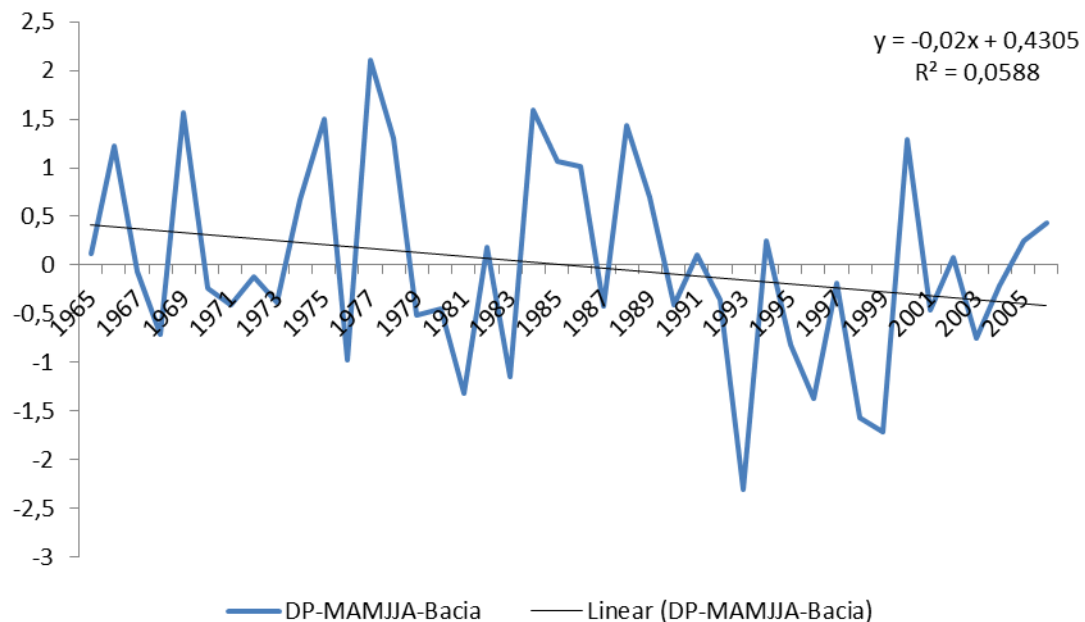


Figura 18. Distribuição temporal dos desvios padronizados da precipitação média durante a estação chuvosa, para o período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE



É importante salientar que a variabilidade do clima pode se apresentar em escalas temporais diferentes. Nesta análise, constatarem-se variabilidades intrasazonal, interanual e decadal da precipitação, as quais podem ser justificadas pela atuação de fenômenos

atmosféricos de grande escala, conforme resultados encontrados por Mantua et al. (1997), Moura et al. (2000), Wolter & Timlin (2006) e Silva (2006).

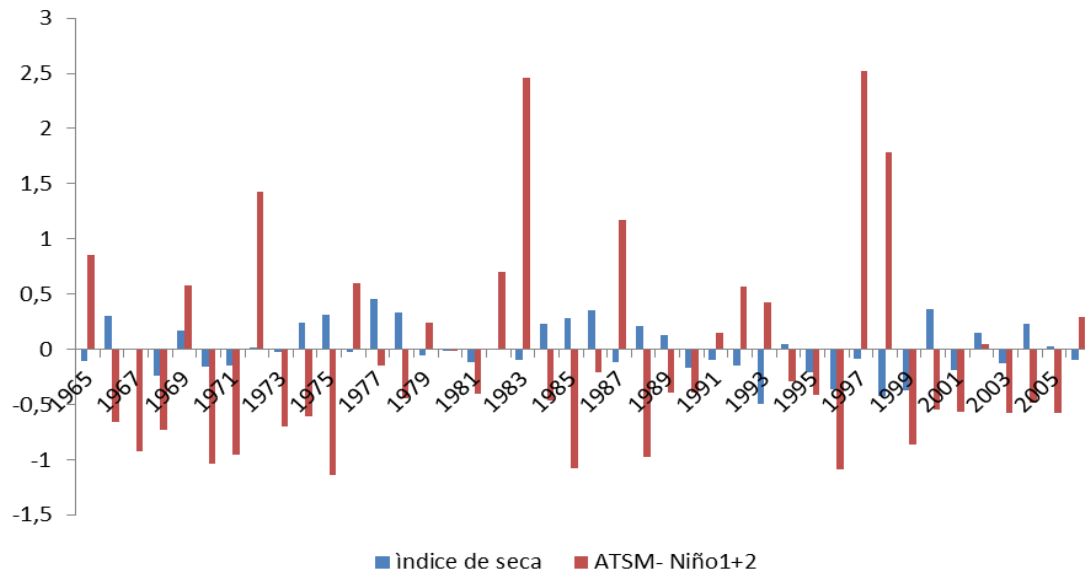
Tabela 6. Classificação dos anos de El Niño, La Niña e neutros com base no IOS proposto por Galvani & Pereira (1997).

ENOS	Intensidade		
	Fraco	Moderado	Forte
El Niño	1966, 1969, 2002 e 2004	1965, 1972, 1977, 1983, 1991, 1993 e 1997	1982, 1987, 1992 e 1994
La Niña	1968, 1976, 1981, 1985 e 2001	1967, 1970, 1989 e 1996	1971, 1973, 1974, 1975, 1988, 1999 e 2000
Neutro	1978, 1979, 1980, 1984, 1986, 1990, 1995, 1998, 2003, 2005 e 2006		

4.5. Análise Anual das Anomalias de TSM no Oceano Pacífico (Niño1+2), Durante as Fases da ODP e sua Relação com a Precipitação Anual na Bacia do Una, PE

De acordo com a análise conjunta das anomalias de TSM nos anos de El Niño, La Niña e Neutros, durante as duas fases da ODP e sua relação com o índice de seca sobre a bacia do rio Una (Figura 19), pode-se observar a alta variabilidade interanual e interdecadal nas anomalias de TSMs, com resfriamentos (ATSM negativa) e aquecimentos (ATSM positiva), e na precipitação, com ocorrência de anos com extremos climáticos secos (índices de seca negativos) e chuvosos (índices de seca positivos). A precipitação anual foi classificada com base no índice de seca e, posteriormente, comparada com a atuação dos fenômenos atmosféricos de grande escala (ENOS e ODP). A região do Niño1+2 (N1+2) foi escolhida porque apresentou maior correlação com o índice de seca. A Tabela 6 mostra as condições climáticas observadas, referentes aos anos de El Niño/La Niña e Neutros, e sua relação com os anos secos, normais e chuvosos durante as fases da ODP. No APÊNDICE D consta um resumo das condições das variáveis climáticas analisadas.

Figura 19. Distribuição anual das anomalias de TSM no Pacífico (N1+2) e sua relação com o índice de seca no período de 1965 a 2006 na bacia do Una, PE. Condições de El Niño (ATSM positiva) e La Niña (ATSM negativa).



Durante a ODP (-) são observadas anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical, em ambos os hemisférios (Mantua et al., 1997). A última ODP (-) teve início em 1947 e terminou em 1976. Analisando-se o período de 1965 a 1976, coerente com a ODP (-), constatam-se quatro anos de El Niño e oito de La Niña (Tabela 7). Dos quatro eventos de El Niño, três tiveram precipitação normal, ou seja, em torno da média esperada e um foi chuvoso. Em relação a La Niña, cinco anos tiveram precipitação normal, dois foram chuvosos e um teve seca moderada, com redução pluviométrica em torno 40 % da média esperada.

Durante a ODP (+) observam-se anomalias de TSM positiva no Pacífico Tropical e anomalias negativas de TSM no Pacífico Extratropical, de ambos os hemisférios (Mantua et al., 1997). No período de 1977 a 2006, coerente com a ODP (+), foram constatados doze anos de El Niños, nove de La Niñas e nove Neutros (Tabela 6). Durante os episódios de El Niños, oito anos foram normais, dois chuvosos e dois secos. É importante salientar que as décadas de 80 e 90 foram marcadas pela ocorrência de El Niños com intensidade forte. Os nove anos de La Niñas foram quatro com precipitação normal, três chuvosos e dois secos. Em relação aos anos Neutros, situação em que o IOS, parâmetro indicador da fase e intensidade do ENOS, foi inferior a $\pm 0,25$, indicando situação de neutralidade (GALVANI & PEREIRA, 1997), foram quatro anos com precipitação normal, três chuvosos e um seco.

Tabela 7. Resumo da classificação pluviométrica anual na bacia do Una, PE, durante as fases do ENOS e anos Neutros e sua relação com a ODP.

Fases da ODP	Fases do ENOS	Classificação pluviométrica anual		
		Normal	Chuvoso	Seco
ODP (-) 1946 a 1977 (1965 A 1976)	El Niño	1965**, 1969* e 1972**	1966*	-----
	La Niña	1967**, 1970**, 1971***, 1973*** e 1976*	1974 e 1975***	1968*
	Neutro	-----	-----	-----
ODP (+) 1977 a 2006	El Niño	1982***, 1983**, 1987***, 1991**, 1992***, 1994***, 1997**, 2002* e 2005*	1977** e 2004*	1993** e 1998***
	La Niña	1981*, 1989** e 2001*	1985*, 1988*** e 2000***	1996** e 1999***
	Neutro	1979, 1980, 1990, e 2003 e 2006	1978, 1984 e 1986	1995

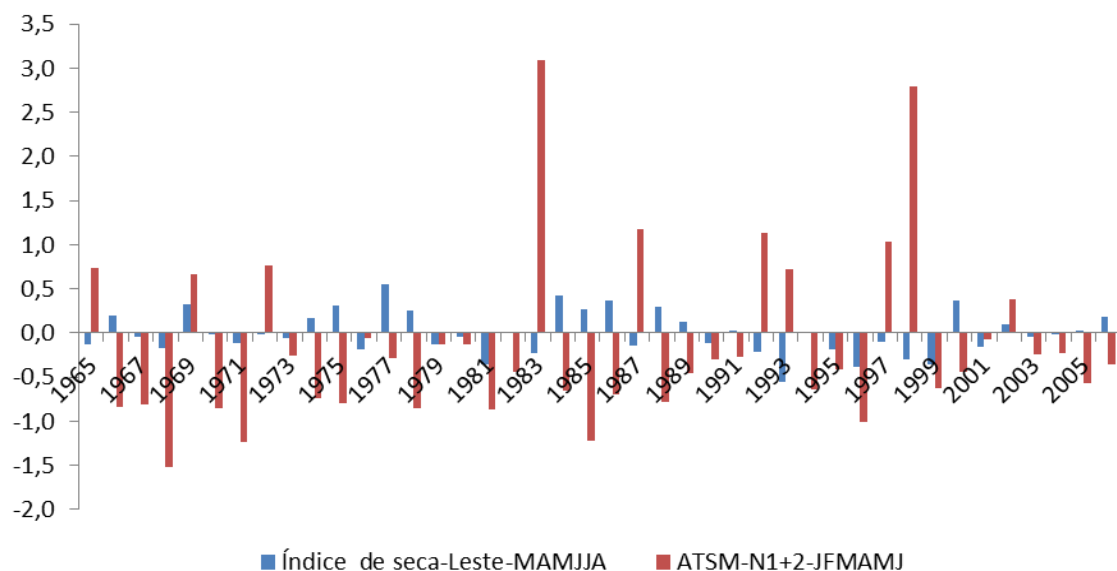
Legenda: * indica a intensidade do fenômeno ENOS: *Fraco, ** Moderado e *** Forte.

Portanto, sugere-se que há uma maior tendência de ocorrência de eventos de La Niña durante a ODP (-), enquanto que na ODP (+) observou-se maior frequência de El Niño e de anos Neutros. Estes ocorreram, geralmente, durante a transição entre as fases quente/fria do ENOS. Em relação à ocorrência de anos com extremos climáticos, constatou-se a ocorrência de secas extremas e generalizadas, no total de seis, as quais ocasionaram redução pluviométrica superiores a 50 % em relação a média esperada, três delas estiveram relacionadas a La Niña (1 na ODP (-) e 2 na ODP (+)), duas relacionadas ao El Niño durante a ODP (+) um em ano Neutro (ODP+). É importante ressaltar que, geralmente, os eventos El Niño/La Niña têm início no segundo semestre de um ano e terminam no primeiro semestre do ano seguinte, de modo que a média anual das variáveis climáticas aqui analisadas não representa exatamente o que ocorreu em relação à intensidade do fenômeno e os seus efeitos. Sendo assim, para melhor compreender a variabilidade temporal e espacial da precipitação e sua relação com o ENOS, a área da bacia foi dividida em dois setores (Leste e Oeste) e, posteriormente, as variáveis climáticas foram analisadas semestralmente.

4.6. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Pacífico (N1+2), sua Relação com a ODP e a Precipitação no Setor Leste da Bacia do Una, PE.

Para classificação da qualidade da estação chuvosa utilizou-se a média das anomalias de TSM para o semestre (janeiro a junho) e o índice de seca para o semestre mais chuvoso (março a agosto) para duas localidades representativas (Barreiros e Palmares), situadas no setor Leste da bacia (Litoral e Zona da Mata). Foram consideradas as anomalias de TSM com antecedência de dois meses, em relação ao início do período chuvoso e quatro meses, simultaneamente com o período chuvoso, com o objetivo de verificar a resposta da interação entre o oceano e a atmosfera. A precipitação média observada durante o período chuvoso foi classificada com base no índice de seca e, posteriormente, comparada com a atuação dos fenômenos atmosféricos de grande escala (Figura 20). A Tabela 8 mostra as condições climáticas observadas referentes aos episódios El Niño/La Niña e Neutros e a classificação da estação chuvosa durante as fases da ODP.

Figura 20. Distribuição semestral das anomalias de TSM no Pacífico (N1+2) e sua relação com o índice de seca na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006, no leste da bacia do Una, PE.



Durante a ODP (-) foram constatados duas estações chuvosas com episódios de El Niños, seis de La Niñas e quatro com condição de neutralidade (Tabela 7). Durante a atuação do El Niño observou-se uma estação chuvosa normal e uma chuvosa. Em relação a La Niña foram constatadas cinco estações normais e uma chuvosa, e para os quatro semestres Neutros, observou-se que a estação chuvosa foi normal.

Durante a ODP (+), foram constatadas doze estações chuvosas com atuação do El Niño, dez com La Niña e oito Neutros (Tabela 8). Durante os episódios de El Niño observaram-se seis estações normais, quatro secas e duas chuvosas. Para os eventos La Niña verificaram-se cinco estações chuvosas, três normais e duas secas. Em relação aos semestres Neutros, sete deles apresentaram estações chuvosas normais e uma seca. No APÊNDICE E consta um resumo de todas as variáveis analisadas. Deste modo, é possível constatar que a presença do El Niño ou La Niña não é suficiente para determinar a qualidade da estação chuvosa, resultados semelhantes foram constatados por Silva (2006) para a estação chuvosa do Ceará.

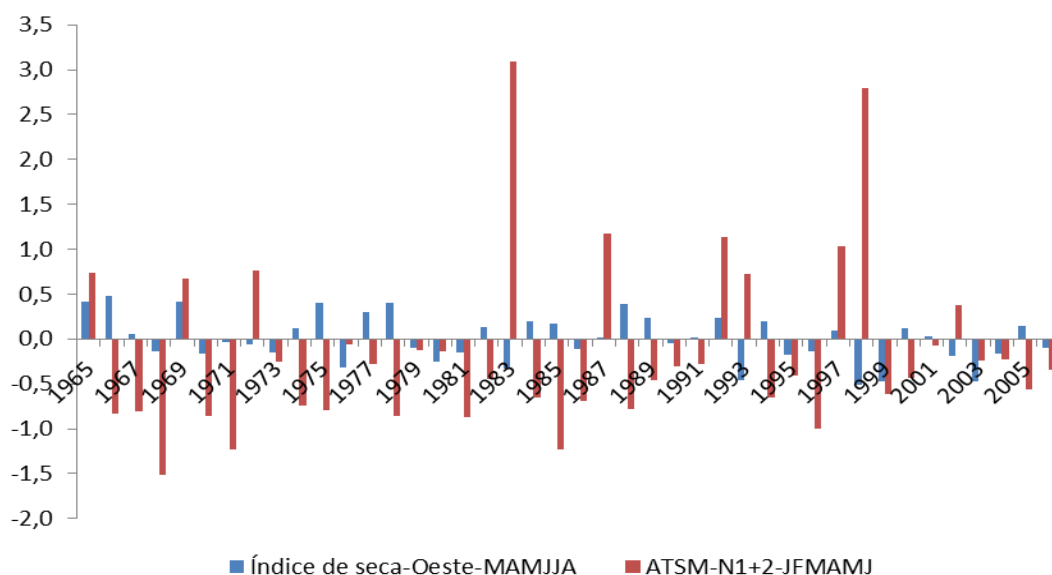
Tabela 8. Resumo da classificação da estação chuvosa de março a agosto para o leste da bacia do Una, PE e sua relação com as fases do ENOS, anos Neutros e a ODP.

Fases da ODP	Fases do ENOS	Classificação da estação chuvosa Leste da bacia		
		Normal	Chuvosa	Seca
ODP (-) 1946 a 1977 (1965 A 1976)	El Niño	1966**	1969*	-----
	La Niña	1967***, 1968**, 1971***, 1974*** e 1976***	1975***	-----
	Neutro	1965, 1970, 1972 e 1973	-----	-----
ODP (+) 1977 a 2006	El Niño	1987***, 1991*, 1994**, 1997*, 2003* e 2005*	1977* e 1978*	1983***, 1992*, 1993** e 1998***
	La Niña	1979*, 1989*** e 2001**,	1984*, 1985**, 1986*, 1988* e 2000***	1996*** e 1999***
	Neutro	1980, 1982, 1990, 1995, 2002, 2004 e 2006	-----	1981

4.7. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Pacífico (N1+2), sua Relação com a ODP e a Precipitação no Setor Oeste da Bacia do Una, PE

Aplicando-se a mesma metodologia utilizada para analisar a estação chuvosa no setor Leste, foram considerados os índices de seca de três localidades do Agreste (São Caetano, Jurema e São Bento do Una), situadas no oeste da bacia (Figura 21). A Tabela 8 mostra as condições climáticas observadas, referentes aos episódios El Niño/La Niña e Neutros e a classificação da estação chuvosa durante as fases da ODP.

Figura 21. Distribuição semestral das anomalias de TSM no Pacífico (N1+2) e sua relação com o índice de seca na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006, no oeste da bacia do Una, PE



De acordo com a análise das anomalias de TSM mensais para o semestre (janeiro a junho) e o índice de seca para o período chuvoso (Figura 21) no oeste da bacia (Agreste), coerente com a ODP (-), foram constatados evidências de dois episódios de El Niños, seis La Niñas e quatro com condição de neutralidade (Tabela 9). Durante a atuação do El Niño, a estação chuvosa foi considerada normal. Em relação à atuação da La Niña, observaram-se quatro estações chuvosas normais, uma seca e uma chuvosa. Durante os semestres Neutros foram observados três estações chuvosas normais e uma chuvosa.

Durante a ODP (+), foram constatadas doze estações chuvosas com a atuação de El Niños, dez La Niñas e oito Neutras (Tabela 9). Durante os episódios de El Niños, a estação chuvosa teve a seguinte classificação: cinco normais, cinco secas e duas chuvosas. Eventos de

La Niñas: cinco normais, dois chuvosas e cinco secas. Os semestres com ausência de El Niño e La Niña apresentaram: sete estações chuvosas normais e uma seca. No APÊNDICE F consta um resumo de todas as variáveis analisadas.

Tabela 9. Resumo da classificação da estação chuvosa de março a agosto para o Oeste da bacia do Una, PE e sua relação com as fases do ENOS, anos Neutros e a ODP.

Fases da ODP	Fases do ENOS	Classificação da estação chuvosa no Oeste da bacia		
		Normal	Chuvosa	Seca
ODP (-) 1946 a 1977 (1965 A 1976)	El Niño	-----	1966** e 1969*	-----
	La Niña	1967***, 1968**, 1971*** e 1974***	1975***	1976***
	Neutro	1970, 1972 e 1973	1965	-----
ODP (+) 1977 a 2006	El Niño	1987***, 1991*, 1994**, 1997* e 2005*	1977*, 1978* e 1992***	1983***, 1993**, 1998*** e 2003*
	La Niña	1979*, 1985**, 1986*, 1996***, 2000*** e 2001**	1984*, 1988* e 1989***	1999***
	Neutro	1981, 1982, 1990, 1995, 2002, 2004 e 2006	-----	1980

Legenda: * indica a intensidade do fenômeno ENOS: *Fraco, ** Moderado e * Forte.**

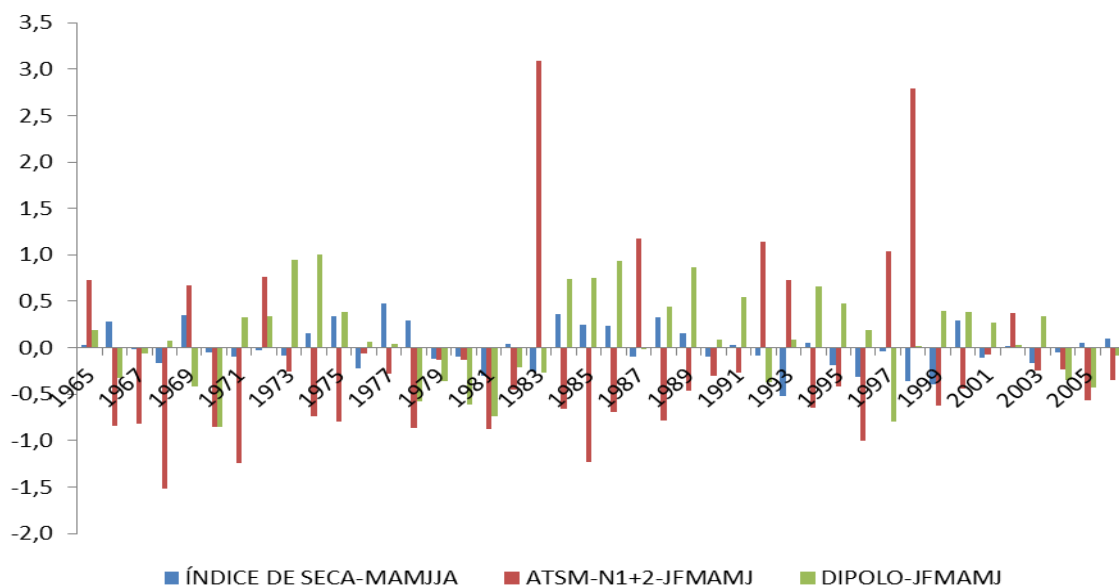
Comparando-se os efeitos do ENOS nos totais anuais e semestrais, sugere-se uma melhor representação da precipitação em relação à média esperada para os setores Leste e Oeste durante a estação chuvosa, pois é possível observar uma coerência durante os episódios de El Niños/La Niñas com a ocorrência de condições normais/secas/chuvosas durante a ODP (-) e ODP (+). Isto mostra que quando o ENOS e a ODP atuam no mesmo sentido do El Niño e ODP (+) ou da La Niña e ODP (-), há maior probabilidade de que os efeitos das fases extremas do ENOS sejam os esperados, coerente com os resultados encontrados por Silva (2006) para Fortaleza (CE), durante a estação chuvosa de fevereiro a maio. Pode-se observar que quando estes dois padrões de variabilidade atuam em sentidos opostos, El Niño e ODP (-)

ou La Niña e ODP (+), os episódios de El Niño/La Niña com ocorrência de condições extremas (secos/chuvosos) tendem a ser menos e com menor intensidade. É importante ressaltar que na ausência de eventos extremos do ENOS, durante as fases da ODP (-) e ODP (+), percebe-se que a quantidade de anos Neutros foram superiores e coincidentes com a estação chuvosa normal.

4.8. Análise Semestral das Anomalias de TSM no Atlântico Tropical (Dipolo) e sua Relação com o ENOS, durante a Estação Chuvosa na Bacia do Una, PE

Analizando-se as anomalias de TSM durante o semestre janeiro a junho no Atlântico Tropical (AT), sua relação com o ENOS e a qualidade da estação chuvosa sobre a bacia do Una, foi possível identificar diferenças marcantes nos padrões de comportamento entre as anomalias de TSM e a estação chuvosa (março a agosto), principalmente durante os anos de Dipolo Negativo e Neutros (Figura 22). No AT foram identificados: dezenove Dipolos Favoráveis (DF), treze Dipolos Desfavoráveis (DD) e dez anos Neutros (ATNE). Em relação à atuação do ENOS constataram-se: dezesseis La Niñas, quatorze El Niños e doze situações de neutralidade.

Figura 22. Distribuição das anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico e sua relação com os índices de seca na estação chuvosa, no período de 1965 a 2006, na bacia do Una, PE



Legenda: Dipolo Favorável (ATSM positiva) e Dipolo Desfavorável (ATSM negativa)

A Tabela 10 mostra um resumo das condições oceânicas (Dipolo do Atlântico e o ENOS) e sua relação com a variabilidade intrasazonal da precipitação na bacia do Una.

Analisando-se, simultaneamente, o comportamento dos oceanos, pode-se considerar uma combinação nos sinais opostos (positivo/negativo) das anomalias de TSM (DF/ La Niña), que resultou em doze anos coincidentes, ou seja, com atuação simultânea do DF e La Niña: seis deles com estação chuvosa marcada por precipitações acima da média esperada (1975, 1984, 1985, 1986, 1988 e 2000), quatro deles com estação chuvosa normal (1971, 1974, 1989 e 2001) e dois com condições de secas (1996 e 1999). Por outro lado, observaram-se sete anos com DF e estação chuvosa normal, três deles coincidentes com El Niño (1991, 1994 e 2003) e quatro coincidentes com a ausência do ENOS (1965, 1972, 1973 e 1995). No APÊNDICE G consta um resumo de todas as variáveis analisadas.

Tabela 10. Resumo da atuação do Dipolo, ENOS e a precipitação da estação chuvosa de março a agosto na bacia do Una, PE.

Eventos Climáticos	El Niño	La Niña	Neutro
Dipolo Favorável (+)	1991, 1994 e 2003	1971, 1974, 1975, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1999, 2000 e 2001	1965, 1972, 1973 e 1995
Dipolo Desfavorável (-)	1966, 1969, 1978, 1983, 1992, 1997 e 2005	1979 e 1996	1970, 1980, 1981, 1982 e 2004
Neutro	1977, 1987, 1993 e 1998	1967, 1968 e 1976	1990, 2002 e 2006

Legenda: Chuvoso = azul, Normal = Preto e Seco = Vermelho.

A relação entre a ocorrência de DD e as fases do ENOS indicou diversos padrões de variabilidade no comportamento da precipitação, pois foram observados oito anos com estação chuvosa normal, três deles coerente com a atuação do El Niño (1992, 1997 e 2005), quatro deles durante a ausência do ENOS (1970, 1980, 1982 e 2004) e apenas um durante episódio de La Niña (1979). Por outro lado, foram observados três anos com estação chuvosa caracterizada por chuvas acima da média esperada (1966, 1969 e 1978) coincidentes com o DD e o El Niño e apenas dois anos com estação chuvosa seca um coincidente com El Niño (1983) e o outro em situação de neutralidade (1981).

Durante a ocorrência de anos com o ATNE, foram identificados seis anos com estação chuvosa normal, três deles coincidentes com a ausência de ENOS (1990, 2002 e 2006), ou seja, os dois oceanos apresentaram, simultaneamente, condições normais. Em dois dos anos, observaram-se atuação da La Niña (1967 e 1968) e em apenas um ano ocorreu o El Niño (1987). Foi constatado ainda outro padrão de ATNE e fases do ENOS, identificado durante os anos com estação chuvosa seca (no total de três), dois deles relacionados ao El Niño (1993 e 1998) e apenas um relacionado a La Niña (1976).

De modo geral, pode-se considerar que os padrões de variabilidade climática de grande escala produzidos pelas alterações no comportamento das anomalias de TSM nos oceanos adjacentes resultam nas configurações do ENOS e do Dipolo do Atlântico. Estes fenômenos atuam, conjuntamente, através de teleconexões atmosféricas ocasionando mudanças no padrão de circulação das células de Hadley (circulação atmosféricas com direção meridional nos trópicos) e Walker (circulação atmosférica com direção Leste-Oeste) e, conseqüentemente, ocasionam mudanças no padrão das chuvas através de extremos climáticos. De modo que foi possível constatar a variabilidade dos índices pluviométricos dentro da estação chuvosa em toda a área da bacia. Nos APÊNDICES C, D, E, F e G constam um resumo de todas as variáveis climáticas analisadas anualmente e durante o período chuvoso.

Considerando-se as condições oceânicas dominantes no oceano Pacífico Equatorial (N1+2), pode-se constatar que dos 42 anos analisados, 59 % (25 anos) apresentaram estação chuvosa normal, 44 % destes (11 anos) ocorreram durante a ausência do ENOS, ou seja, condições de normalidades nas TSM e 56 % (14 anos) estiveram relacionadas à ocorrência de El Niño e La Niña. Em relação aos anos que apresentaram variabilidade pluviométrica durante a estação chuvosa com ocorrência de extremos climáticos, 24 % (10 anos) do total analisado, apresentaram estação chuvosa com precipitações acima da média esperada (seis anos coincidentes com a atuação da La Niña e quatro com o El Niño) e 16 % (sete anos) apresentaram condições de seca durante a estação chuvosa (três anos compatíveis com o El Niño, três com a La Niña e um Neutro).

Quanto ao desempenho do Dipolo do Atlântico, observou-se praticamente a mesma proporção na quantidade de anos com estação chuvosa normal, chuvosa e seca (quando comparadas com as fases do ENOS). Percebe-se um equilíbrio entre a interação oceano-atmosfera e seus efeitos no comportamento da precipitação, pois as décadas de 80 e 90 foram marcadas com ocorrência de extremos climáticos (coerente com frequência de El Niño/La

Niña intensos), enquanto nas décadas anteriores e posteriores observaram-se tendência de normalidade nos dois oceanos.

4.9. Análise das Correlações entre as Precipitações na Bacia do Una, PE e as Anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico

Na Tabela 11 constam as correlações lineares, para o período de 1965 a 2006, entre o índice de seca da precipitação anual e da estação chuvosa na bacia do Una e as anomalias anuais e semestrais (janeiro a junho) de TSM do Pacífico Equatorial (Niño1+2) e do Atlântico (região do Dipolo). De maneira geral, observam-se correlações negativas fracas entre as anomalias de TSM na região do Niño1+2 e o índice de seca para a bacia do Una. Os maiores coeficientes foram observados para a estação chuvosa da bacia (-0,33) e para o setor leste (-0,31), seguido pelo índice de seca anual para a bacia (-0,24). As correlações entre as anomalias de TSM do Atlântico norte e o índice de seca anual para a bacia indicaram também correlação fraca (-0,31), bem como para o Dipolo e a estação chuvosa no setor leste (0,24). Analisando-se os padrões de variabilidade nos dois oceanos durante o período chuvoso, constataram-se correlações moderadas entre o índice IOS e o Dipolo do Atlântico (0,41) e Atlântico norte (-0,46). É importante ressaltar que, as correlações entre o índice de seca anual de algumas cidades e as anomalias de TSM para os dois oceanos, durante os anos secos e chuvosos, tiveram valores médios ou moderados (Tabela 12). Em termos gerais, quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de correlação (independente do sinal), maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Tabela 11. Correlações lineares entre os índices de secas anual e da estação chuvosa da Bacia do Una e as anomalias de TSM de janeiro a junho e anual do Pacífico e Atlântico

Variáveis	Índice de seca estação chuvosa			Índice de seca Anual
	Oceano-atmosfera	Setor Leste	Setor Oeste	Bacia
N1+2		-0,31	-0,28	-0,33
N3		-0,27	-0,22	-0,28
ATSM-ATS		0,16	-0,11	0,08
ATSM-ATN		-0,17	-0,13	-0,31
DIPOLO		0,24	0,02	0,19

Tabela 12. Correlações lineares entre o índice de seca anual para os anos chuvosos e secos e as anomalias de TSM nos oceanos Pacífico (N1+2 e N3) e Atlântico Tropical.

Cidades Mesorregião	Anomalias de TSMs anos chuvosos				Anomalias de TSMs anos secos			
	ATN	ATS	N1+2	N3	ATN	ATS	N1+2	N3
Barreiros/Litoral	-0,25	0,28	0,36	0,08	0,29	-0,56	-0,39	-0,37
Palmares/ZM	-0,29	-0,07	0,31	0,45	-0,03	0,15	0,43	0,39
S. Joaquim do Monte/ZM	0,50	-0,67	0,48	0,48	-0,32	-0,32	-0,34	-0,16
São Caetano/Agreste	-0,06	0,30	-0,63	-0,57	-0,36	-0,60	-0,33	0,11
S. Bento do Una/Agreste	0,00	0,09	-0,14	-0,07	-0,14	-0,28	-0,63	-0,37

Legenda: ZM= Zona da Mata

Os sistemas meteorológicos mais importantes para a bacia do Una, responsáveis pela precipitação durante a estação chuvosa (março a agosto), são os resquícios de frentes frias oriundos do sul do Brasil, ondas de leste, sistemas de brisas e a Zona de Convergência Intertropical. Esses sistemas são condicionados pelo Dipolo do Atlântico: quando as águas do Atlântico sul estão relativamente mais frias (DD) os sistemas meteorológicos ficam enfraquecidos, quando mais aquecidas (DF), os sistemas se fortalecem e favorecem a ocorrência de precipitações.

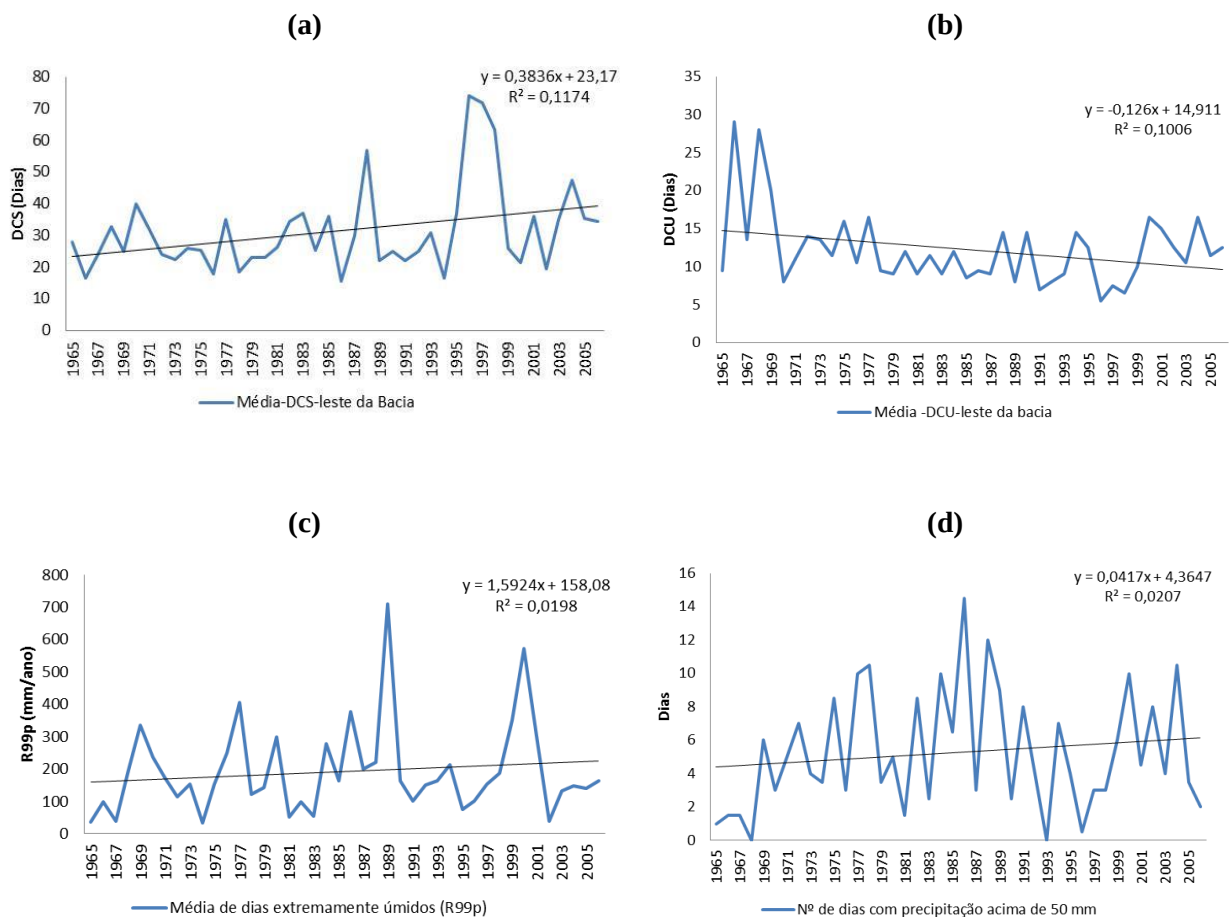
4.10. Análise Temporal dos Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica Diária para a Bacia do Una, PE

Para avaliar a variabilidade da precipitação diária, foram analisados quatro dos principais índices de detecção de tendências climáticas para os setores Leste e Oeste da bacia: dias consecutivos secos (DCS), dias consecutivos úmidos (DCU), dias extremamente úmidos (R99p) e a ocorrência de precipitações diárias superiores e iguais a 50 mm.dia⁻¹ (R50mm). No APÊNDICE H e I consta um resumo de todas as localidades com todos os índices e significância estatística.

A análise da série temporal dos índices de detecção de extremos climáticos para o setor Leste mostrou tendência positiva para o índice DCS (Figura 23a), tendo sido observados em média 35 dias consecutivos secos por ano e variação entre 19 e 69 dias. Por outro lado, o índice DCU (Figura 23b) também indicou tendência positiva, tendo sido observados em média 10 dias consecutivos úmidos por ano e variação entre 6 e 21 dias. Comparando-se os índices

DCS e DCU perceberam-se aumento na frequência de dias consecutivos com chuva e também no período de estiagem. Resultados semelhantes sobre a tendência positiva dos índices DCS e DCU foram encontrados por Lacerda et al. (2009) na bacia do Pajeú em Pernambuco. Os índices R99p (Figura 23c) e R50 mm (Figura 23d), não mostraram tendências ao longo da série. Em relação ao índice R50 mm que representa precipitações iguais ou superiores a 50 mm, foram observados, em média, cinco dias por ano, variando de 1 a 11 dias por ano, com maior frequência nas últimas décadas. É importante ressaltar que a ocorrência de 50 mm de precipitação por dia, representa um evento climático extremo suficiente para ocasionar alagamentos e inundações.

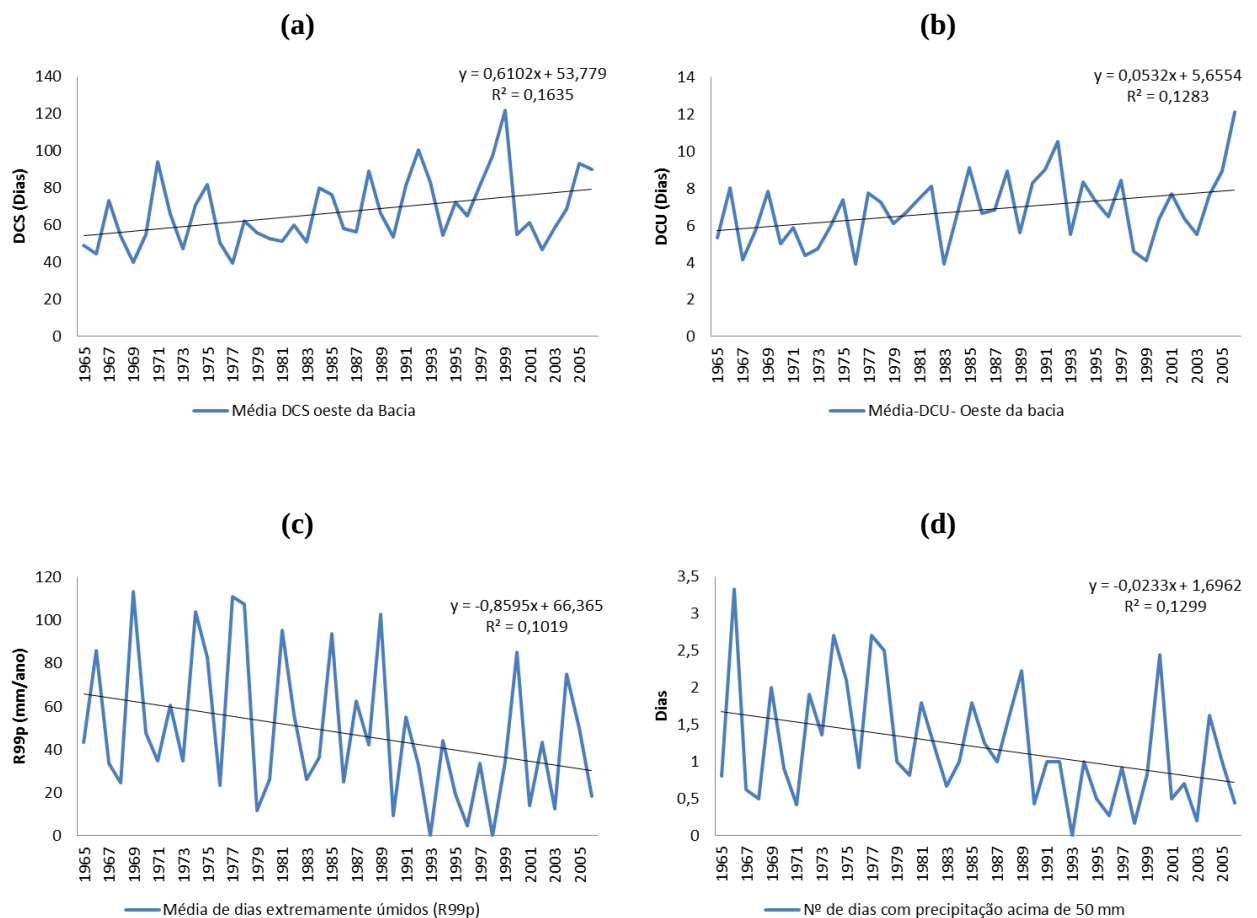
Figura 23. Série temporal dos índices de extremos climáticos DCS (a), DCU (b), R99P (c) e R50mm (d) para o Leste da bacia do rio Una, PE, no período de 1965 a 2006.



Os resultados da análise da série temporal dos índices de detecção de extremos climáticos para o setor Oeste apontaram tendência positiva para os índices DCS (Figura 24a) e DCU (Figura 24b), ou seja, aumento na quantidade de dias consecutivos secos e dias com

chuva. Foram observados em média 68 dias consecutivos secos, com mínimos e máximos de 37 e 127 dias. Em relação ao índice DCU, foram observados em média seis dias consecutivos com chuva por ano, com mínimos e máximos de 3 e 12 dias. Os índices R99p (Figura 24c) e R50 mm (Figura 24d) apresentaram tendência negativa.

Figura 24. Série temporal dos índices de extremos climáticos (DCS (a), DCU (b), R99P (c) e R50mm (d)), para o Oeste da bacia do rio Una, PE, no período de 1965 a 2006.

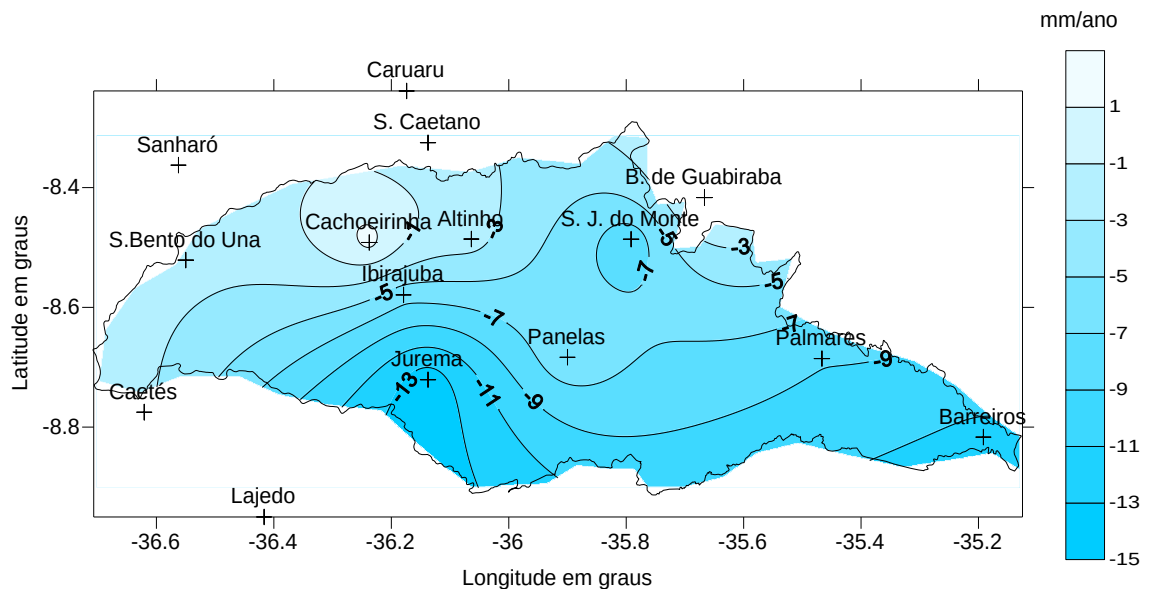


4.11. Análise Espacial dos Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica Diária para a Bacia do Una, PE.

Na análise espacial dos índices foram considerados o PRCPTOT, DCS, DCU, R99P e R50 mm. O índice PRCPTOT, indicou tendência negativa na maior parte da área da bacia (Figura 25), com redução média entre 1 e 10 mm. ano⁻¹. As cidades que apresentaram as maiores reduções foram: Jurema (-13 mm), (-11,4 mm), Palmares (-8,7 mm) e S. Joaquim do

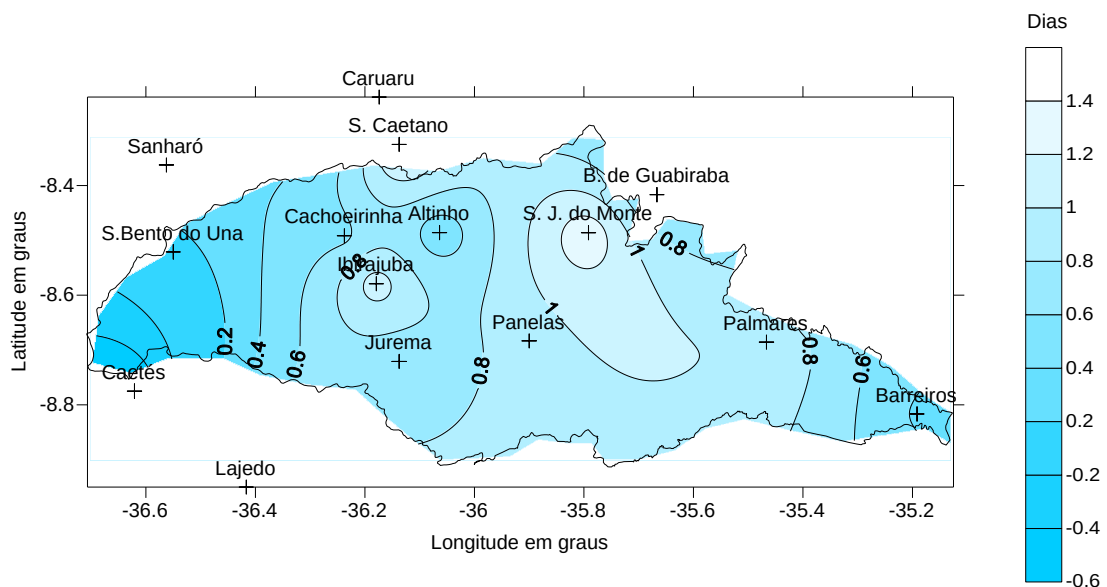
Monte (-8,4 mm). Nos APÊNDICES H e I encontram-se os valores da tendência dos índices analisados, com os respectivos significados estatísticos.

Figura 25. Distribuição espacial das tendências da precipitação total anual (PRCPTOT) na bacia do Una, PE



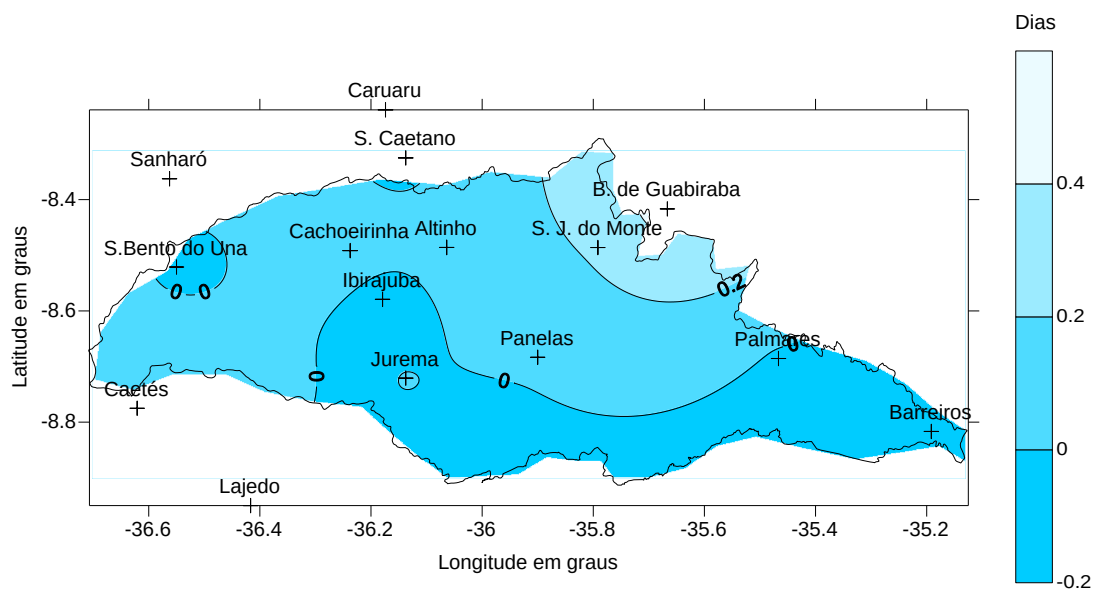
Foi observada tendência positiva do índice DCS em, praticamente, toda a extensão da bacia (Figura 26), com aumento de até 1 dia em algumas cidades (S. Caetano, S. Joaquim do Monte e Ibirajuba), isto indica que estar ocorrendo mais dias consecutivos sem precipitação.

Figura 26. Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos secos (DCS), em dias ano⁻¹, na bacia do Una, PE.



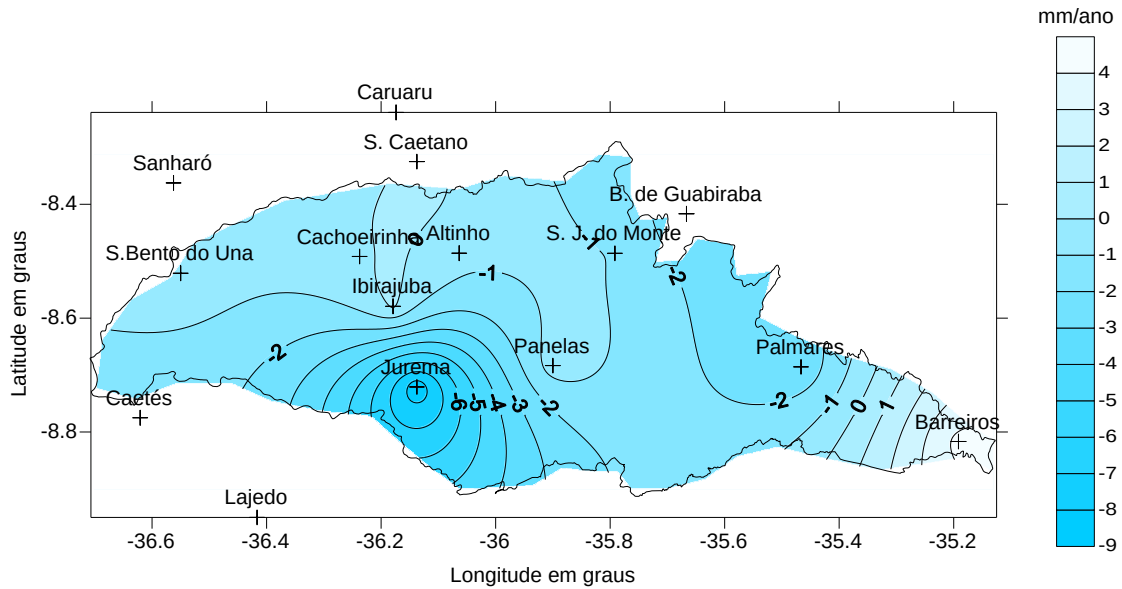
O índice DCU mostrou tendência positiva em algumas áreas da área da bacia, com destaque para as localidades de São Joaquim do Monte e Barra de Guabiraba (Figura 27). Os setores centro norte do Agreste e da Zona da Mata não mostraram tendência e no setor sul do Agreste e da Zona da Mata observou-se tendência negativa, com destaque para as cidades de Barreiros e Palmares, onde houve diminuição na quantidade de dias consecutivos com precipitação.

Figura 27. Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos úmidos (DCU), em dias ano⁻¹, na bacia do Una, PE.



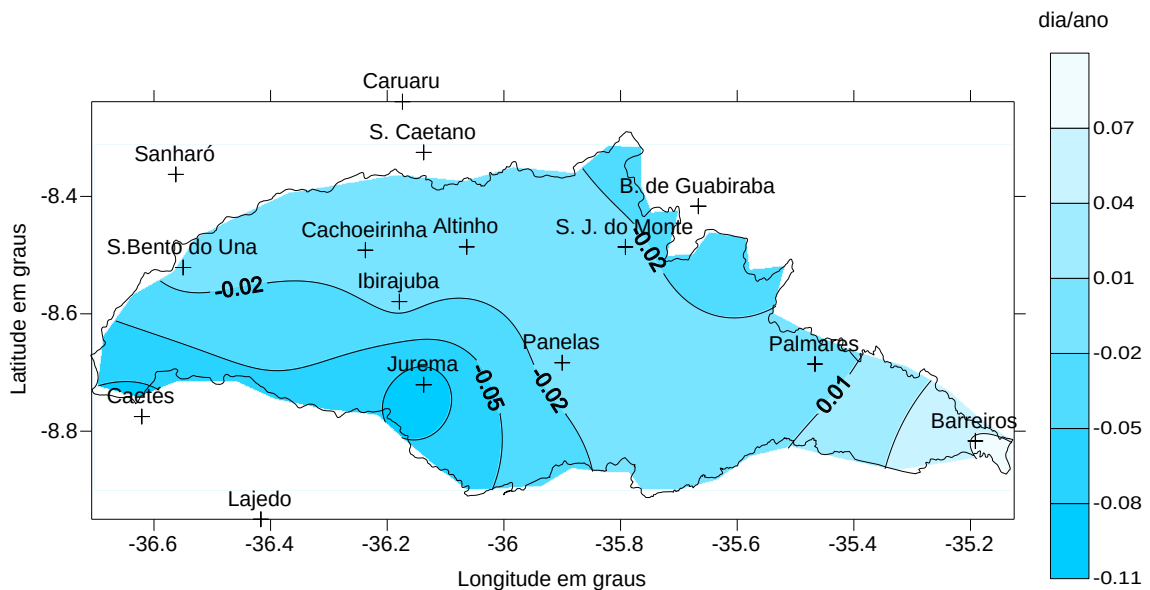
O índice **R99p**, que representa os dias extremamente úmidos no ano, indicou tendência negativa em, praticamente, toda a extensão da bacia com redução de até 8 mm/ano em Jurema. Em contrapartida, no Litoral observou-se tendência positiva com aumento de até 4 mm/ano em Barreiros (Figura 28).

Figura 28. Distribuição espacial da tendência de dias extremamente úmidos (R99p), na bacia do Una, PE.



Foi constatada tendência positiva na ocorrência de eventos com precipitações diárias iguais ou superiores a 50 mm/dia (Figura 29) no Litoral (Barreiros). Nas demais áreas foram registradas tendências negativas. É importante ressaltar que a ocorrência de 50 mm/dia de precipitação, representa um evento extremo, sendo suficiente para ocasionar alagamentos e inundações nas áreas urbanas, situação observada com maior frequência nas cidades litorâneas.

Figura 29. Distribuição espacial da tendência na ocorrência de dias com precipitações iguais ou superiores a 50 mm, na bacia do Una, PE.



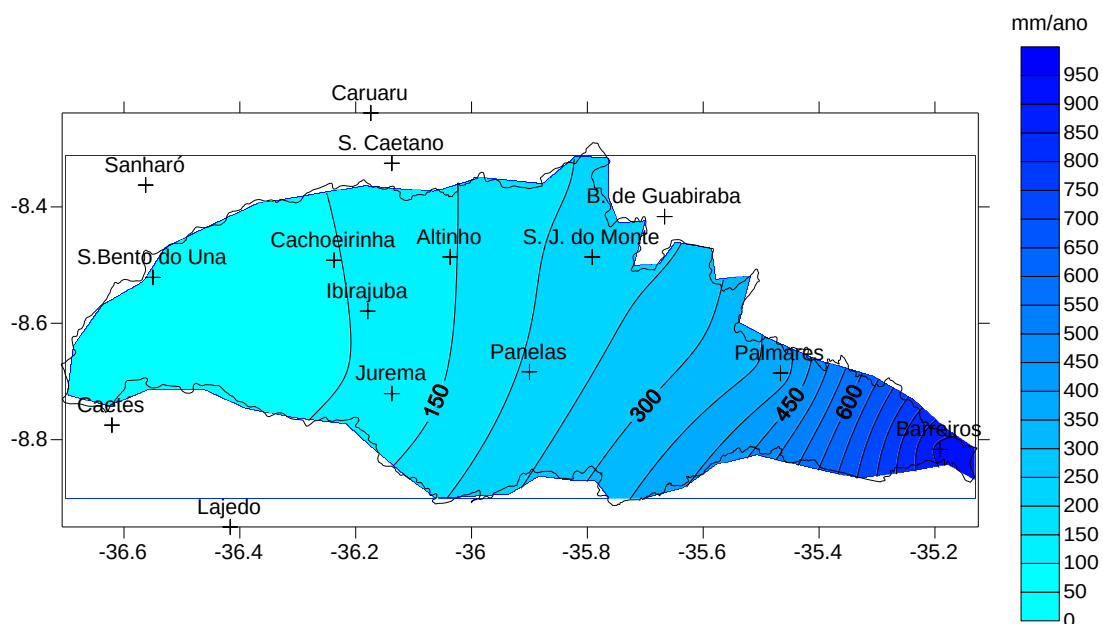
De um modo geral, todos os índices de detecção de mudanças climáticas apontaram tendência negativa no comportamento da precipitação diária. Os índices analisados indicaram tendência de redução de chuva sobre a bacia, aumento na quantidade de dias sem chuvas e diminuição dos dias com chuvas, e tendência positiva para precipitações diárias iguais e superiores a 50 mm no Litoral. Entretanto, ainda não se pode afirmar que as tendências climáticas detectadas por meio da precipitação diária têm relação com as mudanças climáticas globais, pois estas condições podem estar relacionadas aos fenômenos climáticos de grande escala que atuam ciclicamente sobre a região, ou ainda em decorrência de alterações no clima local e regional, devido a mudanças no uso e ocupação do solo, e processos de urbanização que têm crescido em alguns municípios nas últimas décadas. No Litoral observou-se uma diminuição do total anual da precipitação, mas um aumento dos eventos de chuvas intensas. Este resultado concorda com os observados por outros pesquisadores para outras partes do globo, como, por exemplo, RUSTICUCCI et al. (2010); RENOM et al. (2011); KING et al. (2012)

4.12. Análise da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Una, PE

As áreas com excedente hídrico anual estão situadas no Litoral e na Zona da Mata, ou seja, áreas onde as precipitações são mais regulares e melhor distribuídas ao longo do ano e superiores à evapotranspiração e onde há maior acúmulo de água nas barragens (Figura 30). Por outro lado, as áreas que não apresentaram excedente hídrico encontram-se no setor Oeste da bacia (Agreste).

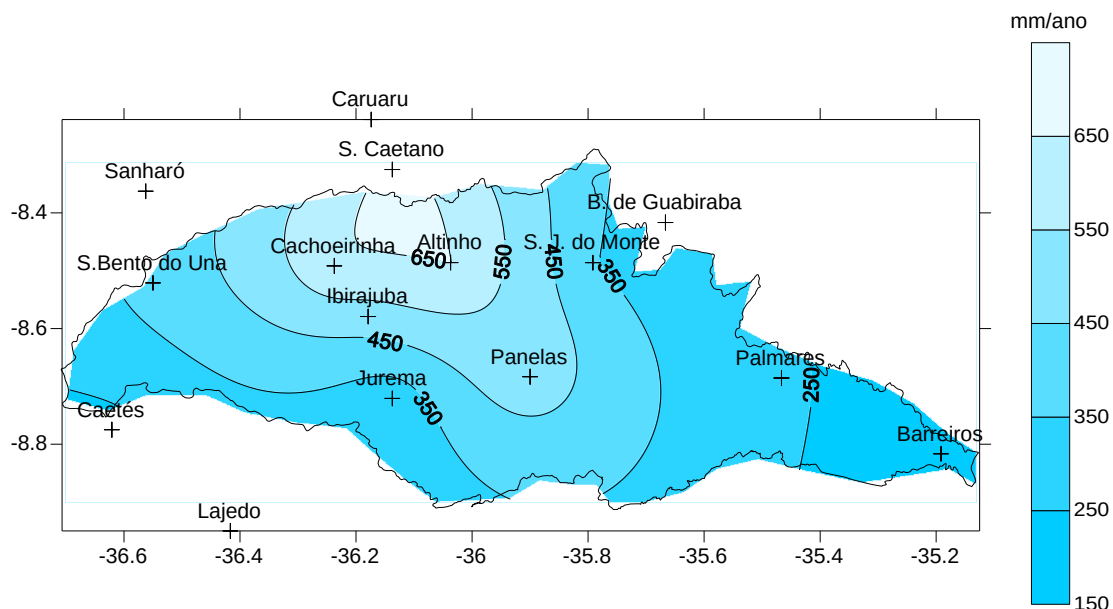
A situação mais crítica em termos de déficit hídrico, com valores superiores a 500 mm anuais ocorre nos municípios de Cachoeirinha, São Caetano, Ibirajuba, Panelas, Altinho e áreas circunvizinhas, com déficit hídrico superiores a 500 mm, ou seja, onde as taxas de evapotranspiração são superiores às precipitações (Figura 30). Ressalta-se que nos municípios supracitados observou-se tendência positiva no índice DCS.

Figura 30. Distribuição espacial do excedente hídrico médio anual na bacia do Una, PE



Em termos gerais, as áreas com maiores deficiências hídricas são também as que apresentam vulnerabilidade climática, que se referem aos setores do alto curso do rio Una (nascente do rio) e centro norte do Agreste.

Figura 31. Distribuição espacial do déficit hídrico médio anual para a bacia do Una, PE



5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1. Conclusões

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

1. A análise da precipitação mensal na área da bacia do Una indicou que as chuvas ocorrem com maior frequência no setor leste (Litoral e Zona da Mata) de março a agosto, enquanto no setor oeste (Agreste) a estação chuvosa inicia-se em fevereiro/março e se estende até julho. De acordo com os valores do índice de aridez foram identificadas três regiões climaticamente homogêneas com subtipos climáticos, semiárido, subúmido seco e subúmido úmido. Isso indica que praticamente metade da área da bacia (Agreste) apresenta alta susceptibilidade às alterações climáticas, desertificação e aridização.
2. A distribuição temporal e espacial da precipitação mesmo em anos considerados “normais” é bastante irregular durante o período chuvoso, tanto na região Semiárida como na Zona da Mata e Litoral. Esta variabilidade pode estar associada a fatores externos, como a atuação cíclica do ENOS, Dipolo do Atlântico e outros fenômenos de grande escala, juntamente com as condições locais como a posição e exposição das vertentes topográficas, a presença ou não de corpos hídricos, a influência da topografia ou ainda intrínseca ao clima da região Tropical.
3. Os índices extremos de detecção de mudanças climáticas derivados da precipitação diária indicaram tendência de redução de chuva em toda a extensão da bacia, aumento na quantidade de dias secos e diminuição dos dias úmidos, e tendência positiva na quantidade de dias com precipitações iguais e superiores a 50 mm por dia no Litoral (Barreiros).
4. Atuação conjunta dos fenômenos oceânicos e atmosféricos de grande escala, como ODP, ENOS e Dipolo do Atlântico, com suas fases distintas, exercem grande influência no comportamento pluviométrico interdecadal, anual, semestral e mensal, modulando a qualidade da estação chuvosa. A ocorrência do ENOS nem sempre é o fator determinante para a qualidade da estação chuvosa. Em alguns casos, mesmo com a presença de condições extremas do ENOS, o comportamento das temperaturas do Atlântico Tropical foram determinantes na quantidade de chuva.

5. Em relação à ODP sugere-se que há maior tendência de ocorrência de eventos de La Niña durante a ODP (-), enquanto que na ODP (+) há maior frequência de El Niño e de anos Neutros, que ocorreram, geralmente, durante a transição entre as fases quente/fria do ENOS.
6. Comparando-se as fases do ENOS e a precipitação anual e semestral, percebe-se melhor definição dos fenômenos e sua relação com os impactos esperados, quando avaliados durante o período chuvoso, El Niño/La Niña/Neutro, coerentes com a qualidade da estação chuvosa seca/chuvosa/normal. Além disso, foram contatadas diversas padrões de variabilidades: El Niño/La Niña com intensidade fraca coincidente com estação chuvosa normal e El Niños/La Niñas coincidentes com os extremos climáticos secos/chuvosos. Algo semelhante aconteceu em relação ao Dipolo, no que diz respeito aos padrões climáticos: DD/DF/ATNE coincidentes com a estação chuvosa seca/chuvosa/normal.
7. Comparando-se os efeitos combinados do ENOS e o Dipolo e seus impactos na estação chuvosa observou-se as seguintes combinações: El Niño/DD coincidente com a estação chuvosa seca/chuvosa/normal. El Niño/DF e El Niño/ ATNE coincidentes com a estação chuvosa normal. Por outro lado, verificou-se: La Niña/DF coincidente com a estação chuvosa normal/chuvosa/seca. La Niña/DD, La Niña/ATNE e Neutro/ATNE coincidentes com a estação chuvosa normal.
8. As correlações entre a precipitação e as anomalias de TSM nas regiões do N1+2 e N3 indicaram correlações positiva e negativa variando de fracas a moderadas. As maiores ocorreram com a estação chuvosa na bacia (-0,33) e no setor leste (-0,31) e com a média pluviométrica anual (-0,24). Em relação ao Atlântico, as maiores correlações ocorreram entre o Atlântico Norte e a média anual da bacia (-0,31) e o Dipolo durante a estação chuvosa no setor leste (0,24). Analisando-se os padrões de variabilidade nos dois oceanos durante o período chuvoso, constatou-se correlação moderada entre o índice IOS e o Dipolo do Atlântico (0,41) e o Atlântico norte (-0,46). No geral, as maiores correlações foram observadas quando comparadas com a precipitação individual de cidades do setor Leste e Oeste em anos chuvosos e secos.
9. Em relação aos resultados obtidos por intermédio do balanço hídrico climático, constatou-se que as áreas de maior deficiência hídrica estão localizadas no Agreste central e norte, com destaque para as cidades de Cachoeirinha, São Caetano e

Ibirajuba, e as áreas com maior potencial hídrico referem-se ao Litoral e a Zona da Mata.

10. Em termos gerais, a análise pluviométrica apontou padrões de variabilidades e tendências de alterações climáticas. Entretanto, ainda não se pode afirmar que as tendências climáticas detectadas por meio dos índices oriundos da precipitação diária têm relação com as mudanças climáticas globais, pois estas condições podem estar relacionadas aos fenômenos climáticos de grande escala que atuam ciclicamente sobre a região, ou ainda em decorrência de alterações no clima local e regional, devido às mudanças no uso e ocupação do solo e processos de urbanização que têm crescido em algumas cidades nas últimas décadas.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

1. Estudar as mudanças climáticas com técnicas que envolvam todos os elementos climáticos disponíveis (precipitações, temperaturas, umidade relativa do ar, insolação, pressão atmosférica e outros parâmetros) e as reais condições ambientais.
2. Analisar o perfil climatológico dos sistemas meteorológicos responsáveis pela precipitação durante as fases do ENOS e ODP.
3. Utilizar modelagem hidrológica acoplada às reais condições climáticas e ambientais, para melhor diagnosticar o potencial hídrico da bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R. T. D.B & GALVÍNIO, J. D. Cenários de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do rio Una, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Vol. 03, p.48-54, Recife, 2010.

ALVES, J. M. B; SOUZA, E. B.; FERREIRA, C. A. R. Um estudo da variabilidade pluviométrica no setor leste do nordeste brasileiro e a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 12, n. 2, p.25-39, São Paulo, 1997.

ARAGÃO, J.O. R. **A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño**. National Center for Atmospheric Research, 1986. 144p. (NCAR Cooperative Thesis, 100).

_____. Fatos sobre o fenômeno El-Niño e sua relação com às secas no Nordeste do Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 1-12, 1990

_____. A influência dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre a circulação atmosférica e a chuva na região Semiárida do Nordeste do Brasil: Simulação e observação. In: SBMET, 6-13 de novembro de 1996, Campos do Jordão. **Anais** do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão - SP, p.830-833.

ARNNEL, N. W. **Hydrological impacts of climate change**. In: The rivers handbook. Oxford: Blackweell, vol.2.p.173-185, 1996

ASSAD, E,D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, p. 1057-1064, 2004.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatología para os trópicos** 4ª ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996

AZEVEDO, J. R.G. **Water resources and global warming for the São Francisco River in Brazil**. Tese (Doutorado), Department of Civil and Environmental Engineering, University of Southampton, U.K, Inglaterra, 1999. 193p.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

CAMPOS, J.H. C; SILVA, M.T & SILVA, V.P.R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 4, p.396-404, 2010.

CAVALCANTI, E. P; SILVA, E. D.V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, e Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia, Belo Horizonte. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994. p. 154-157.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**, São Paulo, Edgard Blucher, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Monitoramento Hidrológico de 2013 (Boletim Julho de 2013)**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/amazonialegal/14990000_Cheia.pdf. Acesso em: 10 ago. 2013.

_____. **Monitoramento Hidrológico de 2010 (Boletim nº 33, 29/10/2010)**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/manaus/pdf/alerta33_10.pdf. Acesso em: 10 ago. 2013.

CONTI, J. B. **Desertificação nos Trópicos** – Proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro. Tese de livre docência, São Paulo, 1995, 208p.

DANTAS, C.E.O. **Previsão e controle de inundações em meio urbano com suporte de informações espaciais de alta resolução**. Tese de doutorado, UFPE, 2012, 212p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 3ª ed. – Rio de Janeiro/RJ: Bertrand Brasil, 1994, 224p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA): Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Recife (UEP), **Solos do Nordeste/Pernambuco**. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/> Acesso em: 10 set. 2012

GALVANI, E.; PEREIRA, A. R. El Niño/Oscilação Sul (ENOS) Quantificação da intensidade do fenômeno. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, 1997. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1997.p.280-282.

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

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berkshire, v., 103, p.77-92, 1977.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf.

Acesso em: 10 set.2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. “**Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change – The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University. Press, Cambridge, 2007

KAYANO, M. T; V. E. KOUSKY. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 7. 593-602p. São Paulo,1992.

KING, A. D; ALEXANDER, L. V.; DONATA, M. G. The efficacy of using gridded data to examine extreme rainfall characteristics: a case study for Australia. **International Journal of Climatology**, v. sf, p. 1602-1614, 2012. (DOI: 10.1002/joc. 3588)

KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n. 9, p.1140-1153, 1979.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n. 4, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E; GAN, M. A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical south Atlantic**. Tellus, v.33, n.5, p.538-550, 1981.

KOUSKY, V.E; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos Oscilação Sul/El Niño: Características, evolução e anomalias de precipitação. **Revista Ciência e Cultura**, vol. 36, nº 11, 1984.

LACERDA, F. F. ; MELO, A. V. P. V. & SOARES, D. B. . Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na bacia do Pajeú, PE: Mudanças climáticas ou variabilidade?. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande-MS. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R.C. & CORSI, A.C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA,IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática Texto Didático 08, 21pp, 2002.Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Surfer.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2012.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069-1079, june 1997.

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, p.214 2006.

MARENGO, A. J.; DIAS, P. L. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos, in:. **Águas Doces no Brasil** – Capital Ecológico, Uso e Conservação. 2ª Ed. Escrituras, São Paulo, 2006.

MARENGO, J. A. 2010: **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. In: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil, p.6. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: fato ou ficção? **Revista do Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas - Geografia**, São Paulo, (ano I, nº 4), p. 6-9, 2001.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. In: **Climanálise**, São Paulo, v.8, 2005. Disponível em: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>. Acesso em 20 mar.2012.

MORENO, H. G., **Estadísticas de la sequia en Colombia**. Atmosfera, Santafe de Bogota, Colombia, no 22, p. 67-70, 1994.

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

MOURA, G. B. A; ARAGÃO, J.O.R; LACERDA, F.F; PASSAVANTE, J.Z.O. Relação entre a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n.2 p.247-251, 2000.

NOBRE, P.; MELO, A.B.C. Variabilidade climática intra-sazonal sobre o nordeste do Brasil em 1998 – 2000., **Climanálise**, São José dos Campos, SP, Dezembro, 2001.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981.

PERNAMBUCO (estado). Secretaria de Planejamento (SEPLAN) Agência Estadual de Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM). **Bacia hidrográfica do rio Una, quarto e quinto grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL4 e GL5**. Recife, PE 2006, 85p. (Série Bacias hidrográficas de Pernambuco). Disponível em: <http://www2.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/biblioteca-virtual-download2>. Acesso em: 20 out. 2012.

_____. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE). Agência Pernambucana de Água e Clima de Pernambuco (APAC). **Tempo e Clima**, Recife, PE. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/videos.php?videos_id=8 . Acesso em : 12 ago. 2013.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Ed Academic Press, New York ,1989, p.8-57.

PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia básica**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 278p

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Estatuto da desertificação e da execução do plano das Nações Unidas de ação de combate à desertificação**. Nairobi, 1991.

RAO, V. B., M. C. D. LIMA, AND S. H. FRANCHITO. Sesasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal. of Climate**, **6**, 1754-1763, 1993.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: **Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2ª Ed. Escrituras, São Paulo, 2006.

REICHARDT, K., TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**, Barueri, SP, Manole, 2004.

RENOM, M.; RUSTICUCCI, M. M.; BARREIRO, M. Multidecadal changes in the relationship between extreme temperature events in Uruguay and the general atmospheric circulation. **Climate Change**, v. 97, p. 72-81, 2011. (DOI: 10.1007/s10584-009-9742-8).

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1955)**. Piracicaba, SP. ESALQ. 1999. CD-ROM.

RUSTICUCCI, M. M.; MARENGO, J.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. **Climatic Change**, v. 98, p. 493-508, 2010 (DOI: 10.1007/s10584-009-9742-8).

SALGUEIRO, J.H.P.B., MONTENEGRO, S.M.G.L., OLIVEIRA, L.M.M. Distribuição espacial das precipitações máximas diárias anuais como suporte às medidas estruturais de contenção de enchentes: estudo de caso na bacia do rio Una Pernambuco. In: XIX Simpósio de Recursos Hídricos, Maceió, AL. **Anais...**, 2011.

SANSIGOLO, C.A. Características espectrais dos índices de seca de Palmer (PDSI) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu (PR). **Anais...** 2002, v.1, p. 618-624, CD-ROM.

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

SHIKLOMANOV, I.A. **World water resources** – A new appraisal and assessment for the 21st Century. IHP/UNESCO, 1998. 37p.

SILVA, L. F. **Precipitação do norte do nordeste brasileiro e padrões de temperatura da superfície e pressão ao Nível do mar: relações com as fases do el Niño/oscilação sul e oscilação decadal do pacífico**. Dissertação mestrado, São José dos Campos- SP, 2006.

SOUZA, I. A.; LACERDA, F. F.; ARAGÃO, J. O. R.; MOURA, G. B. A.; FERREIRA, M. A. F.; FERREIRA, F. F.; SILVA, C. V. Influência do El Niño no comportamento pluviométrico do estado de Pernambuco durante do ano de 1998, **Anais..In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Climática Latino Americana de Agrometeorologia**. Florianópolis-SC, 1999.

SOUZA, I. A. NETTO, A.M; ANTONINO, A..C.D; KUNTZE, A.G. Variabilidade climática na bacia hidrográfica do rio Una/PE – Brasil e os seus efeitos na agricultura. **Anais...** In Cd-ROM , XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.

SOUZA, W. M e AZEVEDO, P. V. Índices de detecção de mudanças climáticas derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Vol. 01, p.142-159, Recife, 2012.

THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38: 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. **Publications in Climatology**, Vol. 10, No. 3. Drexel Institute of Technology, Centerton. 1957.

TIM, F. **Os senhores do clima**. Ed. Record, Rio de Janeiro, 2007 392p

TUCCI, C. E. M; BRAGA, B. **Clima e recurso hídrico no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003

TUCCI, C.E.M. Águas no Meio Urbano, in: **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo, 2006, Escrituras, pp. 399 – 432.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (UFCG)/Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA). **ESTIMA T-** programa computacional para estimar temperatura do ar, Campina Grande, PB. Home: www.ufcg.br. Acesso em: 10 set.2009.

UVO, C. R. B. ; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. *Parte II :Influência dos ventos e TSM do Atlântico tropical*. in: **Climanálise**, São José dos Campos, SP, 4 (10), p.39 - 47, 1989.

UVO, C. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte do Nordeste Brasileiro. 1989. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 1989.

WOLTER, K., and M. S. TIMLIN, 2011: El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). **Journal of climatology**, 31, 14pp. [http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD NOAA NWS CPC MEI.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_MEI.html). Acesso em: 25 mar.2013.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.55, p. 203 – 207, 1977.

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

ANEXO 1. Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária; $RR \geq 1$ mm representa um dia úmido e $RR < 1$ mm um dia seco. PRECT é a precipitação total.

Identificação	Nomes do indicador	Definição	Unds
PRECT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total nos dias úmidos ($RR \geq 1$ mm).	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias Consecutivos Secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1$ mm	Dias
DCU	Dias Consecutivos Úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm	Dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em 1 dia	Máximo anual de precipitação em 1 dia	Mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	Mm
R10	Precipitação de um dia superior a 10 mm	Número de dias no ano com precipitação ≥ 10 mm	Dias
R20	Precipitação de um dia superior a 20 mm	Número de dias no ano com precipitação ≥ 20 mm	Dias
Rnn	Número de dias com precipitação acima de nn mm definido pelo usuário	Neste estudo foi definido ≥ 50 mm	Mm
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	Mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em $RR >$ percentil	Mm

APÊNDICE A - Municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Una/PE, com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e tipos de solos.

Nº	Localidades	Longitude	Latitude	Altitude	Principais tipos de solos
01	Agrestina	35°57'13"	8°27'28"	435 m	Planos.Regossolos.Podz.Amar./Podz.Verm.Amar
02	Água Preta	35°26'00"	8°40'45"	94 m	Latossolo Amarelo
03	Altinho	36°33'45"	8°33'45"	360 m	Planos./Litól/Regos./PodzVerm.Amar.
04	B.de Guabiraba	35°40'00"	8°25'00"	305 m	Latossolo Amarelo
05	Barreiros	35°11'30"	8°49'00"	23 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
06	Belém de Maria	35°51'00"	8°37'00"	228 m	Latossolo Amarelo/Podzólico Amarelo
07	Bezerro	35°49'00"	8°12'00"	471 m	Podz.Vermelho-Amarelo/Podzólico Amarelo
08	Bonito	35°41'45"	8°29'40"	444 m	Latossolo/Podzólico Amarelo/Planossolo
09	Cachoeirinha	36°14'15"	8°29'30"	539 m	Planos./Vert/Regossolo/Podz.-Verm-Amar
10	Caetés	36°37'15"	8°46'30"	854 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
11	Calçado	36°20'15"	8°44'30"	440 m	Planos.Solonetz/Reg./Podzólico-Verm-Amar.
12	C. de S. Félix	35°48'00"	8°18'00"	692 m	Planoss./Podz.-Verm-Amar./Podz.Amar./Litólico
13	Canhotinho	36°11'30"	8°53'00"	497 m	Podz.-Verm-Amar./Podz.Amar
14	Capoeiras	36°37'45"	8°44'15"	840 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
15	Caruaru	36°10'26"	8°14'19"	545 m	Podz.-Verm-Amar.
16	Catende	35°35'00"	8°40'00"	169 m	Latossolo Amarelo
17	Cupira	35°58'00"	8°38'00"	416 m	Lat. Amar./Reg./Planos./Podz.-Amar./Am-Verm
18	Gameleira	35°23'15"	8°35'00"	102 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
19	Ibirajuba	36°10'45"	8°34'45"	470 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
20	Jaqueira	35°47'36"	8°43'36"	300 m	Latossolo Amarelo/Podz. Verm-Amar.
21	Joaquim Nabuco	35°25'00"	8°38'30"	152 m	Latossolo Amarelo
22	Jucati	36°29'20"	8°42'23"	780 m	Regossolo
23	Jupi	36°25'00"	8°42'45"	783 m	Litólico/Regossolo/Podz. Amarelo
24	Jurema	36°08'15"	8°43'15"	750 m	Regos/Podz.-Amar./Verm-Amar
25	L. dos Gatos	35°48'30"	8°40'50"	465 m	Latossolo Amar./Podz-Amar/Litólico/Regossolo
26	Lajedo	36°25'00"	8°57'00"	663 m	Planossolo/Regossolo
27	Maraial	35°44'00"	8°45'00"	216 m	Latossolo Amar./Podz-Amar.
28	Palmares	35°28'00"	8°41'08"	109 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
29	Panelas	35°54'00"	8°41'00"	533 m	Litólico/Regossolo/Podz. Amar./Verm-Amar.
30	Pesqueira	36°41'45"	8°21'30"	855 m	Litólico
31	Quipapá	35°56'00"	8°51'30"	462 m	Latossolo. Amar./Podz-Amar/Verm.-Amar.
32	Rio Formoso	35°09'15"	8°39'45"	6 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
33	Sanharó	36°33'45"	8°21'45"	653 m	Podz.-Verm-Amar./Planossolo
34	S.Benedito do Sul	35°57'00"	8°48'00"	350 m	Podz.-Amar/Latos.-Amar./Podz.-Verm-Amar.
35	S. Bento do Una	36°33'00"	8°31'16"	650 m	Litól./Regossolo/Planossolo/Podz.-Verm-Amar.
36	S. Caetano	36°08'15"	8°19'30"	553 m	Planossolo/Regossolo
37	S. J. do Monte	35°47'30"	8°29'10"	450 m	Planossolo/Litólico/Podz. Amar./Verm-Amar.
38	S. J. da C. Grande	35°08'45"	8°53'45"	3 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
39	Tacaimbó	36°17'30"	8°19'00"	568 m	Regossolo/Planossolo/Podz.-Verm-Amar
40	Tamararé	35°07'13"	8°38'28"	04 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
41	Venturosa	36°57'45"	8°34'30"	541 m	Planossolo
42	Xexeu	35°40'13"	8°45'28"	04 m	Latossolo Amarelo

APÊNDICE B - Municípios da bacia Hidrográfica do rio Una/PE, com seus respectivos, tipos de solos, profundidade e Capacidade Máxima de Armazenamento de Água (CMAA). Estas informações foram usadas para fazer o balanço hídrico climático

Nº	Localidade	Profundidade	CMA	Altitude	Principais Tipos de Solos
01	Agrestina	profundos	80	435 m	Planos./Regos./Podz.Amar./Podz.Verm.Amar
02	Água Preta	profundos	100	94 m	Latossolo Amarelo
03	Altinho	Rasos/profundos	60	360 m	Planos./Litól/Regos./PodzVerm.Amar.
04	B.de Guabiraba	profundos	100	305 m	Latossolo Amarelo
05	Barreiros	profundos	100	23 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
06	Belém de Maria	profundos	100	228 m	Latossolo Amarelo/Podzólico Amarelo
07	Bezerro	profundos	60	471 m	Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Amarelo
08	Bonito	profundos	80	444 m	Latossolo/Podzólico Amarelo/Planossolo
09	Cachoeirinha	Rasos/profundos	60	539 m	Planos./Vert/Regossolo/Podz.-Verm-Amar
10	Caetés	Rasos/profundos	60	854 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
11	Calçado	profundos	80	440 m	Planos.Solonetz/Reg./Podzólico-Verm-Amar.
12	C. de S. Félix	Rasos/profundos	60	692 m	Planoss./Podz.-Verm-Amar./Podz.Amar./Litólico
13	Canhotinho	profundos	80	497 m	Podz.-Verm-Amar./Podz.Amar
14	Capoeiras	Rasos/profundos	60	840 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
15	Caruaru	profundos	80	545 m	Podz.-Verm-Amar.
16	Catende	profundos	100	169 m	Latossolo Amarelo
17	Cupira	profundos	80	416 m	Lat. - Amar./Reg./Planos./Podz.-Amar./Am-Verm
18	Gameleira	profundos	80	102 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
19	Ibirajuba	Rasos/profundos	60	470 m	Planossolo/Litólico/Regossolo
20	Jaqueira	profundos	100	300 m	Latossolo Amarelo/Podz. Verm-Amar.
21	Joaquim Nabuco	profundos	100	152 m	Latossolo Amarelo
22	Jucati	profundos	80	780 m	Regossolo
23	Jupi	Rasos/profundos	60	783 m	Litólico/Regossolo/Podz. Amarelo
24	Jurema	profundos	80	750 m	Regos/Podz.-Amar./Verm-Amar
25	L. dos Gatos	Rasos/profundos	60	465 m	Latossolo Amar./Podz-Amar/Litólico/Regossolo
26	Lajedo	profundos	80	663 m	Planossolo/Regossolo
27	Maraial	profundos	150	216 m	Latossolo Amar./Podz-Amar.
28	Palmares	profundos	150	109 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
29	Panelas	Rasos/profundos	60	533 m	Litólico/Regossolo/Podz. Amar./Verm-Amar.
30	Pesqueira	Rasos	50	855 m	Litólico
31	Quipapá	profundos	150	462 m	Latossolo. Amar./Podz-Amar/Verm.-Amar.
32	Rio Formoso	profundos	150	6 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
33	Sanharó	Rasos/profundos	80	653 m	Podz.-Verm-Amar./Planossolo
34	S.Benedito Sul	profundos	150	350 m	Podz.-Amar/Latos.-Amar./Podz.-Verm-Amar.
35	S. Bento do Una	Rasos/profundos	60	650 m	Litólico/Regossolo/Planossolo/Podz.-Verm-Amar.
36	S. Caetano	Rasos/profundos	60	553 m	Planossolo/Regossolo
37	S. J. do Monte	Rasos/profundos	60	450 m	Planossolo/Litólico/Podz. Amar./Verm-Amar.
38	S.José C. Grande	profundos	150	3 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
39	Tacaimbó	Rasos/profundos	80	568 m	Regossolo/Planossolo/Podz.-Verm-Amar
40	Tamandaré	Rasos/profundos	100	6 m	Latossolo Amarelo/Areia Quartzosa
41	Venturosa	Rasos/profundos	60	541 m	Planossolo
42	Xexeu	profundos	100	4 m	Latossolo Amarelo

FONTE: EMBRAPA (2012)

APÊNDICE C - Classificação da pluviometria anual em alguns municípios da bacia do Una-PE, no período de 1965 a 2006.

Municípios	Normal	Secos	Chuvoso
Barreiros	1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1979, 1980, 1982, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1994, 1997, 2002, 2003, 2005 e 2006	1965, 1970, 1981, 1993, 1995, 1996, 1998, 1999 e 2001	1975, 1977, 1978, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 2000 e 2004
Palmares	1965, 1967, 1969, 1970, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1988, 1989, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998, 2000, 2001, 2003, 2005 e 2006	1968, 1973, 1987, 1992, 1993, 1996 e 1999	1966, 1977, 1978, 1984, 1985, 1986, 1994, 2002 e 2004
S. Joaquim do Monte	1965, 1967, 1970, 1972, 1973, 1976, 1979, 1980, 1981, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1994, 1997, 2002, 2004, 2005 e 2006	1968, 1971, 1982, 1983, 1992, 1993, 1995, 1996, 1998, 1999, 2001 e 2003	1966, 1969, 1974, 1975, 1977, 1978 e 2000
São Bento do Una	1965, 1971, 1972, 1975, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1991, 1992, 2001, 2002, 2005 e 2006	1968, 1970, 1973, 1976, 1979, 1980, 1990, 1993, 1996, 1998, 1999 e 2003	1966, 1967, 1969, 1974, 1977, 1978, 1985, 1988, 1989, 1994, 1995, 1997, 2000 e 2004
São Caetano	1965, 1967, 1970, 1972, 1973, 1976, 1977, 1978, 1981, 1982, 1983, 1986, 1987, 1991, 1993, 1996, 1997, 2000, 2002, 2005 e 2006	1968, 1971, 1979, 1980, 1984, 1990, 1995, 1998, 1999, 2001 e 2003	1966, 1969, 1974, 1975, 1985, 1988, 1989, 1994 e 2004

APÊNDICE D. Resumo da avaliação da precipitação anual e sua relação com o ENOS e o Dipolo

ANOS	IOS	CLAS ENOS	ATSM ATN	ATSM ATS	DIPOLO	ATSM NINO3	ATSM NINO1+2	PREC ANUAL BACIA	I-SECA	CLASS PREC ANUAL	DNP
1965	-0,85	ENM	-0,18	-0,14	0,04	0,69	0,86	964,90	-0,11	NORMAL	-0,49
1966	-0,38	ENF	0,24	0,07	-0,17	-0,17	-0,66	1411,32	0,30	CHUVOSO	1,34
1967	0,78	LNLM	-0,13	-0,26	-0,13	-0,63	-0,93	1095,40	0,01	NORMAL	0,05
1968	0,65	LNFT	-0,07	0,14	0,21	-0,30	-0,74	828,72	-0,24	S- MOD	-1,05
1969	-0,57	ENF	0,52	0,10	-0,42	0,67	0,58	1265,02	0,17	NORMAL	0,74
1970	0,78	LNLM	0,27	-0,26	-0,53	-0,79	-1,04	907,62	-0,16	NORMAL	-0,72
1971	1,83	LNFT	-0,28	-0,17	0,11	-0,92	-0,96	924,18	-0,15	NORMAL	-0,65
1972	-0,80	ENM	-0,33	0,18	0,51	1,06	1,43	1100,88	0,02	NORMAL	0,07
1973	1,23	LNFT	-0,18	0,68	0,86	-0,63	-0,70	1051,50	-0,03	NORMAL	-0,13
1974	1,83	LNFT	-0,58	0,29	0,88	-0,68	-0,61	1342,30	0,24	CHUVOSO	1,06
1975	2,18	LNFT	-0,36	-0,10	0,26	-0,94	-1,14	1424,20	0,31	CHUVOSO	1,39
1976	0,52	LNFT	-0,32	-0,48	-0,16	0,13	0,60	1056,98	-0,03	NORMAL	-0,11
1977	-1,05	ENM	-0,16	-0,06	0,10	0,14	-0,15	1574,88	0,45	M-CHUVOSO	2,01
1978	-0,12	AUS	-0,02	-0,36	-0,34	-0,35	-0,44	1448,50	0,34	CHUVOSO	1,49
1979	0,23	AUS	0,22	0,02	-0,19	0,22	0,24	1026,76	-0,05	NORMAL	-0,24
1980	-0,13	AUS	0,29	-0,15	-0,44	0,11	-0,02	1081,40	0,00	NORMAL	-0,01
1981	0,41	LNFT	0,23	-0,14	-0,37	-0,32	-0,40	960,10	-0,11	NORMAL	-0,51
1982	-1,49	ENFT	-0,20	-0,29	-0,08	1,18	0,70	1095,34	0,01	NORMAL	0,05
1983	-1,26	ENM	0,10	-0,05	-0,15	1,16	2,46	982,64	-0,09	NORMAL	-0,42
1984	0,21	AUS	-0,28	0,55	0,84	-0,61	-0,46	1336,16	0,23	CHUVOSO	1,03
1985	0,48	LNFT	-0,32	0,22	0,54	-0,84	-1,08	1384,26	0,28	CHUVOSO	1,23
1986	-0,15	AUS	-0,49	0,22	0,71	0,06	-0,21	1466,74	0,35	CHUVOSO	1,57
1987	-1,53	ENFT	0,32	0,31	-0,01	1,27	1,17	951,80	-0,12	NORMAL	-0,54
1988	1,37	LNFT	0,09	0,50	0,41	-1,17	-0,97	1311,92	0,21	CHUVOSO	0,93
1989	1,17	LNLM	-0,19	0,23	0,42	-0,60	-0,39	1223,54	0,13	NORMAL	0,57
1990	-0,20	AUS	0,14	0,06	-0,08	0,02	-0,39	905,68	-0,16	NORMAL	-0,73
1991	-0,96	ENM	-0,25	0,01	0,26	0,51	0,14	974,34	-0,10	NORMAL	-0,45
1992	-1,37	ENFT	-0,15	-0,54	-0,39	0,48	0,57	927,88	-0,14	NORMAL	-0,64
1993	-1,09	ENM	-0,17	0,18	0,35	0,39	0,43	547,26	-0,50	S- FORTE	-2,20
1994	-1,37	ENFT	-0,36	0,04	0,40	0,10	-0,29	1137,30	0,05	NORMAL	0,22
1995	-0,03	AUS	0,31	0,33	0,02	-0,35	-0,41	859,66	-0,21	S- MOD	-0,92
1996	1,11	LNLM	0,23	0,39	0,17	-0,55	-1,09	691,18	-0,36	S- MOD	-1,61
1997	-1,21	ENM	0,37	-0,03	-0,40	1,68	2,52	991,58	-0,09	NORMAL	-0,38
1998	-0,07	AUS	0,56	0,53	-0,03	0,51	1,78	629,00	-0,42	S- FORTE	-1,86
1999	1,41	LNFT	0,10	0,37	0,27	-0,96	-0,86	678,70	-0,37	S- MOD	-1,66
2000	1,39	LNFT	-0,05	0,20	0,25	-0,61	-0,55	1476,08	0,36	CHUVOSO	1,60
2001	0,40	LNFT	0,26	0,22	-0,04	-0,28	-0,57	880,04	-0,19	NORMAL	-0,84
2002	-0,53	ENF	0,17	0,19	0,02	0,49	0,05	1250,90	0,15	NORMAL	0,68
2003	-0,15	AUS	0,33	0,47	0,14	0,11	-0,57	946,92	-0,13	NORMAL	-0,56
2004	-0,43	ENF	0,48	0,13	-0,35	0,16	-0,49	1332,00	0,23	CHUVOSO	1,01
2005	-0,31	AUS	0,67	0,10	-0,57	-0,01	-0,58	1108,08	0,02	NORMAL	0,10
2006	0,02	AUS	0,47	0,26	-0,21	0,29	0,30	984,26	-0,09	NORMAL	-0,41

APÊNDICE E - Resumo da avaliação da precipitação e das ATSMs nos oceanos Pacífico e Atlântico durante o período chuvoso no setor leste da bacia do Una-PE.

ANOS	PREC LESTE BACIA	DNP MAM JJA	INDICE SECA MAMJJA	CLASSIF PERIODO CHUVOSO	ATSM N1+2 JFMAMJ	IOS JFM AMJ	CLASSIF ENOS	ATSM ATS JFMAMJ	ATSM ATN JFMAMJ	DIPOLO
1965	996,0	-0,52	-0,13	NORMAL	0,73	-0,05	AUS	-0,05	-0,24	0,19
1966	1362,0	0,82	0,20	NORMAL	-0,84	-0,77	ENM	-0,01	0,32	-0,33
1967	1093,6	-0,16	-0,04	NORMAL	-0,81	1,43	LNFT	-0,10	-0,04	-0,06
1968	939,7	-0,73	-0,17	NORMAL	-1,52	1,18	LNLM	-0,08	-0,15	0,08
1969	1514,1	1,37	0,33	CHUVOSO	0,67	-0,55	ENF	0,29	0,71	-0,42
1970	1124,1	-0,05	-0,01	NORMAL	-0,86	-0,08	AUS	-0,27	0,59	-0,86
1971	1005,3	-0,49	-0,12	NORMAL	-1,24	2,10	LNFT	0,08	-0,26	0,33
1972	1118,0	-0,07	-0,02	NORMAL	0,77	0,00	AUS	-0,04	-0,38	0,34
1973	1071,5	-0,24	-0,06	NORMAL	-0,26	0,17	AUS	0,76	-0,19	0,95
1974	1329,1	0,70	0,17	NORMAL	-0,74	2,55	LNFT	0,32	-0,69	1,00
1975	1499,1	1,32	0,32	CHUVOSO	-0,80	1,37	LNFT	-0,06	-0,45	0,39
1976	928,2	-0,77	-0,18	NORMAL	-0,06	1,58	LNFT	-0,54	-0,61	0,06
1977	1767,5	2,30	0,55	MT-CHUV	-0,28	-0,43	ENF	-0,06	-0,10	0,04
1978	1429,5	1,06	0,26	CHUVOSO	-0,86	-0,40	ENF	-0,45	0,13	-0,58
1979	997,5	-0,51	-0,12	NORMAL	-0,13	0,47	LNF	-0,09	0,28	-0,37
1980	1094,1	-0,16	-0,04	NORMAL	-0,14	-0,08	AUS	-0,16	0,45	-0,62
1981	726,9	-1,50	-0,36	SECO MOD	-0,87	0,22	AUS	-0,42	0,32	-0,74
1982	1144,9	0,02	0,01	NORMAL	-0,45	0,20	AUS	-0,26	-0,05	-0,21
1983	878,0	-0,95	-0,23	SECO MOD	3,09	-2,70	ENFT	-0,10	0,17	-0,27
1984	1623,7	1,77	0,43	MT-CHUV	-0,66	0,27	LNF	0,56	-0,18	0,74
1985	1450,1	1,14	0,27	CHUVOSO	-1,23	0,80	LNLM	0,24	-0,51	0,75
1986	1556,6	1,53	0,37	CHUVOSO	-0,70	0,40	LNF	0,33	-0,61	0,94
1987	982,4	-0,57	-0,14	NORMAL	1,18	-1,92	ENFT	0,17	0,18	-0,01
1988	1480,9	1,25	0,30	CHUVOSO	-0,78	0,35	LNF	0,68	0,24	0,45
1989	1285,4	0,54	0,13	NORMAL	-0,46	2,03	LNFT	0,32	-0,55	0,87
1990	1009,6	-0,47	-0,11	NORMAL	-0,31	-0,17	AUS	0,08	-0,01	0,09
1991	1171,4	0,12	0,03	NORMAL	-0,27	-0,43	ENF	0,26	-0,29	0,55
1992	900,8	-0,87	-0,21	SECO MOD	1,14	-1,97	ENFT	-0,49	-0,12	-0,37
1993	509,4	-2,30	-0,55	SECO FORT	0,73	-1,23	ENM	-0,05	-0,13	0,08
1994	1138,5	0,00	0,00	NORMAL	-0,65	-0,80	ENM	0,13	-0,53	0,66
1995	926,2	-0,77	-0,19	NORMAL	-0,41	-0,20	AUS	0,60	0,13	0,47
1996	704,9	-1,58	-0,38	SECO MOD	-1,00	1,27	LNFT	0,56	0,37	0,19
1997	1030,5	-0,39	-0,09	NORMAL	1,04	-0,42	ENF	-0,46	0,34	-0,80
1998	802,8	-1,23	-0,29	SECO MOD	2,80	-2,03	ENFT	0,65	0,63	0,02
1999	734,1	-1,48	-0,36	SECO MOD	-0,62	1,63	LNFT	0,33	-0,07	0,40
2000	1553,8	1,52	0,36	CHUVOSO	-0,44	1,38	LNFT	0,31	-0,08	0,39
2001	957,4	-0,66	-0,16	NORMAL	-0,08	0,98	LNLM	0,31	0,04	0,27
2002	1250,7	0,41	0,10	NORMAL	0,38	0,03	AUS	0,25	0,22	0,03
2003	1080,8	-0,21	-0,05	NORMAL	-0,24	-0,60	ENF	0,44	0,10	0,34
2004	1136,4	-0,01	0,00	NORMAL	-0,23	-0,12	AUS	0,03	0,38	-0,35
2005	1162,6	0,09	0,02	NORMAL	-0,56	-0,95	ENF	0,28	0,71	-0,43
2006	1341,4	0,74	0,18	NORMAL	-0,35	0,12	AUS	0,27	0,36	-0,08

APÊNDICE F - Avaliação da precipitação e das ATSM nos oceanos Pacífico e Atlântico, durante o período chuvoso, no Oeste da bacia do rio Una-PE, no período de 1965 a 2006.

ANOS	PREC-OESTE MAMJJA	DNP MAM JJA	ÍNDICE SECA MAMJJA	CLASSIF PERIODO CHVUSO	ATSM N1+2 JFMAMJ	IOS JFM AMJ	CLASSIF ENOS	ATSM ATS JFMAMJ	ATSM ATN JFMAMJ	DIPOLO
1965	644,4	1,56	0,41	MT-CHUV	0,73	-0,05	AUS	-0,05	-0,24	0,19
1966	677,8	1,84	0,48	MT-CHUV	-0,84	-0,77	ENM	-0,01	0,32	-0,33
1967	479,5	0,19	0,05	NORMAL	-0,81	1,43	LNFT	-0,10	-0,04	-0,06
1968	395,7	-0,52	-0,13	NORMAL	-1,52	1,18	LNFM	-0,08	-0,15	0,08
1969	649,9	1,61	0,42	MT-CHUV	0,67	-0,55	ENF	0,29	0,71	-0,42
1970	384,8	-0,61	-0,16	NORMAL	-0,86	-0,08	AUS	-0,27	0,59	-0,86
1971	441,8	-0,13	-0,03	NORMAL	-1,24	2,10	LNFT	0,08	-0,26	0,33
1972	432,1	-0,21	-0,06	NORMAL	0,77	0,00	AUS	-0,04	-0,38	0,34
1973	387,6	-0,58	-0,15	NORMAL	-0,26	0,17	AUS	0,76	-0,19	0,95
1974	510,6	0,45	0,12	NORMAL	-0,74	2,55	LNFT	0,32	-0,69	1,00
1975	641,4	1,54	0,40	MT-CHUV	-0,80	1,37	LNFT	-0,06	-0,45	0,39
1976	311,9	-1,22	-0,32	SECO-	-0,06	1,58	LNFT	-0,54	-0,61	0,06
1977	595,0	1,15	0,30	CHUVOSO	-0,28	-0,43	ENF	-0,06	-0,10	0,04
1978	639,4	1,52	0,40	CHUVOSO	-0,86	-0,40	ENF	-0,45	0,13	-0,58
1979	410,8	-0,39	-0,10	NORMAL	-0,13	0,47	LNF	-0,09	0,28	-0,37
1980	338,8	-0,99	-0,26	SECO-MOD	-0,14	-0,08	AUS	-0,16	0,45	-0,62
1981	390,6	-0,56	-0,15	NORMAL	-0,87	0,22	AUS	-0,42	0,32	-0,74
1982	519,8	0,52	0,14	NORMAL	-0,45	0,20	AUS	-0,26	-0,05	-0,21
1983	303,5	-1,29	-0,34	SECO-MOD	3,09	-2,70	ENFT	-0,10	0,17	-0,27
1984	549,1	0,77	0,20	CHUVOSO	-0,66	0,27	LNF	0,56	-0,18	0,74
1985	532,7	0,63	0,16	NORMAL	-1,23	0,80	LNFM	0,24	-0,51	0,75
1986	407,5	-0,42	-0,11	NORMAL	-0,70	0,40	LNF	0,33	-0,61	0,94
1987	459,2	0,02	0,00	NORMAL	1,18	-1,92	ENFT	0,17	0,18	-0,01
1988	634,6	1,48	0,39	CHUVOSO	-0,78	0,35	LNF	0,68	0,24	0,45
1989	565,8	0,91	0,24	CHUVOSO	-0,46	2,03	LNFT	0,32	-0,55	0,87
1990	435,6	-0,18	-0,05	NORMAL	-0,31	-0,17	AUS	0,08	-0,01	0,09
1991	464,4	0,06	0,02	NORMAL	-0,27	-0,43	ENF	0,26	-0,29	0,55
1992	566,2	0,91	0,24	CHUVOSO	1,14	-1,97	ENFT	-0,49	-0,12	-0,37
1993	248,2	-1,75	-0,46	SECO	0,73	-1,23	ENM	-0,05	-0,13	0,08
1994	545,9	0,74	0,19	NORMAL	-0,65	-0,80	ENM	0,13	-0,53	0,66
1995	373,6	-0,70	-0,18	NORMAL	-0,41	-0,20	AUS	0,60	0,13	0,47
1996	392,9	-0,54	-0,14	NORMAL	-1,00	1,27	LNFT	0,56	0,37	0,19
1997	498,5	0,34	0,09	NORMAL	1,04	-0,42	ENF	-0,46	0,34	-0,80
1998	221,9	-1,97	-0,51	SECO	2,80	-2,03	ENFT	0,65	0,63	0,02
1999	240,8	-1,81	-0,47	SECO	-0,62	1,63	LNFT	0,33	-0,07	0,40
2000	509,7	0,44	0,11	NORMAL	-0,44	1,38	LNFT	0,31	-0,08	0,39
2001	471,4	0,12	0,03	NORMAL	-0,08	0,98	LNFM	0,31	0,04	0,27
2002	371,8	-0,71	-0,19	NORMAL	0,38	0,03	AUS	0,25	0,22	0,03
2003	244,1	-1,78	-0,47	SECO	-0,24	-0,60	ENF	0,44	0,10	0,34
2004	382,3	-0,63	-0,16	NORMAL	-0,23	-0,12	AUS	0,03	0,38	-0,35
2005	525,0	0,57	0,15	NORMAL	-0,56	-0,95	ENF	0,28	0,71	-0,43
2006	413,6	-0,37	-0,10	NORMAL	-0,35	0,12	AUS	0,27	0,36	-0,08

APÊNDICE G - Resumo da avaliação pluviométrica e das ATSMs nos oceanos durante o período chuvoso na bacia do Una-PE.

ANOS	MED MAMJJA BACIA	DNP MAMJJA BACIA	ÍNDICE SECA MAMJJA	CLASSIF ESTAÇÃO CHUVOSA	ATSM N1+2 JFMAMJ	IOS JFM AMJ	CLASSIF ENOS JFMAMJ	ATSM ATS JFMAMJ	ATSM ATN JFMAMJ	DIPOLO JFMAMJ
1965	820,2	0,12	0,03	NORMAL	0,73	-0,05	AUS	-0,05	-0,24	0,19
1966	1019,9	1,22	0,28	CHUVOSO	-0,84	-0,77	ENM	-0,01	0,32	-0,33
1967	786,5	-0,06	-0,01	NORMAL	-0,81	1,43	LNFT	-0,10	-0,04	-0,06
1968	667,7	-0,72	-0,16	NORMAL	-1,52	1,18	LNFT	-0,08	-0,15	0,08
1969	1082,0	1,57	0,36	CHUVOSO	0,67	-0,55	ENF	0,29	0,71	-0,42
1970	754,5	-0,24	-0,05	NORMAL	-0,86	-0,08	AUS	-0,27	0,59	-0,86
1971	723,6	-0,41	-0,09	NORMAL	-1,24	2,10	LNFT	0,08	-0,26	0,33
1972	775,1	-0,13	-0,03	NORMAL	0,77	0,00	AUS	-0,04	-0,38	0,34
1973	729,5	-0,38	-0,09	NORMAL	-0,26	0,17	AUS	0,76	-0,19	0,95
1974	919,9	0,67	0,15	NORMAL	-0,74	2,55	LNFT	0,32	-0,69	1,00
1975	1070,3	1,50	0,34	CHUVOSO	-0,80	1,37	LNFT	-0,06	-0,45	0,39
1976	620,1	-0,98	-0,22	SECO MOD	-0,06	1,58	LNFT	-0,54	-0,61	0,06
1977	1181,3	2,11	0,48	M- CHUVO	-0,28	-0,43	ENF	-0,06	-0,10	0,04
1978	1034,5	1,30	0,30	CHUVOSO	-0,86	-0,40	ENF	-0,45	0,13	-0,58
1979	704,2	-0,52	-0,12	NORMAL	-0,13	0,47	LNF	-0,09	0,28	-0,37
1980	716,5	-0,45	-0,10	NORMAL	-0,14	-0,08	AUS	-0,16	0,45	-0,62
1981	558,7	-1,32	-0,30	SECO MOD	-0,87	0,22	AUS	-0,42	0,32	-0,74
1982	832,4	0,19	0,04	NORMAL	-0,45	0,20	AUS	-0,26	-0,05	-0,21
1983	590,8	-1,14	-0,26	SECO MOD	3,09	-2,70	ENFT	-0,10	0,17	-0,27
1984	1086,4	1,59	0,36	CHUVOSO	-0,66	0,27	LNF	0,56	-0,18	0,74
1985	991,4	1,07	0,24	CHUVOSO	-1,23	0,80	LNFT	0,24	-0,51	0,75
1986	982,0	1,01	0,23	CHUVOSO	-0,70	0,40	LNF	0,33	-0,61	0,94
1987	720,8	-0,42	-0,10	NORMAL	1,18	-1,92	ENFT	0,17	0,18	-0,01
1988	1057,8	1,43	0,33	CHUVOSO	-0,78	0,35	LNF	0,68	0,24	0,45
1989	925,6	0,70	0,16	NORMAL	-0,46	2,03	LNFT	0,32	-0,55	0,87
1990	722,6	-0,41	-0,09	NORMAL	-0,31	-0,17	AUS	0,08	-0,01	0,09
1991	817,9	0,11	0,03	NORMAL	-0,27	-0,43	ENF	0,26	-0,29	0,55
1992	733,5	-0,35	-0,08	NORMAL	1,14	-1,97	ENFT	-0,49	-0,12	-0,37
1993	378,8	-2,31	-0,53	SECO	0,73	-1,23	ENM	-0,05	-0,13	0,08
1994	842,2	0,24	0,06	NORMAL	-0,65	-0,80	ENM	0,13	-0,53	0,66
1995	649,9	-0,81	-0,19	NORMAL	-0,41	-0,20	AUS	0,60	0,13	0,47
1996	548,9	-1,37	-0,31	SECO MOD	-1,00	1,27	LNFT	0,56	0,37	0,19
1997	764,5	-0,18	-0,04	NORMAL	1,04	-0,42	ENF	-0,46	0,34	-0,80
1998	512,4	-1,57	-0,36	SECO MOD	2,80	-2,03	ENFT	0,65	0,63	0,02
1999	487,5	-1,71	-0,39	SECO MOD	-0,62	1,63	LNFT	0,33	-0,07	0,40
2000	1031,7	1,29	0,29	CHUVOSO	-0,44	1,38	LNFT	0,31	-0,08	0,39
2001	714,4	-0,46	-0,10	NORMAL	-0,08	0,98	LNFT	0,31	0,04	0,27
2002	811,3	0,07	0,02	NORMAL	0,38	0,03	AUS	0,25	0,22	0,03
2003	662,4	-0,75	-0,17	NORMAL	-0,24	-0,60	ENF	0,44	0,10	0,34
2004	759,4	-0,21	-0,05	NORMAL	-0,23	-0,12	AUS	0,03	0,38	-0,35
2005	843,8	0,25	0,06	NORMAL	-0,56	-0,95	ENF	0,28	0,71	-0,43
2006	877,5	0,44	0,10	NORMAL	-0,35	0,12	AUS	0,27	0,36	-0,08

APENDICE H – Significância estatística (Valor- p) dos índices dependentes da precipitação pluvial referentes às 15 estações da bacia do Una.

Localidade	long. (°)	lat. (°)	alt. (m)	rx1day mm/ano	rx5day mm/ano	sdii mm/dia	r10mm dia/ano	r20mm dia/ano	r50mm dia/ano	dcs dia/ano	dcu dia/ano	r95p mm/ano	r99p mm/ano	prcptot mm/ano
Altinho	-36,06	-8,48	360	0,66	0,448	0,097	0,399	0,225	0,673	0,216	0,064**	0,34	0,401	0,459
B. de Guabiraba	-35,67	-8,42	305	0,403	0,571	0,002*	0,842	0,365	0,161	0,061**	0,073**	0,287	0,239	0,925
Barreiros	-35,19	-8,82	23	0,013**	0,013**	0,798	0	0,007**	0,311	0,009**	0,048**	0,127	0,187	0,153
Cachoerinha	-36,24	-8,49	539	0,654	0,928	0,028	0,894	0,91	0,54	0,56	0,001*	0,799	0,799	0,604
Caetés	-36,62	-8,78	854	0,29	0,839	0	0,134	0,018**	0,147	0,415	0,001*	0,244	0,177	0,604
Caruaru	-36,17	-8,24	545	0,039**	0,088**	0,002*	0,02**	0,275	0,136	0,418	0,98	0,106	0,082*	0,1
Ibirajuba	-36,18	-8,58	470	0,875	0,301	0,41	0,219	0,107	0,655	0,117	0,163	0,17	0,89	0,078**
Jurema	-36,14	-8,72	750	0,032**	0,08**	0,008**	0,003*	0,009**	0,107	0,148	0,947	0,08*	0,066**	0,016**
Lajedo	-36,42	-8,95	663	0,418	0,044**	0,065**	0,01	0,012**	0,219	0,086**	0,768	0,095*	0,399	0,004*
Palmares	-35,47	-8,69	109	0,053**	0,492	0,082**	0,093	0,227	0,925	0,112	0,766	0,591	0,083**	0,202
Panelas	-35,90	-8,68	533	0,336**	0,09**	0,002*	0,006	0,245	0,689	0,032**	0,636	0,888	0,541	0,087**
Sanharó	-36,56	-8,36	653	0,434	0,355	0,408	0,157	0,084**	0,619	0,431	0,201	0,468	0,181	0,114
S.Bento do Una	-36,55	-8,52	650	0,745	0,257	0,138	0,378	0,182	0,743	0,783	0,427	0,616	0,716	0,382
S. Caetano	-36,14	-8,33	553	0,534	0,65	0,012**	0,726	0,504	0,886	0,001*	0,199	0,611	0,618	0,104
S. J. do Monte	-35,79	-8,49	450	0,336	0,475	0,174	0,195	0,115	0,817	0,001*	0,265	0,125	0,479	0,096*

Legenda: Os valores destacados com (*) Apresenta alta significância estatística ($p < 0,05$) e os valores destacados com (**), apresenta boa significância ($0,05 < p < 0,1$).

APENDICE I- Tendências dos índices dependentes da precipitação pluvial referentes às 15 estações do Una

LOCALIDADES	LONG.	LAT.	ALT.	rx1day	rx5day	sdii	r10mm	r20mm	R50mm	cdd	cwd	r95p	r99p	prcptot
Altinho	-36,06	-8,48	360	-0,146	-0,313	-0,077	-0,094	-0,087	-0,006	0,423	0,06	-1,622	-0,686	-2,144
B. de Guabiraba	-35,67	-8,42	305	-0,554	-0,663	-0,282	-0,055	-0,154	-0,063	0,483	0,486	-4,992	-2,651	0,792
Barreiros	-35,19	-8,82	23	1,797	3,689	0,011	-0,8	-0,408	0,072	0,371	-0,19	8,382	4,293	-11,497
Cachoeirinha	-36,24	-8,49	539	-0,166	0,049	-0,138	-0,015	0,007	-0,011	0,542	0,095	-0,382	-0,165	1,583
Caetés	-36,62	-8,78	854	-0,362	-0,122	-0,436	-0,289	-0,27	-0,099	-0,59	0,191	-1,685	-1,596	-2,661
Caruaru	-36,17	-8,24	545	-0,836	-0,848	-0,064	-0,183	-0,046	-0,019	-0,214	-0,001	-2,328	-1,85	-3,771
Ibirajuba	-36,18	-8,58	470	-0,071	-0,595	-0,03	-0,149	-0,109	-0,008	1,124	-0,065	-2,347	0,128	-6,24
Jurema	-36,14	-8,72	750	-0,819	-1,334	-0,261	-0,448	-0,233	-0,101	0,65	0,004	-10,032	-8,697	-14,26
Lajedo	-36,42	-8,95	663	-0,271	-1,212	-0,148	-0,372	-0,22	-0,041	0,916	-0,014	-5,465	-1,288	-12,643
Palmares	-35,47	-8,69	109	-0,722	-0,48	-0,066	-0,357	-0,151	-0,004	0,993	-0,023	-1,831	-2,76	-8,777
Panelas	-35,90	-8,68	533	-0,249	-0,751	-0,099	-0,339	-0,071	-0,005	0,865	0,019	-0,256	-0,538	-5,389
Sanharó	-36,56	-8,36	653	-0,305	-0,563	-0,041	-0,124	-0,078	-0,008	0,409	0,047	-1,003	-1,001	-3,996
S.Bento do Una	-36,55	-8,52	650	-0,163	-0,803	-0,032	-0,09	-0,073	-0,006	0,098	-0,037	-0,905	-0,413	-2,58
S. Caetano	-36,14	-8,33	553	0,221	0,238	0,06	-0,021	-0,022	-0,002	1,356	-0,048	-0,577	0,366	-3,038
S. J. do Monte	-35,79	-8,49	450	-0,363	-0,37	-0,045	-0,228	-0,121	-0,006	1,367	0,235	-3,819	-1,066	-8,415