



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



FRANCISCO DE ASSIS DINIZ

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS EXTREMAS
NO ESTADO DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE / PB
MAIO / 2013**

FRANCISCO DE ASSIS DINIZ

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS EXTREMAS NO ESTADO DA
PARAÍBA

Dissertação de Mestrado “Distribuição Espaço-Temporal de Chuvas Extremas no Estado da Paraíba” apresentada como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em parceria com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Área de Concentração:
Meteorologia de Meso e Grande Escala.

Sub-Área: Climatologia

Orientador:
**Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS
SALVIANO DE SOUSA.**

Campina Grande – PB
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D585d Diniz, Francisco de Assis.
Distribuição espaço-temporal de chuvas extremas no estado da Paraíba / Francisco de Assis Diniz. – Campina Grande, 2013.
94 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.

"Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salvia no de Sousa".
Referências.

1. Evento Extremo Diário de Precipitação. 2. Teste de Mann-Kendall. 3. Tendências Climáticas. 4. Período de Retorno. 5. Sistema Meteorológico. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Título.

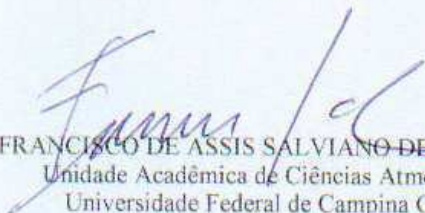
CDU 551.577.2(043)

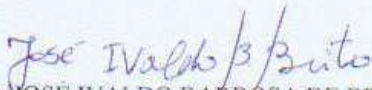
FRANCISCO DE ASSIS DINIZ

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS EXTREMAS NO ESTADO
DA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/06/2013

BANCA EXAMINADORA


FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


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


Dr. FÁBIO CUNHA CONDE
Instituto Nacional de Meteorologia

*Aos meus pais, **Joel Moura Diniz** e **Josefa Gonçalves Diniz**, (In Memoriam), aos meus filhos **Mário Bierknes Diniz** e **André Diniz**, aos meus **irmãos** e **irmãs**.*

DEDICO

*Um dia faz declaração a outro dia, e uma noite mostra
sabedoria a outra noite (Salmo 19.2).*

Assim deu-se a Climatologia...

AGRADECIMENTOS

Ao soberano Deus, porque até aqui me ajudou o Senhor, criador da natureza e pelo dom da vida.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pelo apoio através do programa de pós-graduação e qualificação educacional dos seus servidores e ao Dr. Antônio Divino Moura Diretor do Instituto, por me proporcionar a realizar este curso.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG pela dedicação e empenho em ministrar as disciplinas do curso profissionalizante no INMET em Brasília.

Ao professor Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, pela orientação e dedicação e alto conhecimento, bem como pela nossa amizade e confiança que me foi concedida no decorrer do curso.

Aos professores Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos e Dra. Célia Campos Braga pelas análises, críticas construtivas, recomendações e sugestões durante a confecção desta dissertação.

Ao meu amigo Dr. Fábio Conde do INMET pela contribuição referente as aplicações estatísticas do estudo.

Aos meus amigo(a)s meteorologistas que estiveram juntos no decorrer do curso pelo auxílio, ajuda, incentivo e troca de informações e a meteorologista Maria Cristina Gomes Costa pela ajuda dos dados de precipitação do INMET.

A servidora Andreлина Laura dos Santos pela gentileza, facilidade e paciência com os dados pluviométricos da Agência Nacional de Águas.

As servidoras do Departamento de Ciências Atmosféricas Eyres Diana Ventura Silva pela ajuda de dados pluviométricos da Paraíba e a Divanete Cruz Rocha Farias pela boa vontade em me ajuda nos atendimentos burocráticos.

A minha amiga Dra. Marley Bandeira da AESA pelo empenho na complementação dos dados pluviométricos da Paraíba.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Localização geográfica das microrregiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Paraíba	21
Figura 02 - Localização geográfica da área de estudo, o estado da Paraíba na região Nordeste	28
Figura 03 - Mapa da distribuição espacial dos 54 postos e estações pluviométricas do Estado da Paraíba	37
Figura 04 - Distribuição Espacial do teste MK das séries temporais dos eventos extremos de chuva diária de cada ano	38
Figura 05 - Distribuição espacial da tendência climática das séries temporais dos eventos extremos de precipitação diária de cada ano	38
Figura 06 - Nível de significância de 1% e 5%, por Mann-Kendall das séries temporais dos eventos extremos de precipitação diária de cada ano.....	39
Figura 07 - Distribuição espacial da média das séries temporais da precipitação (mm) extrema diária de cada ano.....	39
Figura 08 - Distribuição espacial do desvio padrão das séries temporais da precipitação (mm) extrema diária de cada ano.....	40
Figura 09 - Tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária anual: a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa; e) Areia; f) Araruna; g) Campina Grande; h) Umbuzeiro; i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia; n) Cajazeiras; e o) São Gonçalo	41
Figura 10 - Distribuição espacial para uma chuva extrema diária (mm) esperada para o período de 50 anos	47
Figura 11 - Distribuição espacial para uma chuva extrema diária (mm) esperada para o período de 100 anos	47
Figura 12 - Frequência da variação temporal dos eventos EEPDA: a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa; e) Areia; f) Araruna; g) Campina Grande h) Umbuzeiro; i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia; n) Cajazeiras; e o) São Gonçalo	48
Figura 13 - Linha de Corrente e Umidade do ar, análise às 12:00 UTC, de 17/01/2013: a) 200 hPa; b) 850 hPa; e Linha de Corrente e Umidade do ar, análise às 12:00 UTC, de 17/01/2013: c) 700 hPa. Modelo MBAR.....	54
Figura 14 - Índice CAPE análise às 12:00 UTC, de 17/01/2013. Modelo MBAR	55
Figura 15 - Imagem de Satélite GOES-12, topo de nuvens, às 22:45 UTC, de 29/01/200.....	55
Figura 16 - Linha de Corrente e Umidade do ar, análise às 12:00 UTC, de 29/01/2004: a) 200 hPa; e b) 850 hPa. Modelo MBAR	56

Figura 17 – Campo médio anomalia de ROL, jan.2004.....	56
Figura 18 - Imagem de Satélite GOES-12, canal vapor d'água, às 20:45 UTC, em 17/03/2008...	58
Figura 19 - Linha de corrente e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 17/03/2008: a) 200 hPa; e b) 700; e c) 500 hPa	58
Figura 20 - Índice CAPE análise às 12:00 UTC, de 17/03/2008. Modelo MBAR	59
Figura 21 - Campo médio das Anomalias de TSM, mar.2008	60
Figura 22 - Imagem de Satélite GOES-12, no canal infravermelho, de 05/05/2008 às 16:30 UTC, 18:00 UTC e 22:45 UTC	61
Figura 23 - Linha de corrente e umidade do ar às 1200 UTC, de 05/05/2008: a) 200 hPa; b) 700 hPa; e c) 850 hPa.....	62
Figura 24 - Índice CAPE, às 12:00 UTC, de 05/05/2008 (modelo MBAR)	66
Figura 25 - Campo médio das Anomalias de TSM, maio de 2008	63
Figura 26 - Imagem de satélite colorida GOES-10, às 18:00 UTC, 19:45 UTC, 21:00 UTC e 23:34 UTC, de 13/04/2009.....	65
Figura 27 - Fluxo de vento e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 13/04/2009: a) 200 hPa; b) 700 hPa; e c) 850 hPa	65
Figura 28 – Índice de estabilidade atmosférica (K), análise às 12:00 UTC, de 13/04/2009. (Modelo MBAR)	66
Figura 29 - Índice CAPE, análise às 12:00 UTC, de 13/04/2009. (Modelo MBAR).....	67
Figura 30 - Campo médio das anomalias de TSM, abr.2009	67
Figura 31 - Gráfico <i>Box-plot</i> dos valores extremos ou limiares (<i>outliers</i>) mm para os EEPDA mm, acima do valor mais alto representado no gráfico (°): a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa; e) Areia; f) Araruna; g) Campina Grande; h) Umbuzeiro; i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia; n) Cajazeiras; e o) São Gonçalo.....	69

LISTA DE SIGLAS E SIMBÓLOS

AB	Alta da Bolívia
AESA	Agência Executora de Gestão de Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
ATSM	Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
COSMO	Consortium for Small-Scale Modelling
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DL	Distúrbio de Leste
EEPDA	Eventos Extremos de Precipitação Diária Anual
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
ENSO	El Niño South Oscillation
FEV	Fevereiro
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAN	Janeiro
MG	Minas Gerais
MK	Mann-Kendall
mm	Milímetro
NEB	Nordeste do Brasil
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OS	Oscilação Sul
P	Precipitação
PB	Paraíba
RN	Rio Grande do Norte
ROL	Radiação de Ondas Longas
SBMET	Sociedade Brasileira de Meteorologia
SiCo	Sistema Convectivo
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis Atmosféricos
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

A variabilidade climática e o aumento dos eventos extremos meteorológicos e climáticos, especialmente a variável precipitação diária, tem sido algo de preocupação tanto para as autoridades governamentais quanto para os tomadores de decisão e toda sociedade. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho é estudar e detectar o comportamento probabilístico dos eventos extremos de precipitação diária anual do Estado da Paraíba e o possível risco associado; por isto, buscou-se verificar a tendência climática da precipitação no tempo e espaço usando séries temporais desta variável e aplicando o método estatístico do teste de Mann-Kendall; determinar: o período de retorno para 50 anos e 100 anos dos extremos máximos de chuva diária para cada série temporal, através da Variável Reduzida Gumbel; analisar os sistemas meteorológicos precipitantes responsáveis pelos eventos extremos de chuva diária e suas contribuições percentuais da variável temporal aos sistemas associados; e os valores atípicos (outliers) dos extremos de precipitação diária usando a ferramenta box-plot. Foram utilizados os dados de precipitação máxima diária de cada ano de 52 postos pluviométricos e estações meteorológicas no período de 1910-2011 (47-102) anos do Estado da Paraíba, pertencentes à Agência Nacional de Águas, da Agência Estadual de Saneamento da Paraíba; ao Instituto Nacional de Meteorologia; e ao Departamento de Ciências Atmosférica. A análise do teste Mann-Kendall das 52 localidades 38 apresentaram tendência de aumento, sendo que 13 foram estatisticamente significante; 14 apresentaram tendência negativa, porém, nenhuma delas foram estatisticamente significante. Sugere-se os VCAN terem pouca contribuição nos EEPDA de João Pessoa, Alhandra, Areia, Caiçara, Itabaiana, Mamanguape e Mulungu o predomínio dos EEPDA foi partir do mês de março, e em Pilar a partir do mês de abril. Conclui-se que a maior frequência que ocorrem os EEPDA foi no período de janeiro a abril, em 26 localidades das regiões do Cariri/Curimatau, Sertão e Alto Sertão e sistemas meteorológicos associados a estes eventos foram os VCAN e ZCIT.

PALAVRAS CHAVES: Teste de Mann-kendall, Tendência Climática, Evento Extremo Diário de Precipitação, Período de Retorno, sistema meteorológico.

ABSTRACT

Climate variability and increase in extreme weather and climate events, specially the variable daily precipitation, has been something of concern to both government authorities and for decision makers and the whole society. On this perspective, the objective of this study is to detect the probabilistic behavior of extreme precipitation events daily annual Paraíba State and the possible risk, for this, we sought to verify the trend of climate rainfall in time and space using time series of this variable and applying the statistical method of Mann-Kendall; determine: the payback period to 50 years and 100 years of extreme maximum daily rainfall for each time series by variable Reduced Gumbel; analyze weather systems responsible for precipitating events extreme daily rainfall and their percentage contributions of the temporal variable associated systems, and outliers of daily precipitation extremes using the tool box-plot. We used the data of daily maximum rainfall each year of 52 rain gauges and weather stations for the period 1910 to 2011 (47-102) years of Paraíba State, belonging to the National Water Agency, the State Bureau of Sanitation of Paraíba; the National Meteorological Institute, and the Department of Atmospheric Sciences. The analysis of the Mann-Kendall 38 from 52 localities tended to increase, while 13 were statistically significant, 14 showed negative trend, however, none were statistically significant. It is suggested the VCAN have little contribution in EEPDA João Pessoa, Alhambra, Sand, Caiçara Itabaiana Mamanguape Mulungu and the predominance of EEPDA was from March, and Pilar from the month of April. We conclude that the higher frequency occurring in the EEPDA was from January to April in 26 localities of Cariri / Curimatau, Hinterland and Higher Hinterland (Sertão e Alto Sertão) weather systems associated with these events were the ITCZ and VCAN.

KEYWORDS: Mann-kendall, Trend Climate Extreme Event Diary Precipitation, Period Return, weather system.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CLIMATOLOGIA DO NORDESTE BRASILEIRO - O CASO DA RECIPITAÇÃO	18
2.2	CLIMATOLOGIA DA PARAÍBA – O CASO A PRECIPITAÇÃO.....	20
2.3	EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO	21
2.4	TESTE ESTATÍSTICO DE MANN-KENDALL.....	24
3	DADOS E METODOLOGIA	27
3.1	ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO	27
3.2	TESTE ESTATÍSTICO DE MANN–KENDALL (MK)	28
3.3	DISTRIBUIÇÃO GUMBEL (PERÍODO DE RETORNO).....	30
3.4	MÉTODO BOX-PLOT	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	APLICAÇÃO DO TESTE DE MANN–KENDALL PARA A TENDÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ANUAL	34
4.2	PERÍODOS DE RETORNO DE 50 ANOS E 100 ANOS – GUMBEL	45
4.3	CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VARIAÇÃO TEMPORAL E OS SISTEMAS METEOROLÓGICOS PRECIPITANTES ASSOCIADOS AOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA DIÁRIA	45
4.4	ANÁLISE METEOROLÓGICA DE ALGUNS EVENTOS EXTREMOS - GRANDE ESCALA	52
4.4.1	Segunda quinzena de janeiro de 2004	52
4.4.2	Evento de 17 de março de 2008 – análise de larga escala	57
4.4.3	Evento de 05 de maio de 2008 – análise de larga escala	60
4.4.4	Evento de 13 de abril de 2009 – análise de larga escala	64
4.5	APLICAÇÃO DO MÉTODO BOX-PLOT	68
5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICES	82
	Tabela A.....	83

Tabela B.....	86
Tabela C.....	89
Tabela D.....	92

1 INTRODUÇÃO

No que se refere ao entendimento de eventos extremos pode-se definir a chuva extrema como sendo um fenômeno de ocorrência rara, que se distancia da média, variando em intensidade e magnitude, conforme descrevem Sarewitz e Pielke (2001).

Várias teorias são analisadas para o estudo da variabilidade e tendência climática de uma determinada região ou global. O sistema climático oceano atmosférico é constituído de várias componentes. As mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries temporais de variáveis meteorológicas, uma delas é a precipitação extrema diária. No entanto, a Organização Meteorológica Mundial - OMM com objetivo de padronizar a questão sobre o estudo de tendência e mudança climática, criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de mudanças climáticas, um total de 27 índices, sendo que 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar Zhang e Yang (2004).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos por vários pesquisadores os quais utilizam métodos estatísticos na avaliação da variável meteorológica da precipitação extrema diária (May, 2004; Haylock et al., 2006; Williams et al., 2008; Blain e Moraes, 2011).

Estudos sobre tendência climática com séries anuais de precipitação máxima diária utilizaram testes estatísticos para oito localidades no Estado de São Paulo, a exemplo de Blain e Morais (2011) e constataram que uma localidade apresentou indícios de elevação nos valores anuais de precipitação máxima diária, comprovada pelo teste estatístico de Mann-kendall.

A alta variabilidade na precipitação sazonal espaço-temporal é a característica climatológica do Nordeste brasileiro (NEB), bem como a distribuição das chuvas diárias do litoral para a região do semiárido. Entretanto, à Paraíba, segundo Araújo et al. (2008), é um dos Estados do Brasil que possui a maior variabilidade e irregularidade na distribuição espacial da precipitação sazonal, que varia anualmente de 2000 mm no litoral a 300 mm na região do Cariri, no município de Cabaceiras (algo de 150 km de distância). Sugere-se, climatologicamente, que não existe outra região ou localidade na costa brasileira que apresente semelhança

com essa dimensão na variabilidade espacial da precipitação anual, normais climatológicas INMET (2009).

Clarke e Silva (2004) sugeriram que para estudo climático, as séries de dados climáticos devem ser suficientemente longas de modo a representar bem o local de estudo, permitindo observar a variabilidade e a flutuação do comportamento climático de uma região, principalmente no que se refere às chuvas fortes ou intensas.

Eventos extremos de chuvas diárias têm provocado alguns desastres, a exemplo dos rompimentos de barragens no Estado da Paraíba. Em junho de 2011, fortes chuvas diárias ocorreram em grande parte do Estado, especialmente na região do Agreste, as quais ocasionaram rompimentos em 16 açudes e pequenas barragens e destruição de pontes: uma na altura do km 111,5 da rodovia BR-104; outra entre Itabaiana e a BR 230; e uma terceira entre Santa Rita e Cruz do Espírito Santo.

Sousa et al. (2006) conjectura que a chuva intensa diária em forma de pancadas, típicas de verão, durante a segunda quinzena de janeiro de 2004, pode ter sido decorrente da atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis troposféricos (VCAN) que produziu chuvas intensas na Paraíba e vários estados do NEB. Estas chuvas foram responsáveis por enchentes e pelo rompimento da barragem de Camará, na bacia de Maranguape, provocou uma devastação em diversos municípios da região do Brejo: Alagoa Nova, Areia, Mulungu, Alagoa Grande, esta última cidade os impactos do desastre foram significativos Guedes (2011).

Dessa forma, sugerem-se as seguintes questões investigativas: qual a distribuição, ocorrência e a tendência espaço-temporal dos eventos extremos de precipitação máxima diária no Estado da Paraíba, ao mesmo tempo, determinar quais os períodos de retorno para 50 anos e 100 anos destes eventos extremos, os períodos de maior contribuição percentual da ocorrência das chuvas extremas, e associá-las com os sistemas meteorológicos precipitantes responsáveis pelas chuvas intensas que atuam no Estado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Todos os anos milhões de pessoas em todo o mundo são afetadas por eventos extremos e desastres hidrometeorológicos que acarretam grandes prejuízos sócio-econômicos, a propósito a sociedade como um todo tem percebido que o número de desastres naturais tem aumentado nas duas últimas décadas OMM (2011). Neste sentido, a ciência meteorológica e a climatologia precisam encontrar resposta científica e concreta para a sociedade, no que se refere o aumento da frequência dos eventos meteorológicos. Sendo assim, este estudo se justifica pela busca de respostas do aumento da frequência de eventos de chuvas extremas com base em séries temporais da precipitação diária, através do método de Mann-kendall e de função de distribuição de probabilidade.

A importância do estudo dos eventos extremos de chuvas diárias no Estado da Paraíba, no que concerne a severidade e os efeitos das vulnerabilidades, vem no intuito de ajudar os tomadores de decisão e as autoridades na prevenção dos desastres naturais, no planejamento de ações de defesa civil e dos recursos hídricos, podendo assim, evitarem danos por inundações e enchentes nas áreas urbanas e rurais.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o de estudar o comportamento probabilístico de eventos extremos de precipitação diária de cada ano no Estado da Paraíba, detectar possível risco associado, verificar tendências temporais das séries destes eventos. E os objetivos específicos são:

- a) determinar a tendência dos eventos extremos de chuva diária anual;
- b) estudar os sistemas precipitantes responsáveis pelos eventos extremos de chuva;
- c) espacializar resultados considerando o tempo ocorrido dos eventos extremos;
- d) estimar o período de retorno e riscos associados; e
- e) determinar a tendência das séries temporais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLIMATOLOGIA DO NORDESTE BRASILEIRO - O CASO DA PRECIPITAÇÃO

A precipitação na maior parte do NEB é caracterizada por escassez e alta irregularidade na sua distribuição espaço-temporal com flutuações muito elevadas intrasazonal e interanual na ocorrência de chuvas Menezes et al. (2008). A variabilidade climática da precipitação total de ano para ano é superior a 40%, em diversas áreas do interior do NEB, conforme Kousky (1979). A intensidade e os eventos extremos de precipitação diária dependem da interação da atividade convectiva de mesoescala com os principais sistemas meteorológicos atuantes na Região Nordeste, tais como:

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema responsável pelas precipitações no centro e norte do NEB no período de fevereiro a maio, seu posicionamento é de extrema importância para a intensidade das chuvas no NEB. Hastenrath (1984) sugeriu que o aumento da TSM no Oceano Atlântico Sul e enfraquecimento dos ventos alísios de sudeste induz o deslocamento da ZCIT mais ao sul, com chuvas intensas no NEB. A ZCIT posicionado ao sul da linha do Equador é o principal sistema para ocorrência de chuvas intensas no semiárido, conforme destaca Xavier (2001). A ZCIT é decisiva para o aprimoramento da qualidade de anos chuvosos, tais como: 1974, 1994, 2000, 2002, 2008 e 2009;

Kousky e Gan (1981) estudaram sobre a atuação Vórtice Ciclônico de Altos Níveis troposféricos (VCAN) durante o período de verão, ou seja, que ocorrem de dezembro a março. Maior frequência dos VCAN ocorrem em janeiro, conforme destaca Mello et al, (1996), de maneira muito irregular em seu posicionamento e ocasiona chuvas intensas, bem como estiagem. A atuação deste sistema depende da circulação geral da atmosfera e da intensidade e posicionamento da Alta da Bolívia (AB);

Sistema Frontal (SF) importante sistema que contribuem com as chuvas no centro e sul da Região e novembro a março, mais frequente na parte sul da Bahia. Kousky (1979) destaca que a penetração dos sistemas frontais no NEB é visto como o segundo principal mecanismo de chuvas. Os sistemas frontais de fraca intensidade chegam ao Nordeste ao longo do ano, nos estados da Bahia, sul do

Ceará, oeste de Pernambuco e sul do Piauí e contribuem para ocorrência de precipitações entre novembro a fevereiro;

Distúrbios de Leste (DL) são sistemas que atuam e contribuem com chuvas intensas no leste do NEB no período de abril a agosto. A intensidade dos DL depende da TSM no Atlântico Sul. Estudos realizados no passado por Ratisbona (1976) observou que os DL apresentam seus máximos em junho no leste do NEB. Yamazaki e Rao (1977) observaram através de imagens de satélite formação e deslocamento destes sistemas de leste para oeste no Atlântico Sul;

As Linhas de Instabilidade que se formam principalmente nos meses de verão no hemisfério sul (dezembro a março), na costa entre o litoral do norte do Rio Grande do Norte ao Maranhão, por vezes, atingem parte norte da Paraíba. Gamache e Houze (1982) definiram linha de instabilidade tropical como sendo um distúrbio do sistema que se propaga em mesoescala e ocasiona bastante precipitação;

Alta da Bolívia (AB) consiste num sistema formado pela circulação anti-horária dos ventos na alta atmosfera sobre a América do Sul que ocasiona uma convecção transiente no período de verão, e contribui com chuvas significativas no oeste do NEB, conforme observou Diniz (1988), durante os meses de novembro a março.

Sistema Convectivo (SiCo) sugere-se a convecção diurna sistema que contribui com chuvas na Região Nordeste, Machado e Rossow (1993) estudaram sobre as características dos (SiCo) de mesoescala na região tropical são extremamente dependentes do ciclo diurno e das ondas de leste;

os oceanos são as principais fontes de umidade para a atmosfera global, propiciando assim, instabilidade e formação dos sistemas meteorológicos precipitantes para ocorrência de eventos extremos de chuvas. A Temperatura da Superfície do Mar – TSM nos oceanos Tropicais Pacífico e Atlântico é a principal componente física que influencia diretamente nas condições climáticas do Nordeste. Santos e Brito (2007) identificaram possíveis mudanças no clima do NEB associadas as anomalias de TSM nos oceanos Tropicais. Estudo das correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Tropicais Atlântico e Pacífico por Santos e Brito (2007), demonstraram a forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da Paraíba e do Rio

Grande do Norte. No Pacífico Tropical a presença de eventos quentes (frios) conhecidos como *El Niño* (*La Niña*) tem forte influência sobre as chuvas do NEB.

2.2 CLIMATOLOGIA DA PARAÍBA – O CASO A PRECIPITAÇÃO

Dentre os principais sistemas meteorológicos atuantes do NEB no item anterior, os que contribuem para produzir chuvas intensas em todo Estado da Paraíba são a ZCIT e VCAN. Os sistemas meteorológicos DL atuam no Leste e brejo do Estado e, em alguns casos atingem o Agreste, Cariri e Seridó. A forte influência das anomalias de TSM dos oceanos Tropicais Atlântico e Pacífico cotribuem com chuvas intensas no Estado.

No Alto Sertão da Paraíba, apresenta uma semelhança com o regime de chuva do sul do Ceará (Cariri), quadrimestre mais chuvoso concentra-se de janeiro a abril. Xavier (2001) alerta a previsibilidade nesta região, pela evidência de eventos extremos. Também, o autor observou a posição da ZCIT sobre o leste da Paraíba em torno de 7°S/35°W, relacionada com anos chuvosos. Climatologicamente, as regiões alto e médio sertão (oeste e centro do Estado) apresentam semelhança, grande parte da concentração da chuva anual de janeiro a abril, com 73% e 76%, respectivamente. Araujo et al.(2008) estudaram sobre as chuvas intensas de um dia na Bacia do Rio Paraíba, 82,9% se concentram de janeiro a abril, ocasionadas pelos VCAN e ZCIT. Contudo, a persistência dessa alta concentração nas chuvas em um quadrimestre na maior parte do Estado, apresenta uma grande irregularidade dos valores das precipitações extremas descendiais, mensais e sazonais de ano para ano.

A climatologia da distribuição da precipitação média anual (mm) das microrregiões pluviometricamente homogênea da Paraíba é mostrada na (Figura 01), estudos elaborados por Braga e Silva (1990), Silva et al. (2004) e Brito e Braga (2005), através de técnicas objetivas de análise multivariada estabeleceram uma divisão em 6 (seis) microrregiões pluviometricamente homogênea do Estado: Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimatau, Sertão e Alto Sertão com clima diferenciado, e apresentam dois máximos na precipitação média anual, um no leste e outro no oeste (Alto Sertão) do Estado.

No Litoral, Brejo e Agreste clima varia de tropical a úmido e semiúmido, com chuvas mais frequentes de março a julho as quais variam de 2000 mm a 800mm (João Pessoa 2146mm e Campina Grande 875 mm), e os sistemas meteorológicos que contribuem de maneira significativa nas chuvas são VCAN, DL e ZCIT. As precipitações do Litoral e Brejo são em sua maioria, dos sistemas ondulatórios ou DL (Yamazaki; Rao, 1977; Menezes et al., 2008).

No Cariri/Curimatau, Sertão e Alto Sertão possuem clima semiárido com chuvas de verão a outono, variam de 300 mm a 1000 mm (Cabaceiras 300 mm, Patos 602 mm e São Gonçalo 996 mm), e os sistemas meteorológicos que causam chuvas significativas são VCAN e ZCIT.

Araujo et al. (2008) sugeriram que o VCAN e a ZCIT foram os sistemas relacionados com chuvas intensas na Bacia do Paraíba do norte.

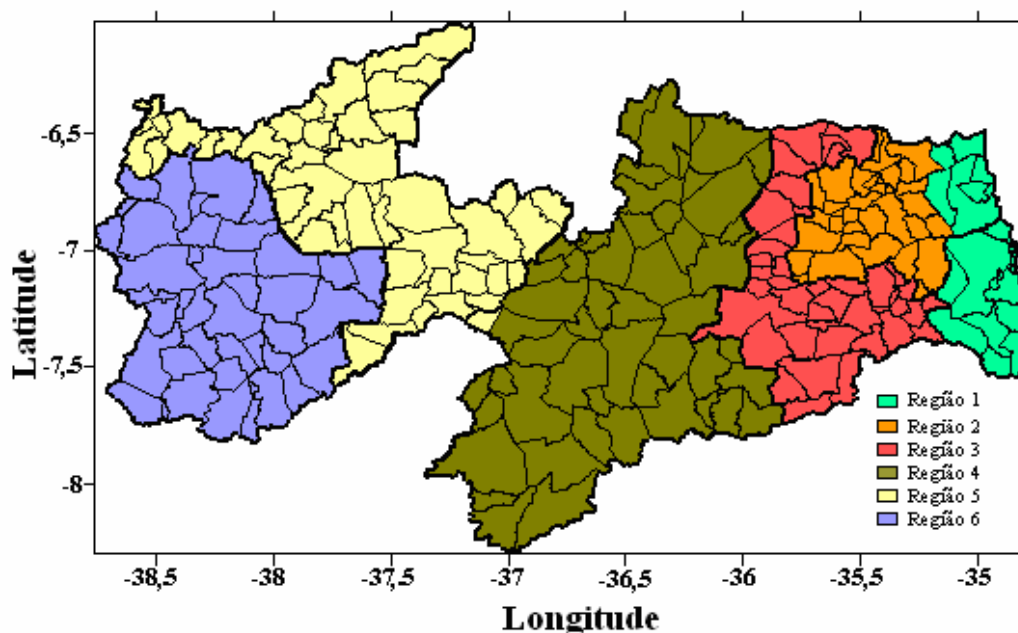


Figura 01 - Distribuição geográfica das regiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Paraíba. Fonte: Silva et al. (2004).

2.3 EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Nessa última década, eventos extremos de precipitação diária causaram enchentes em várias regiões do Estado da Paraíba: destacam-se os da segunda quinzena de janeiro de 2004, na Zona da Mata, Brejo, Sertão e Agreste associados

aos VCAN. Em março de 2008, no Brejo, Agreste e Sertão associado aos DL e VCAN; em maio de 2008, no sertão pelos SC e DL; e em abril de 2009, no Sertão pelos DL. As análises meteorológicas destas situações estão nas seções 4.3 e 4.4.

As fortes chuvas ocorridas em grande parte do Estado da Paraíba em julho de 2011, provocaram enchentes e desastres hidrometeorológicos no leste da Paraíba, em consequência destes eventos foi decretado Estado de Emergência nas regiões do brejo e da zona da mata (CHUVAS NA PARAÍBA..., 2011). Sugere-se, neste sentido, que os sistemas meteorológicos responsáveis por esses eventos extremos de chuva durante vários dias foram os Distúrbios de Leste e as anomalias positivas de TSM próximo à costa do Nordeste.

Segundo a OMM (2011) eventos extremos meteorológicos de forte intensidade com potencialidade devastadores ou catastróficos, de escala local ou regional registrados e observados, especialmente na última década, tem alertado e chamado atenção das autoridades governamentais, dos meios de comunicação e do público em geral em todo o globo. Eventos extremos de chuva diária tem causado sérios perigos na região oeste do Mediterrâneo descrita por Garcia et al. (1982) e Ramis et al. (1994), por fenômeno de uma convecção profunda e úmida que provoca chuva acumulada de forte intensidade observada em curto período: de 200 mm em 2 horas, em Ibiza (Ilha Balearic/Espanha), em 15/11/1985; e de 800 mm em 24 horas na Gandía (Valência/Espanha), em 03/11/1987.

A ocorrência dos eventos extremos de precipitação diária podem trazer muitos transtornos e prejuízos para os setores de saúde humana, infra-estrutura, defesa civil, agricultura, socioeconômico e de energia.

Viana et al. (2009) estudaram sobre a variabilidade das chuvas intensas no Rio Grande do Sul verificaram que 63% da precipitação acumulada ocorrida no Estado, no período de outubro a dezembro/2003, foram de contribuição dos CCM.

Barbosa e Correia (2005) analisaram a alta concentração de umidade no baixos níveis atmosféricos de sistemas atmosféricos profundos, que causam chuvas intensas. Observaram que o cisalhamento do vento induz à formação das correntes ascendentes e descendentes, por sua vez, a formação e manutenção de sistemas precipitantes e causadores de chuvas extremas na região do semiárido.

Araújo et al. (2008) analisaram sobre as chuvas extremas de um dia na bacia do rio Paraíba do Norte, observaram que as mesmas se concentraram nos meses

de janeiro a abril de 2004, ultrapassou os extremos da categoria de precipitação máxima para um dia. Também, encontraram que o período de maior contribuição das chuvas intensas de um dia foi de janeiro a abril, pois 82,9% de casos ocorreram neste período.

No Estado da Paraíba destacam-se os eventos extremos de precipitação diária recordes que ocorreram no período das observações (1911-2011) e registrados oficialmente nas estações meteorológicas do INMET. Esses eventos ocorreram nos locais: Areia 156,6 mm em 25/06/1936; Monteiro 174,0 mm em 24/12/1963; João Pessoa 194,0 mm em 17/06/1986; Cabaceiras 210,0 mm em 18/03/2008; São Gonçalo 192,0 mm em 06/05/2008; Patos 258,2 mm em 14/04/2009; e Campina Grande 110,1 mm, em 17/07/2011. O maior evento de chuva ocorrido em 24 horas, no Estado, foi na cidade de Mãe D'água, 296,0 mm em 29/03/1965 (SUDENE). Vale salientar a série de dados de Cabaceiras (Banco de Dados da ANA) não há chuva diária superior a 210,0 mm. Também, o registros da estação meteorológica do INMET da cidade de Patos é do período de 1975-2011. No período das chuvas em anos chuvosos, eventos de precipitações fortes tem trazido transtorno a população, que sofre com os problemas do fenômeno das enchentes.

Defesa Civil/RJ (2011) o número de vítimas causadas pelo evento extremo de chuvas, de janeiro de 2011, com as enchentes e deslizamentos de terra na Região Serrana do Rio de Janeiro foi de 961 mortes. A tragédia foi considerada como o maior desastre climático da história do País, superando assim, o temporal que atingiu Caraguatatuba/SP, com deslizamento de terra, em março de 1967, que ocasionou 463 mortes (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Enchentes>).

Uma das ferramentas importantes para se prever sistemas precipitáveis com chuvas extremas em curtíssimo prazo em pequena escala ou local é através do modelo COSMO, em operação no INMET. O modelo regional de previsão numérica não hidrostática de área limitada para pequena escala, do inglês *COSMO – Consortium for Small-Scale Modelling*, resoluções de 7km para 72 horas e de 2,8 km para 24 horas, rodadas a cada 06 horas.

2.4 TESTE ESTATÍSTICO DE MANN-KENDALL

Goossens e Berger (1987) afirmam que o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall é um método estatístico mais indicativo apropriado para avaliar ou analisar possíveis mudanças climáticas em séries temporais de dados climatológicos, o qual permite indicar aproximadamente o período ou local inicial de determinada tendência.

Mann-Kendall Test (2004) descreve sobre as aplicações do teste de Mann-Kendall, o teste independe da magnitude dos dados e da série. Maior número real de dados da série, menos sensível as alterações da magnitude dos dados. O teste não leva em conta a variação temporal dos dados de tal forma que não podemos obter uma taxa de degradação. Porém, o resultado de não tendência de uma série temporal significa que o teste de MK não pode discernir sobre a tendência real de aumento ou diminuição da série de dados.

Zhai et al. (2005) usando a técnica dos 95% dos percentis da precipitação diária no período de 1961-1990 na China, aplicaram e encontram através dos percentis os valores usados para a definição de precipitações extremas diárias, que variam de 20 mm a 40 mm na maior parte do leste e acima de 40mm na costa sudeste da China. Encontraram que em geral o número de dias de chuva tem diminuído, porém, a intensidade das chuvas diárias tem aumentado.

Haylock et al. (2006) estudaram as mudanças nos extremos e totais de precipitação em grande parte da América do Sul no período (1960-2000), medidas por Tau de Kendall, e encontraram o sinal de frequência dos índices extremos de R20 mm mais úmido nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil e mais seco no Nordeste.

Williames et al. (2008) através da definição de eventos extremos de chuva como sendo 1,5% da média anual total da precipitação, usaram este limiar para eventos maior que 10% na distribuição da precipitação diária. Adaptaram esta definição para investigar os pixels com chuva extremas, onde o pixel em um determinado dia é a precipitação maior que 1,5% da climatologia total para cada pixel, derivados da precipitação diária de satélite, resolução de 0,1°, de 1993-2002, na África do Sul. Os resultados mostram maior variabilidade nos extremos de chuva diária associadas com o aquecimento em várias regiões.

Santos e Brito (2007) trabalharam com valores diário de precipitação para identificar tendência em índices de chuva e associá-los a possíveis mudanças climáticas. Como resultados identificaram que nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, aumento no número de dias com chuvas: na precipitação total anual; no número de dias extremamente úmidos e em algumas regiões aumento na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm/dia.

Rodrigues e Santos (2007) utilizaram o teste não-paramétrico de Mann-Kendall e estudaram a tendência climática trimestral da precipitação em Araguari/MG, de 1975 a 2005 e encontram tendência trimestral não significativa somente no primeiro trimestre (janeiro a março). Ressalta-se em Araguari, o período chuvoso ocorre de outubro a abril. Portanto, janeiro a março encontra-se na parte central do período chuvoso.

Krishnamurthy et al. (2009) usaram uma série de dados de chuva em pontos de grade (375 pontos) na Índia, no período de 1951-2003. Eles Avaliaram as tendências, intensidade, frequência dos limiares da precipitação diária derivados dos 90 e 99 percentis. Utilizaram o método paramétrico do teste monotônico de Mann-kendall para cada um dos percentis com nível de significância de 10%. Encontraram numero de grids com aumento na tendência significativa dos limiares (frequência e intensidade) no lado leste da Índia (Bangladesh) e no sul, diminuição na tendência significativa dos limiares (frequência e intensidade) na parte norte e oeste da Índia.

Chu et al. (2009) estudaram sobre os eventos extremos de chuva nas ilhas do Havaí e definiram em três critérios base: 1) o número médio anual de dias em que a chuva acumulada em 24h exceder um limiar chuva; 2) o valor associado a um percentil da precipitação diária específico; e 3) os valores diários de precipitação máximo anual associado a um período de retorno específico. Para encontrar o valor extremo generalizado (VEG) usaram a função gama, o método de L-moments e a Distribuição Gumbel determinaram eventos de chuva intensas, número de dias (média anual) com chuva acumulada em 24 horas para eventos de chuvas fortes ($P \geq 50,8\text{mm}$) e muito fortes ($P \geq 101,6\text{mm}$). Determinaram os eventos máximos de precipitação diária para os períodos de retorno de um ano e de 20 anos

Blain (2010) utilizou o método de Mann-Kendall Sazonal para verificar possíveis tendências, elevação ou queda dos totais descendias de precipitação para Campinas, de 1890 a 2009, mencionaram que os valores positivos desse método

não paramétrico analisado em uma série indicam tendência de elevação dos dados. Blain (2010) encontrou tendências de queda nos totais descendiais no final da época seca final de agosto e início de novembro (chuvoso), o que indica uma mudança nos padrões do clima regional, significa um atraso nas chuvas da estação chuvosa.

Blain e Moraes (2011) estudaram as características estatísticas da precipitação máxima diária dentro de cada ano, para 8 (oito) locais no Estado de São Paulo e, detectaram através do teste de Mann-kendall, que apenas a série temporal de Pindorama apresentou tendência de elevação nos valores máximos de chuva diária.

Sousa et al. (2011) usando o teste estatístico de Mann-Kendall para prognosticar a precipitação anual em cenários de 50 anos e 100 anos, nas séries temporais de chuva acumuladas anuais para 54 municípios na Paraíba, encontram tendências climáticas: 37 localidades com tendências positivas no aumento da precipitação anual e 17 localidades com tendência negativas diminuição na precipitação anual. Ressalta-se que Sousa et al.(2011) comentaram.

Fan et al. (2012) estudaram as mudanças nos extremos de precipitação diária em Shanxi (China) para 61 estações meteorológicas no período de 1959-2008, determinaram através do teste não-paramétrico de Mann-kendall, tendência significativa positiva para 16% nas séries de precipitação diária de $R \geq 20$ mm e $R \geq 50$ mm por dia.

OMM (2011) Os estudos científicos através das séries temporais de dados meteorológicos têm mostrado uma maior freqüência de fenômenos meteorológicos extremos (chuvas intensas).

3 DADOS E METODOLOGIA

3.1 ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO

A localização da área de Estudo é o Estado da Paraíba na Região Nordeste (Figura 02), possui uma área 56.468.778 km² e uma população de 3.766.528 habitantes (IBGE, 2012), 98% do território localiza-se no chamado Polígono das Secas. Limita-se a leste com o oceano Atlântico (Ponta de Seixas), ao norte com o Rio Grande do Norte, a oeste com o Ceará e ao sul com Pernambuco.

Foram utilizados os dados das precipitações diárias das séries temporais dos postos pluviométricos e estações meteorológicas, totalizando 52 localidades espacialmente distribuídas do Estado da Paraíba (Figura 03). Foram extraídos os eventos extremos (limiar) da precipitação diária de cada ano das séries temporais. Sugere-se no estudo usar o maior valor extremo da chuva diária de cada ano, por considerar a variabilidade interanual dos anos chuvosos e secos, sem podar as séries temporais. Apêndice Tabela A mostra as localidades, posições e períodos da série de cada posto pluviométrico que variam de 47 a 102 anos. As escolhas destas localidades foram de acordo com os dados disponíveis nas séries temporais mais completas possíveis, e melhor distribuição espacial (Figura 03).

Os dados das precipitações pluviométricas máximas diárias são dos postos e estações meteorológicas da Agência Executora de Gestão de Águas do Estado da Paraíba - AESA, Agência Nacional de Águas – ANA, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA.

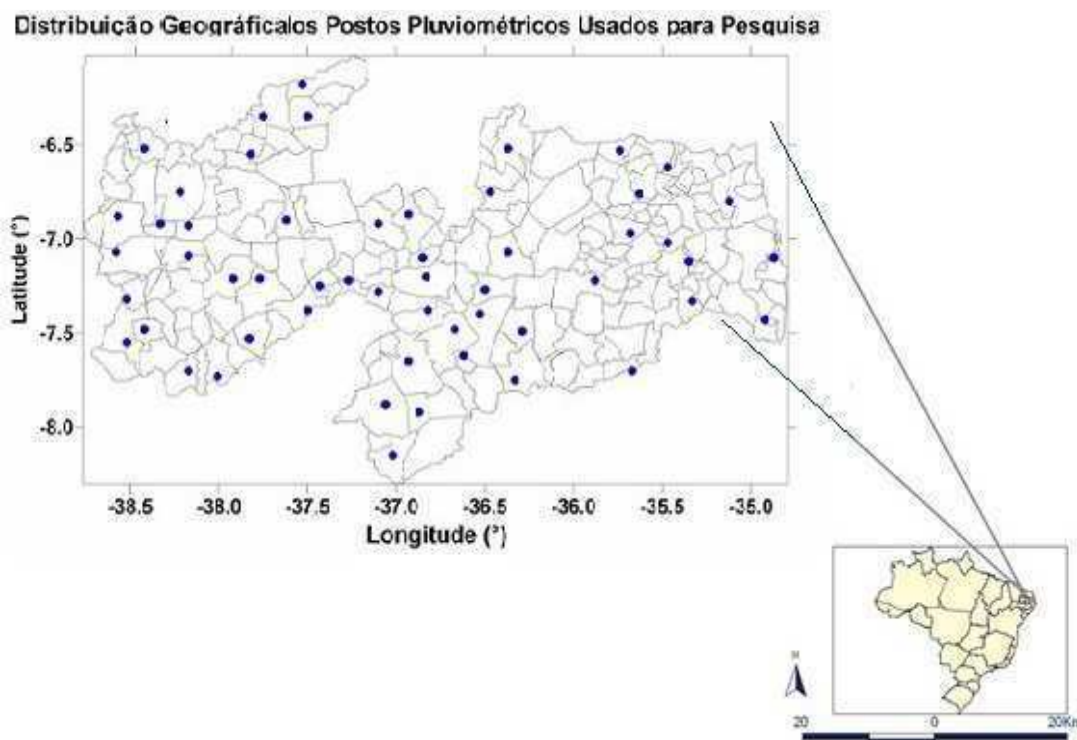


Figura 02 - Localização geográfica da área de estudo, o estado da Paraíba na região Nordeste no Brasil e a distribuição geográfica no estudo dos postos pluviométricos.

3.2 TESTE ESTATÍSTICO DE MANN-KENDALL (MK)

O teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall sugerido e recomendado pela Organização Meteorológica Mundial – OMM, em estudos de tendências em séries temporais de variáveis climáticas, consiste em verificar a tendência e comparar cada valor da série temporal com os valores, sempre em ordem seqüencial restante Yu et al. (2002).

Aplicações e utilizações de métodos estatísticos que analisam a relação na ordem no tempo cronológico da série temporal e os valores de uma variável meteorológica podem obter e fornecer informações de alta relevância na investigação de conclusão de tendências de mudanças climáticas.

Moraes et al.(1995) descrevem o teste não paramétrico de Mann-Kendall considerando uma série temporal de uma variável X_i de N observações, em que $1 \leq i \leq N$, O teste consiste na soma de todas as contagens dos termos $(X_i - X_j)$ da série temporal, tal que:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

No entanto, quando o sinal $(x_i - x_j)$ for igual:

-1: para $(x_i - x_j) < 0$

0: para $(x_i - x_j) = 0$

1: para $(x_i - x_j) > 0$

A estatística S tende a normalidade para uma série temporal grande, com média e variância dada por:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$\text{Var}(P) = 1/18 [n(n-1)(2n+5)] \quad (3)$$

Onde n é o tamanho da série temporal, o teste padronizado da estatística de Mann-Kendall é dado:

$$Z_{Mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença ou resultado de uma tendência estatisticamente significativa de uma série é avaliada pelo valor de Z . Esta estatística é usada para testar a hipótese nula (H_0) de estacionaridade de uma série temporal, a sucessão dos valores ocorre de forma independente com ausência de tendência. Para os resultados de Z positivo (negativo) indica um aumento (diminuição) na tendência da série temporal. Para um nível de significância de $p = 5\%$ (0,05), confiabilidade de 95% e para $p = 1\%$ confiabilidade de 99%. Marengo et al. (2007) utilizou nível de 5% e Sousa et al.(2011) utilizou níveis de 5% e 1%. A hipótese nula (H_0) não será rejeitada sempre

que $(-1.96 \leq MK \leq 1.96)$. Caso Z calculado for maior que o valor tabela de z, então a hipótese de estacionaridade deve ser rejeitada.

O método de Mann-kendall comparado com outros métodos paramétricos mostrar ser mais eficiente quanto aos desvios da normalidade e não estacionalidade dos valores da série temporal, justificando assim, que o fato do teste de Mann-Kendall ser mais utilizado em estudos de tendências climáticas em séries temporais.

3.3 DISTRIBUIÇÃO GUMBEL (PERÍODO DE RETORNO)

A Distribuição Gumbel e o teste Kolmogorov-Smirnov tem apresentado grande importância no estudo de eventos extremos ocorridos na natureza foram aplicados a análise de chuva intensa de um dia por Araujo et al. (2008), que estudaram chuvas intensas sobre a Bacia do Rio Paraíba do Norte e, na análise de frequência da precipitação máxima por Oliveira et al. (2008) que aplicaram para valores de precipitação máxima em Goiás.

A Distribuição de Gumbel é também conhecida como distribuição de valor extremo, das variáveis das séries temporais aleatórias independentes. A distribuição Gumbel é aplicada a eventos extremos em séries temporais anuais. Um dos objetivos aplica-la a precipitação máxima diária anual para calcular e obter os períodos de retorno para 50 anos e 100 anos dos EEPDA para cada série temporal.

A distribuição Gumbel é bastante relacionada com a distribuição Weibull. Ela é chamada de distribuição dos valores extremos é obtida quando se torna o logaritmo natural de uma variável com a distribuição Weibull.

A variável reduzida Gumbel é dada pela fórmula:

$$Y = -\ln [-\ln (i / (n + 1))] \quad (5)$$

O cálculo do período de retorno para série temporal proposto por Gumbel é dado:

$$Y = -\ln [-\ln (i / (n + 1))] \quad (6)$$

Assim, Y_T para um período de retorno T mencionado por Naghettini e Pinto (2007) de um evento extremo a variável reduzida Gumbel é calculada por:

$$Y_{Tr} = -\ln [-\ln (1 - (1/Tr))] \quad (7)$$

Onde:

Y_{Tr} é a variável reduzida Gumbel

T_r é o período de retorno.

Encontrado (Y_{tr}) a máxima intensidade de eventos extremos de precipitação diário anual em função do desvio padrão foi obtida pela seguinte equação:

$$Y_{Tr} = (X_i - X_{med} + 0,45\sigma) / 0,7797 \sigma \quad (8)$$

X_i é o evento extremo de precipitação diária do ano

X_{med} é a média dos eventos extremos anuais

σ é o desvio padrão da série temporal.

A média da série temporal é dada:

$$X_{med} = 1 / (N - 1) \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

Desvio padrão da série temporal é dado:

$$DP = \sqrt{\frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{med})^2} \quad (10)$$

N é o número de anos da série temporal.

Após os cálculos do teste estatístico de Mann-kendall e dos períodos de retorno de 50 anos e 100 anos das séries dos EEPDA, foram plotados os resultados

usando (*software Surfer 8.0*) e interpolação de (*Krigging*), espaçamento de grade de 0,0091 graus aproximadamente para interpolar as cores e possibilitar a análise das microrregiões.

3.4 MÉTODO BOX-PLOT

O método (*box-plot*) é uma ferramenta gráfica aplicada para resumir uma série temporal de observações de uma variável contínua. Este gráfico consiste no aspecto da variabilidade e simetria dos dados, o que possibilita visualizar valores atípicos (*outliers*) dos eventos extremos de precipitação em 24 horas. Os outliers devem ser mantidos e mencionados quando faz parte do fenômeno em estudo Lúcio (2006).

O gráfico (*box-plot*) consiste como base em sua construção por cinco números:

O mínimo extremo, percentil;

Primeiro quantil (Q1) 25;

A mediana (Md_{obs});

O terceiro quartil (Q3) 75: e

O máximo extremo.

Os limites e comprimento da caixa é o interquartil com base nos pontos principais de teste de comparação de média de Tukey. Isto é:

$IQR = Q3 - Q1$ (intervalo inter-quantil), que define:

$STEP = 1.5 IQR$

(*Step*) é diferença entre os quantis ($Q3 - Q1$)

Um caso é um extremo isolado de precipitação (*outlier*) se:

$$Q3 + STEP \leq y_i < Q3 + 2STEP \text{ ou} \quad (11)$$

$$Q1 - 2STEP < y_i \leq Q1 - STEP \quad (12)$$

Desde que $Q1 - 2STEP \geq 0$, se não : $0 \leq y_i \leq Q1 - STEP$

Um caso é um evento extremo de precipitação se:

$$Y_i \geq Q_3 + 2STEP \text{ ou} \quad (13)$$

$Y_i \leq Q_1 - 2STEP$, desde que $Q_1 - 2STEP \geq 0$,

Se não $Y_i = 0$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 APLICAÇÃO DO TESTE DE MANN-KENDALL PARA A TENDÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ANUAL

As Figuras de 4 a 8 mostram os resultados da aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall, mapas de distribuição espacial do teste MK, tendência temporal, nível de significância, média das séries temporais e desvio padrão dos eventos extremos de precipitação diária de cada ano (EEPDA), respectivamente.

Para se obter melhor resultado do teste MK, as séries temporais com falhas de dados dos EEPDA são completadas os anos faltosos sem valores dos EEPDA, para que o teste MK entenda que houve quebra na série temporal e os resultados serem mais confiáveis, evitando assim, condições de serem superestimados.

A Figura 03 mostra apenas a distribuição espacial dos postos pluviométricos e estações meteorológicas sobre o Estado da Paraíba. Resultado do teste MK na Figura 04 ilustra áreas com tendência significativa positiva (elevação) nas regiões Litorais Sul, Agreste, Sertão e Alto Sertão e poucas áreas de tendência não significativa negativa (diminuição) no Brejo, sul do Cariri e norte do Sertão dos EEPDA. No entanto, o mapa do teste MK mostra maior quantidade de áreas de valores positivos de elevação dos extremos de chuva diária.

O mapa da distribuição espacial da tendência temporal de Mann Kendall (Figura 05) apresenta uma configuração semelhante com o mapa do teste MK. Apresenta maior quantidade de área de sinal positivo (0,2 a 0,6) elevação da tendência temporal no Litoral sul, Agreste, Cariri, parte do Médio e Alto Sertão e menor quantidade de área de sinal negativo (0,2 a 0,6) no sul e centro do Cariri e parte norte do Sertão diminuição da tendência temporal das séries nos valores EEPDA. De certa forma estes resultados concordam com Blain e Moraes (2011) que observaram a série temporal de Pindorama/SP apresentou tendência de elevação nos valores máximos de chuva diária.

A Figura 06 mostra mapa da variação espacial dos níveis de significância de 1% e 5% calculados a partir da aplicação de Mann-Kendall. São ilustradas na Figura 06 diversas áreas com tendência estatisticamente significativa positiva de 5% (0,05) em rosa e 1% (0,01) em laranja no sul do Litoral e do Agreste, centro do Cariri e do

Sertão, oeste do Alto Sertão. Observa-se que, em geral, as áreas com tendência negativa são estatisticamente não significativa, ou seja, não se pode afirmar categoricamente a diminuição de eventos extremos. As áreas com tendência positiva, em geral, são estatisticamente significativa, ou seja, pode afirmar que nestas áreas ocorreram um aumento dos eventos extremos de precipitação. Zhai et al. (2005) encontraram tendência de aumento estatisticamente significativo de 5% no SE e Sul da China. Em seus estudos (Blain e Morais 2011; Sousa et al., 2011) usaram o nível de significância de 5% e encontraram resultados estatisticamente significativo.

Resultados de análise dos cálculos estatísticos do teste de MK dos 52 postos pluviométricos estudados são apresentados (Tabela B). O teste MK apresenta maior valor de 3,0607 em Olho D'água, índice significativo de elevação e o menor valor de -1,9406 em Jericó, índice não significativo de diminuição nas séries temporais. Dos 52 postos/estações pluviométricas em estudo foram encontrados: 38 com tendência positiva e 14 com tendência negativa. 38 postos/estações com tendência positiva, aumento no EEPDA, sendo 25 estatisticamente não significativa e 13 significativa, que foram as localidades de: Alhandra, Areia, Bonito de Santa Fé, Brejo do Cruz, Cabaceiras, Cajazeiras, Desterro, João Pessoa, Nazarezinho, Olho D'água, Pedra Lavrada, Teixeira e Umbuzeiro. 14 postos/estações apresentaram tendência negativa; diminuição do EEPDA, sendo todos estatisticamente não significantes.

Santos e Brito (2007) identificaram aumento no número de dias úmidos de chuvas superiores a 50 mm/dia em algumas regiões da PB e RN. Fu et al. (2010) encontraram para 189 locais na Austrália, 91 com tendência positiva, 97 com tendência negativa, com tendência estatisticamente significativa 9 positiva e 8 negativa nas séries de precipitação extrema de um dia. O estudo mostra maior número de postos pluviométricos com tendência positivas do que negativas, aumento nos eventos extremos de chuva diária. Barbosa (2007) através de análise estatística encontrou aumento no número de eventos extremos de chuva diária de maior intensidade, no setor Paulista da Serra do Mar durante o período de 1970 a 1999.

A média dos eventos extremos de chuva diária anual (Figura 07) destaca-se duas microrregiões com extremos médios de precipitações elevadas, o Litoral acima de 100 mm e o Alto Sertão em torno de 90 mm, apresentam semelhanças com a

climatologia da precipitação anual. Em termos meteorológicos, a razão para microrregião do Alto Sertão ser mais chuvosa e apresenta maior intensidade nos eventos extremos de chuva diária, deve a circulação de grande escala, posição e frequência da borda dos VCAN e advecção de umidade da Amazônia nos baixos níveis atmosféricos que chega a parte oeste do Estado e sul do Ceará, aumentando assim a convecção local, em geral de janeiro a abril, as maiores precipitações ocorreram no mês de janeiro no ano de 2004, na maioria dos postos da PB este resultado colabora com Sousa et al. (2006). Em termos de frequência, 60% dos extremos de chuva diária ocorrem de 51 mm a 100 mm no Estado Galvínio et al. (2005).

Os resultados encontrados pelo teste de MK, diferenças nas tendências estatísticas significativas e não significativas positivas/negativas das 52 séries temporais dos EEPDA no Estado da PB, são decorrentes da alta variabilidade da distribuição espacial e da ocorrência da precipitação na atmosfera.

O desvio padrão (DP) apresenta uma alta variabilidade espacial nas séries dos EEPDA (Figura 08), decorrente da alta variabilidade interanual do comportamento da intensidade das chuvas diárias na Paraíba. Estes extremos mostram ser mais homogêneos nas microrregiões do Brejo, Agreste e noroeste do Sertão, DP de 18 a 23 mm e maior variação no Cariri/Curimatau, Litoral e norte do Sertão, DP de 35 a 38 mm. Ocorrem em anos chuvosos temporais fortes e os sistemas meteorológicos são mais intensos e em anos secos, temporais mais fracos e enfraquecimento dos sistemas meteorológicos.

Foram selecionados como base para representação 14 localidades das 52 em estudo: Olho D'água e Jericó, que o teste MK apresentou maior/menor índice significativo de elevação/diminuição na série temporal; e mais duas localidades de cada microrregião da PB. Litoral: Alhandra e João Pessoa; Brejo: Areia e Araruna; Agreste: Campina Grande e Umbuzeiro; Cariri/Curimatau: Cabaceiras e Monteiro, Sertão: Desterro e Santa Luzia; e Alto Sertão: Cajazeiras e São Gonçalo. A Figura 09 ilustra os gráficos da tendência climática para os 14 postos pluviométricos selecionados.

Análise da Figura 9a, 9c-e, 9h-i, 9l e 9n dos gráficos respectivamente de Olho D'água, Alhandra, João Pessoa, Areia, Umbuzeiro, Cabaceiras, Desterro e

Cajazeiras indicam tendência de elevação (variação climática) nos valores dos EEPDA.

Sousa et al. (2011) encontraram tendência significativa de elevação quando a curva da série temporal atinge um nível de significância de 1% e 5% pode-se verificar nas curvas das séries de Olho D'água, Alhandra, Umbuzeiro, Cabaceiras e Desterro (Figura 9a, 9c, 9h, 9i e 9n). Para Jericó e Monteiro indicam tendência de declínio (variação climática) nos valores dos EEPDA (Figura 9b e 9j). Verifica-se inexistência de tendência ou variação climática em Araruna, Campina Grande e São Gonçalo (Figura 9f, 9g e 9o). Verifica-se que a série de Santa Luzia apresenta uma tendência insignificante de elevação (Figura 9m).

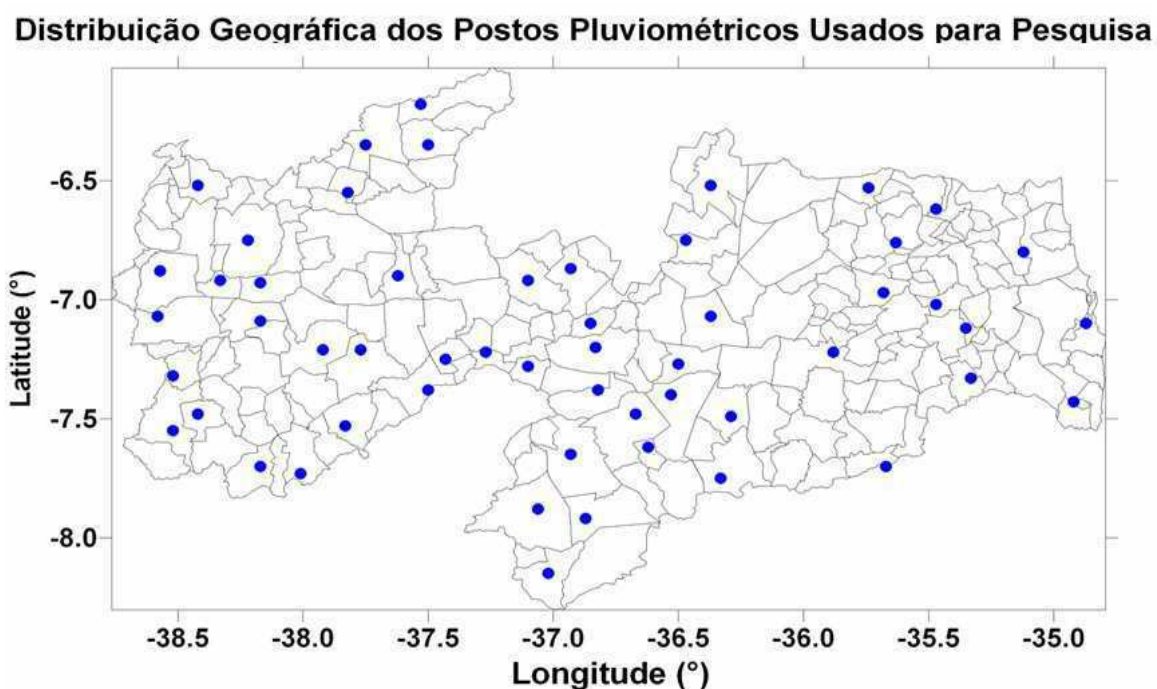


Figura 03 – Mapa da Distribuição espacial dos 53 postos e estações pluviométricas do Estado da Paraíba.

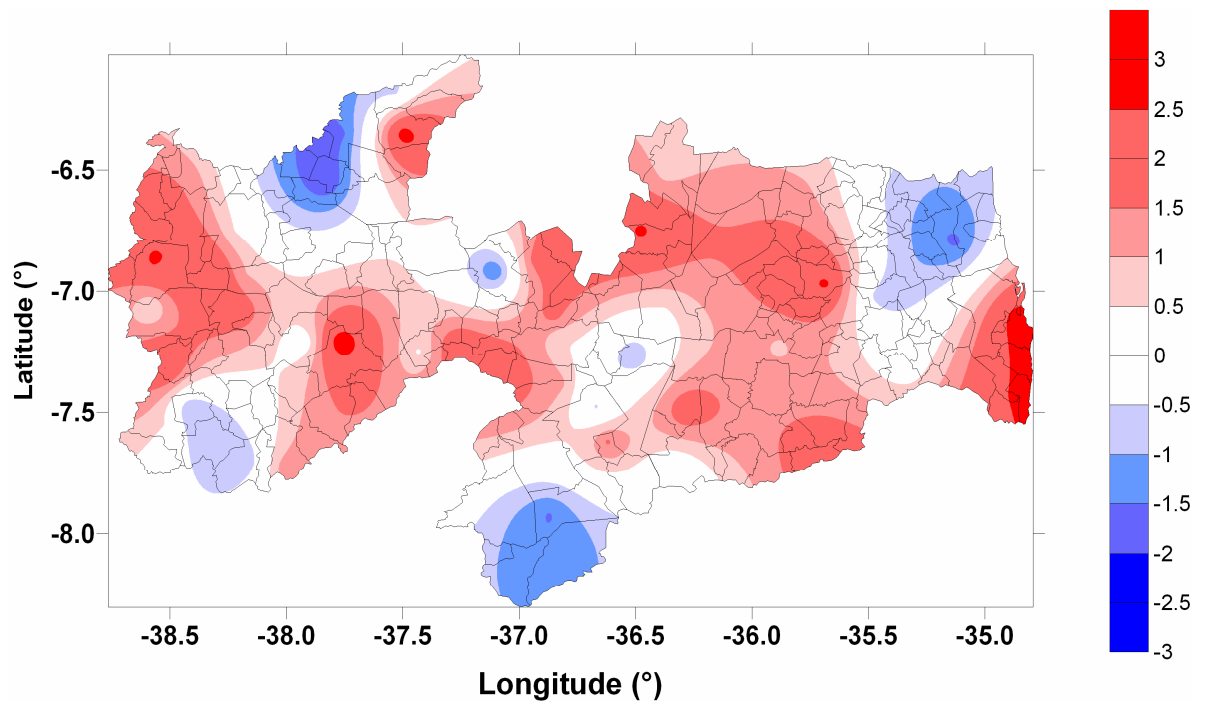


Figura 04 - Distribuição Espacial do teste MK das séries temporais dos eventos extremos de chuva diária de cada ano

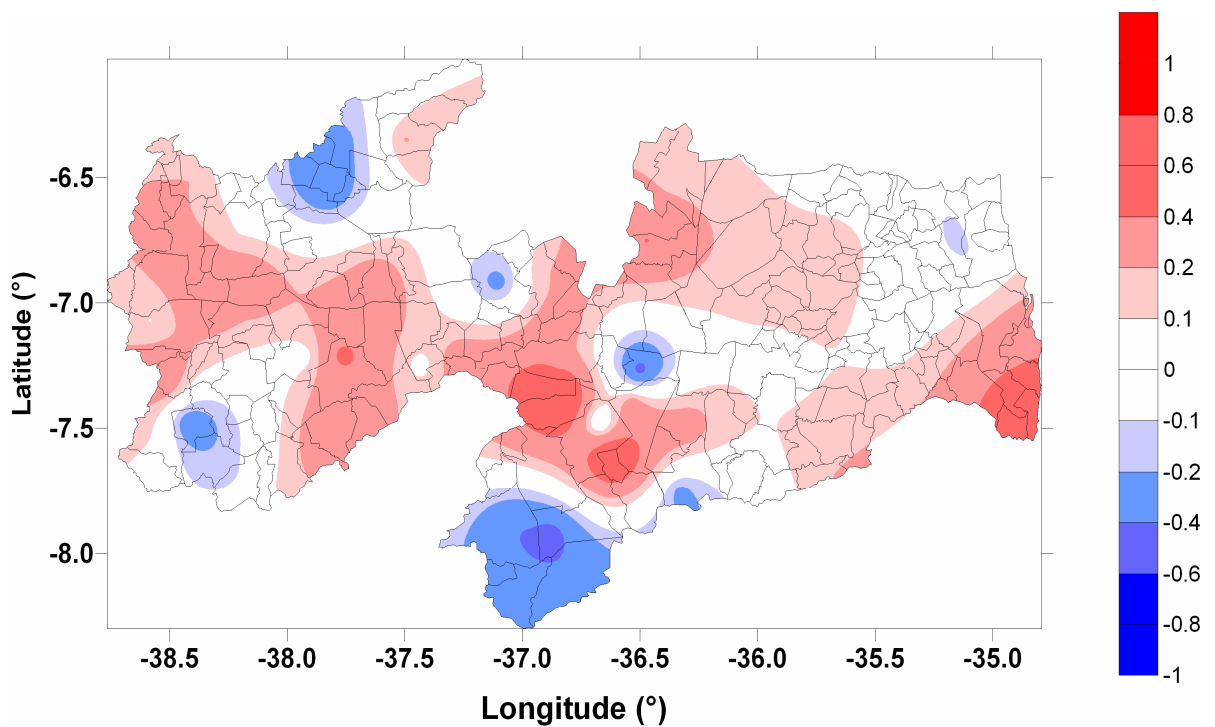


Figura 05 - Distribuição espacial da tendência climática das séries temporais dos eventos extremos de precipitação diária de cada ano

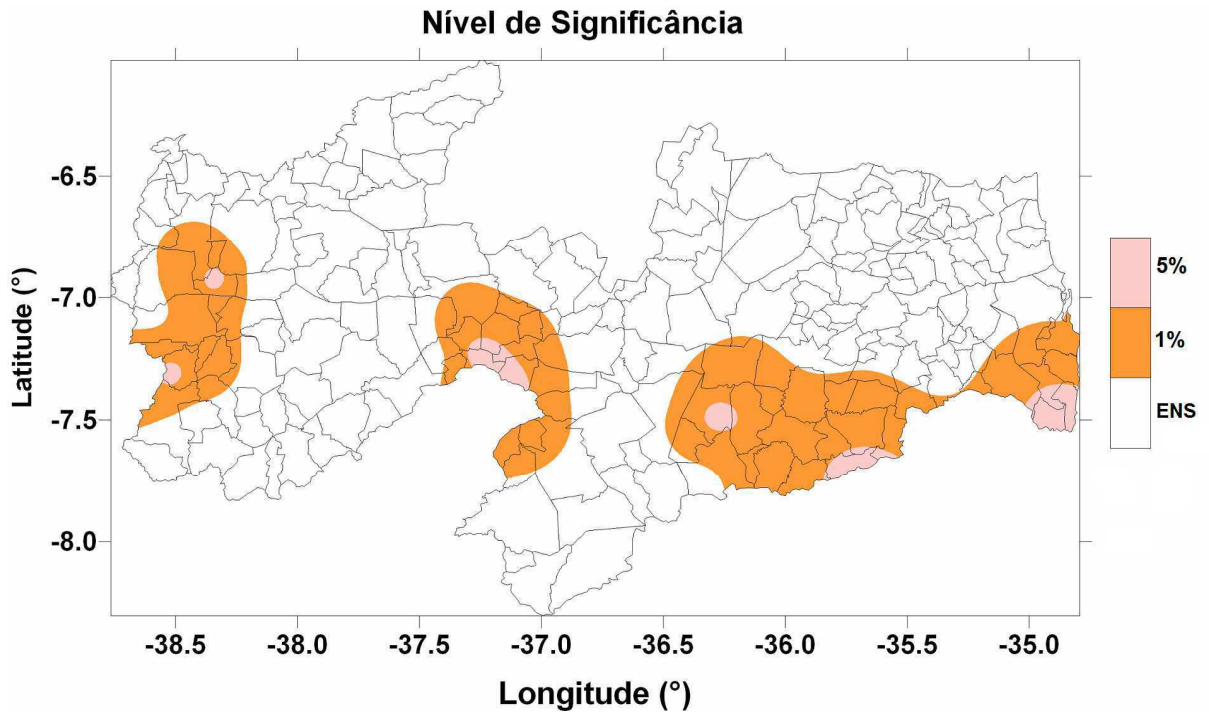


Figura 06 - Nível de significância de 1% e 5% e ENS (Estatisticamente não Significativo) por Mann-Kendall das séries temporais dos eventos extremos de precipitação diária de cada ano.

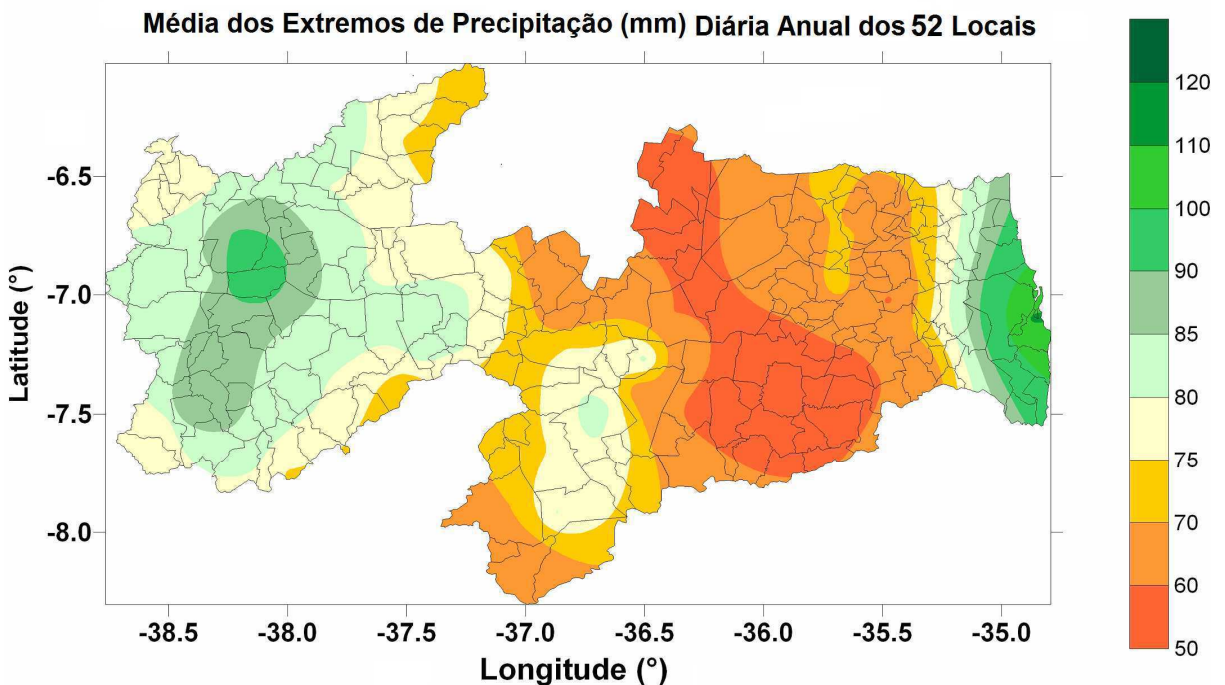


Figura 07 - Distribuição espacial da média das séries temporais da precipitação (mm) extrema diária de cada ano.

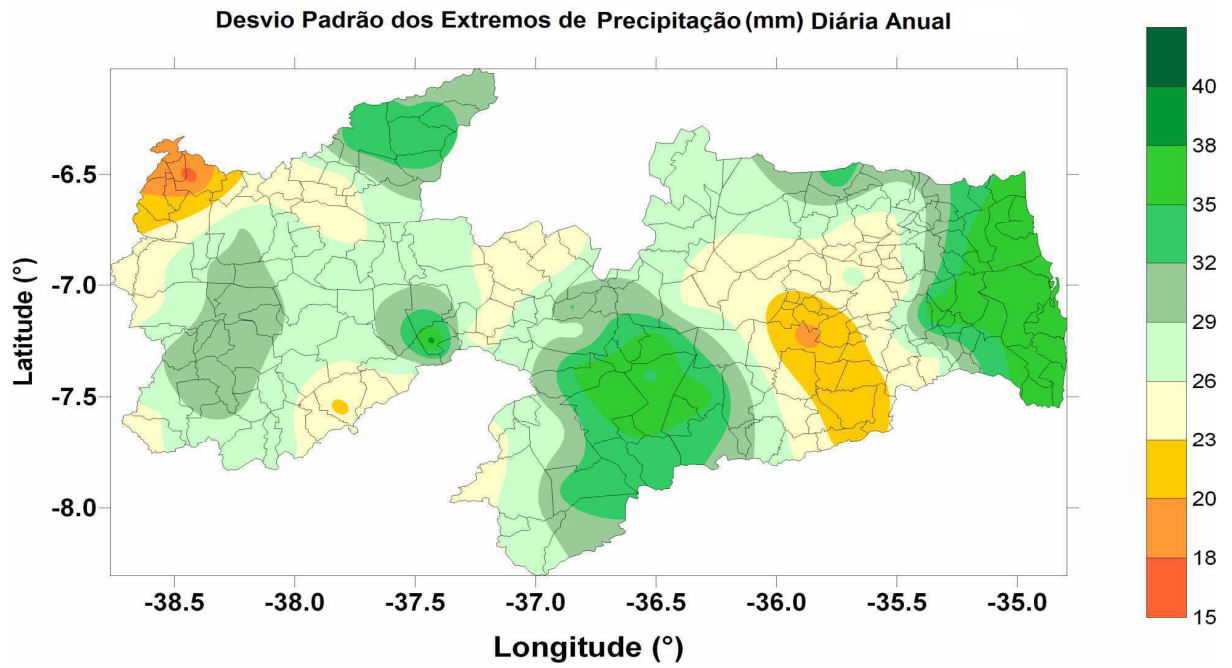


Figura 08 - Distribuição espacial do desvio padrão das séries temporais da precipitação (mm) extrema diária de cada ano

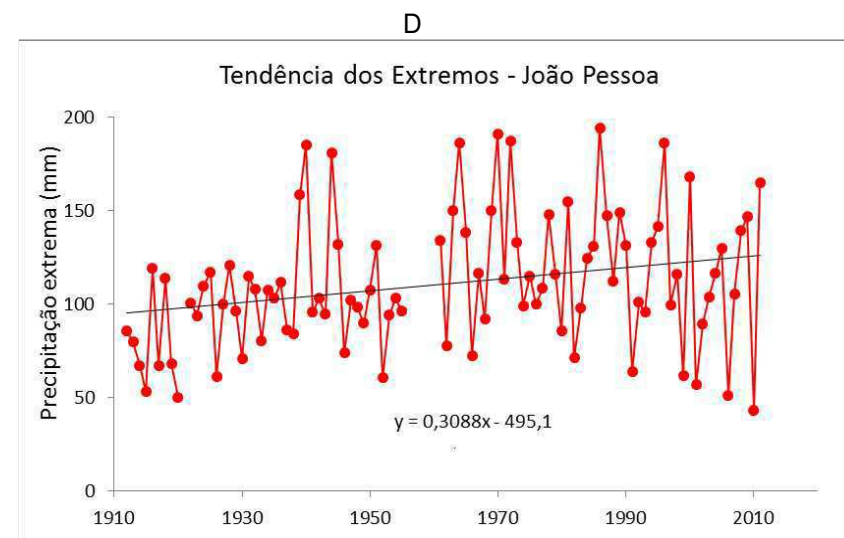
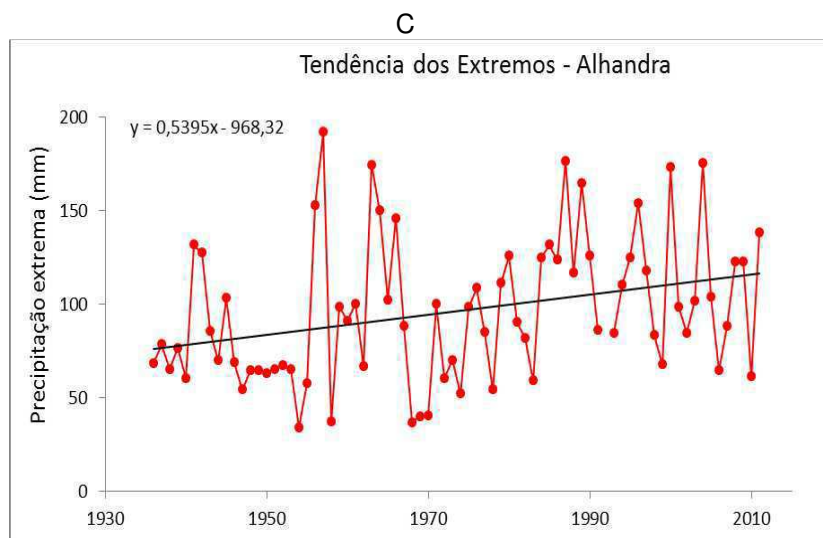
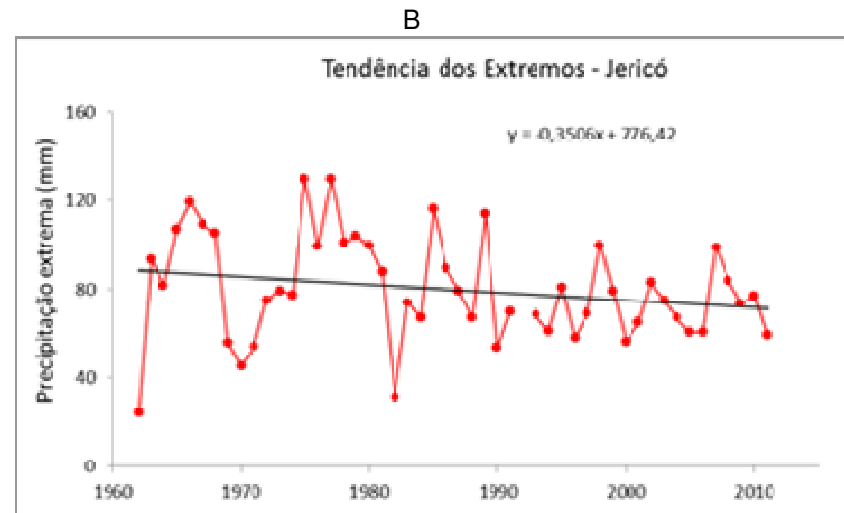
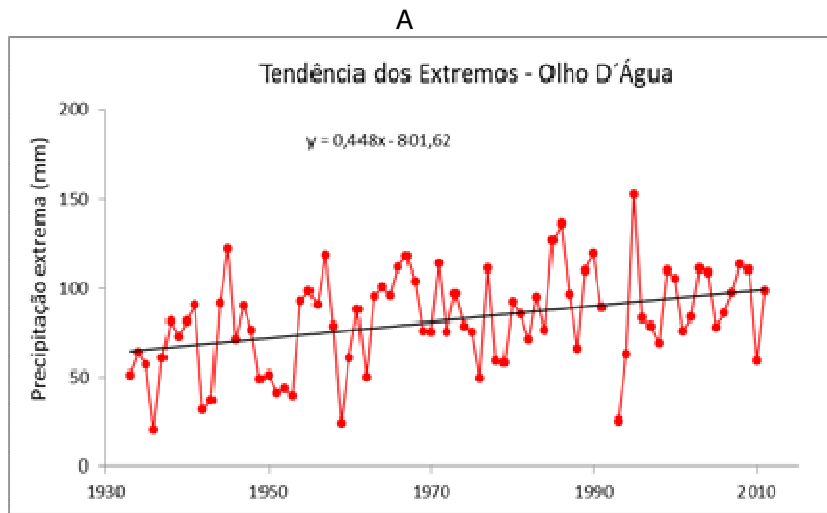
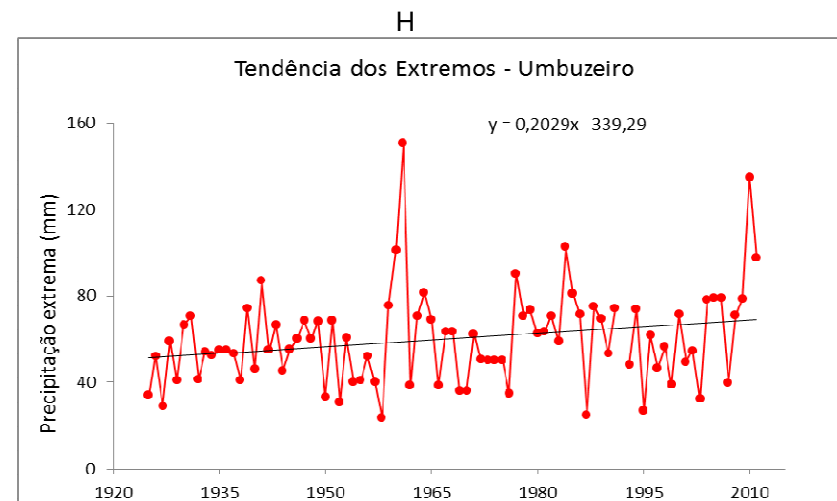
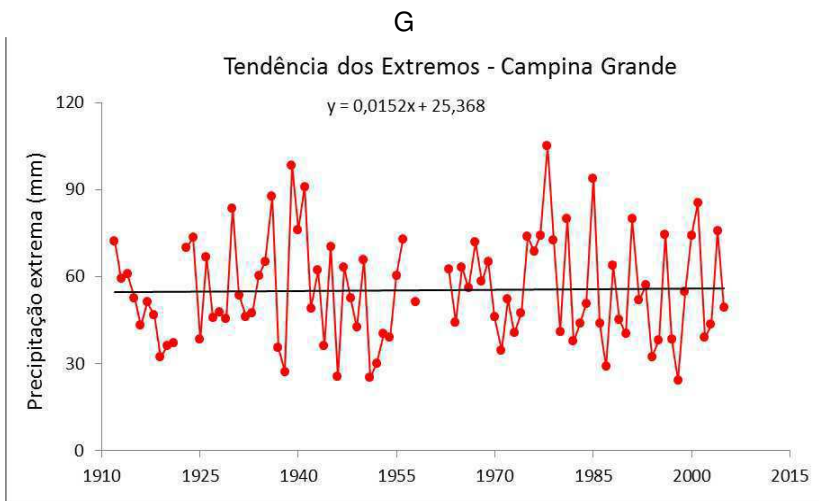
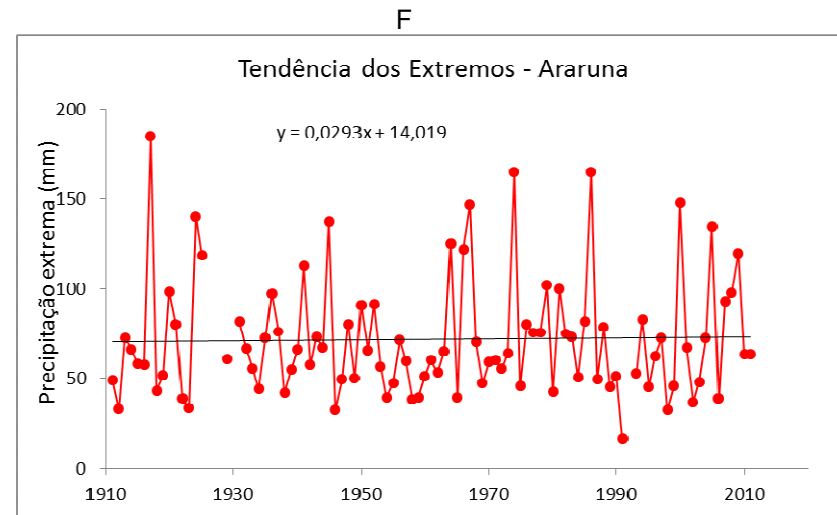
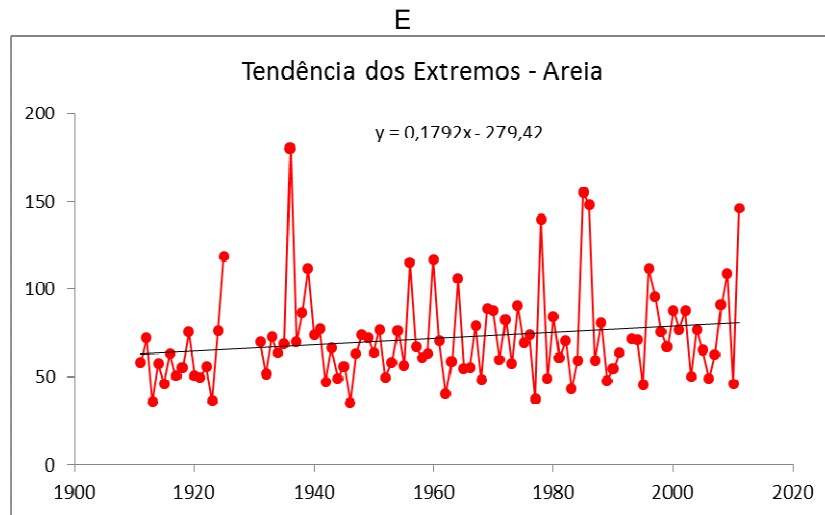
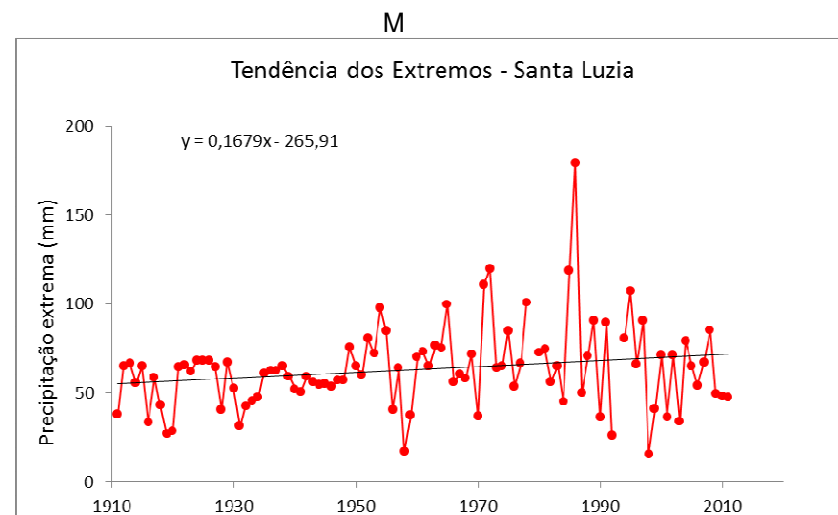
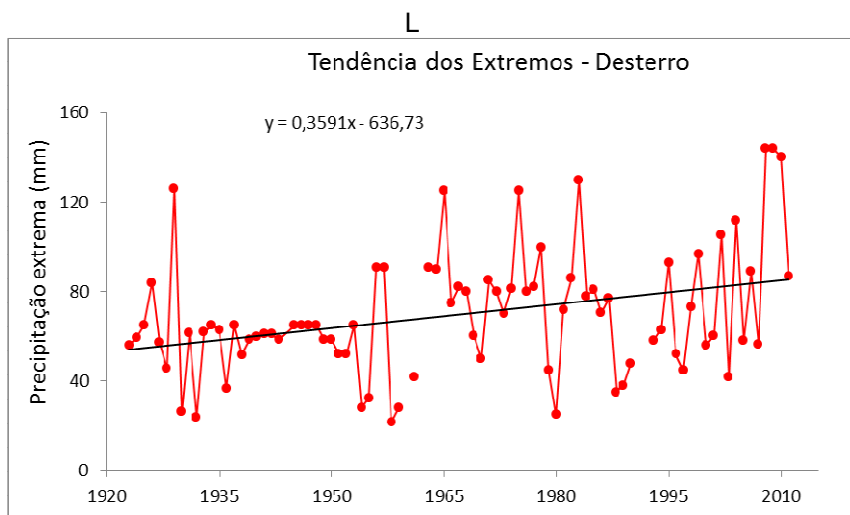
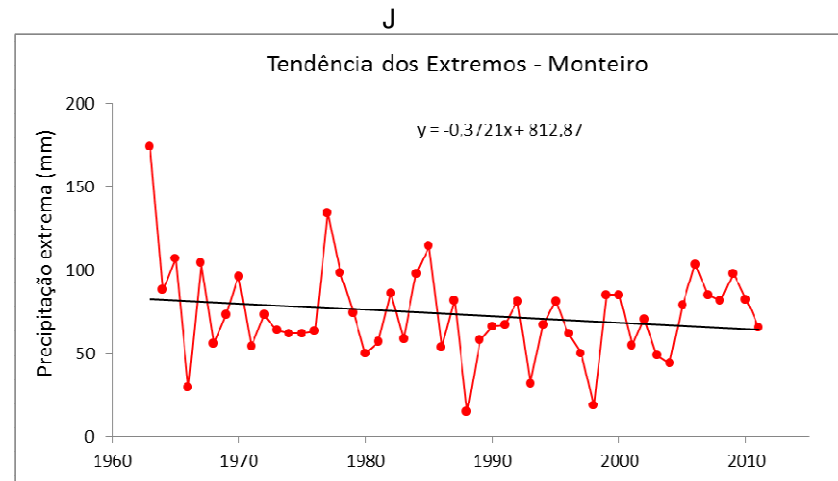
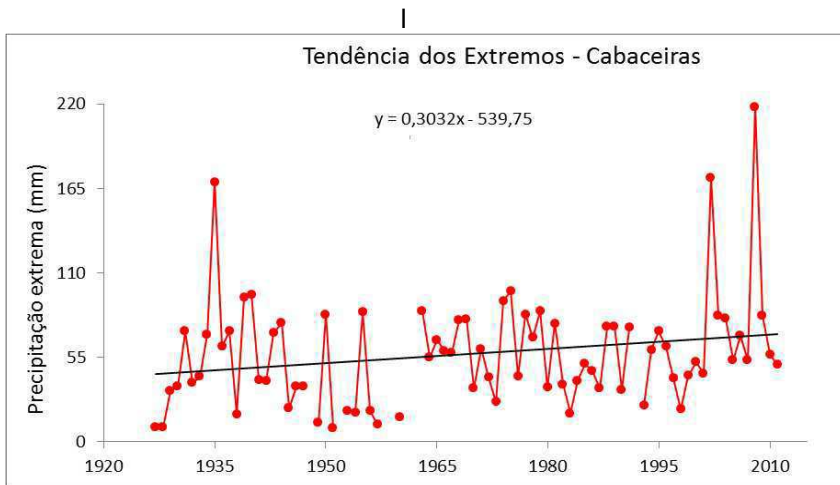


Figura 09 - Tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária anual: a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa

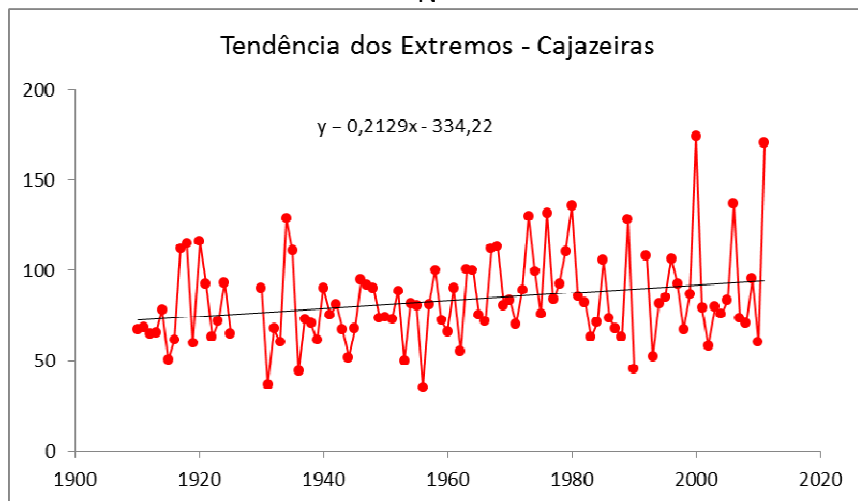


Continuação - Figura 09 - Tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária anual: e) Areia; f) Araruna; g) Campina Grande; h) Umbuzeiro.

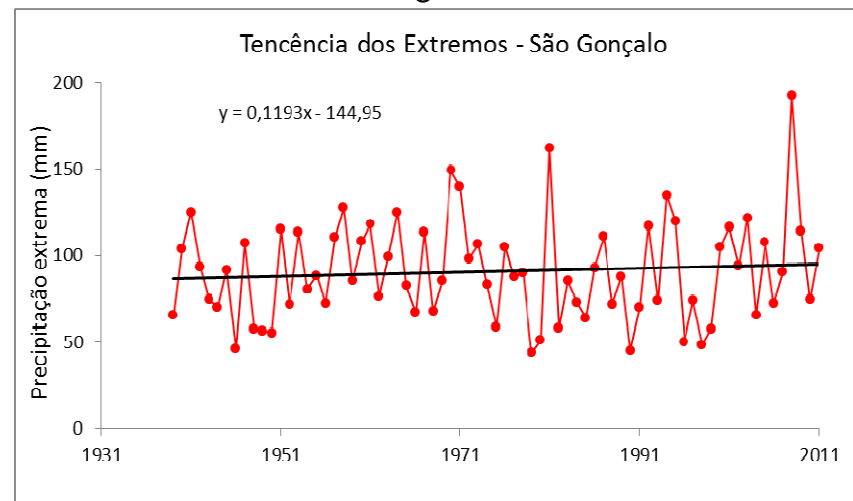


Continuação - Figura 09 - Tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária anual: i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia.

N



O



Continuação - Figura 09 - Tendência climática dos eventos extremos de precipitação diária anual: n) Cajazeiras; o) São Gonçalo

4.2 PERÍODOS DE RETORNO DE 50 ANOS E 100 ANOS – GUMBEL

Foram cálculos para cada série temporal a intensidade do maior evento extremo de precipitação em 24 horas, esperado para os períodos de 50 anos e 100 anos. Usou-se a equação (3) para o cálculo da variável reduzida Gumbel para os períodos de retornos citados. Utilizou-se a média e o desvio padrão dos eventos extremos de precipitação diária para encontrar a intensidade de um evento extremo de precipitação máxima diária para os períodos de retornos de 50 anos e 100 anos. Estes cálculos dos períodos de retorno das séries temporais dos EEPDA foram obtidos através do uso do software Excel.

Análises dos mapas mostram a distribuição espacial dos períodos de retorno para chuva extrema diária (mm) esperada para os períodos de 50 anos (Figuras 10) e 100 anos (Figura 11). Para o período de 50 anos, espera-se chuva extrema diária de intensidade maior que 190 mm no litoral, de 100 mm a 130 mm no Cariri, de 160 a 175 mm no Sertão e Alto Sertão (Figura 10). Para o período de 100 anos espera-se chuva extrema diária de intensidade 200 mm a 220 mm no litoral, de 130 mm a 140 mm no Cariri, de 175 mm a 190 mm no Sertão e Alto Sertão (Figura 11). Análise dos resultados da Tabela C mostra os valores esperados dos períodos de retorno de 50 anos e 100 anos para cada local estudado.

Período de retorno de 50 a 100 anos para obras hidráulicas foram estudados por Galvêncio et al. (2005) em função da ocorrência da precipitação máxima diária e aplicados em projetos de pequenas barragens para abastecimento humano.

4.3 CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VARIAÇÃO TEMPORAL E OS SISTEMAS METEOROLÓGICOS PRECIPITANTES ASSOCIADOS AOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA DIÁRIA

Foi calculado a contribuição percentual, frequência dos meses da variação temporal de maior ocorrência e os sistemas meteorológicos associados dos EEPDA de cada série temporal. Análise de alguns resultados (Tabela D) mostra no Sertão e Alto Sertão os VCAN, ZCIT concentram-se no período de janeiro a abril em Aguiar 85,5%; Cajazeiras 86,6%; Ibiara 87,6%; Mãe D'Água 89,3%; Nazarezinho 87,1%; e São Gonçalo 86,3%. Alves e Diniz (1992) estudaram os sistemas meteorológicos

responsáveis pelas chuvas no sul do Ceará encontraram que VCAN 51%, SiCo 20% e Frente Fria 22% de janeiro a abril de 1991. A região apresenta semelhança climatológica na precipitação com o oeste da PB. Sugere-se que sistemas convectivos (SiCo), por vezes, devem contribuir com ocorrência de evento extremo de chuva diária, nas regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri. Exemplo: os sistemas meteorológicos analisados em 05/05/2008 e 13/04/2009 como SiCo e DL, no item Análise Meteorológica de Grande Escala.

A tabela D apresenta os resultados da contribuição percentual dos EEPDA para os referidos períodos (meses) de cada local e os sistemas meteorológicos associados. Bananeiras e Campina Grande de fevereiro a julho com 84% e 84,7%, os VCAN devem ter forte influência na ocorrência de eventos extremos de chuva diária em fevereiro. Monteiro, São Sebastião do Umbuzeiro e Soledade no Cariri e sul do Estado, janeiro a maio com 87,5%, 86% e 91% respectivamente, vários sistemas VCAN, ZCIT, DL influenciam na ocorrência de extremos de chuva diária. Araújo et al. (2008) identificaram que as chuvas intensas de um dia na Bacia do Rio Paraíba do norte concentram-se de janeiro a abril com 82,9%, pelos sistemas VCAN e ZCIT. A interação da ZCIT com VCAN contribuem para ocorrência de eventos extremos de precipitação, exemplo a segunda maior chuva em Fortaleza de 197,5 mm, em 27 a 28 março de 2012 (registro da FUNCEME).

A Figura 12 apresenta a variação temporal dos EEPDA dos 14 locais escolhidos anteriormente. Foi identificado que os EEPDA se concentraram com maior predomínio: Olho D'água de janeiro a abril; Jericó de janeiro a maio; Alhandra de março a julho; João Pessoa de março a julho; Areia de março a julho; Araruna de janeiro a junho; Campina Grande de fevereiro a julho; Umbuzeiro de março a julho; Cabaceiras de fevereiro a junho; Monteiro de janeiro a maio; Desterro de janeiro a abril; Santa Luzia de janeiro a maio; e Cajazeiras e São Gonçalo de janeiro a abril (Figura 12a-o), respectivamente. Sugere-se que os VCAN terem pouca contribuição nas séries João Pessoa, Alhandra, Areia, Caiçara, Itabaiana, Mamanguape e Mulungu com predomínio dos EEPDA a partir de março, e em Pilar a partir de abril.

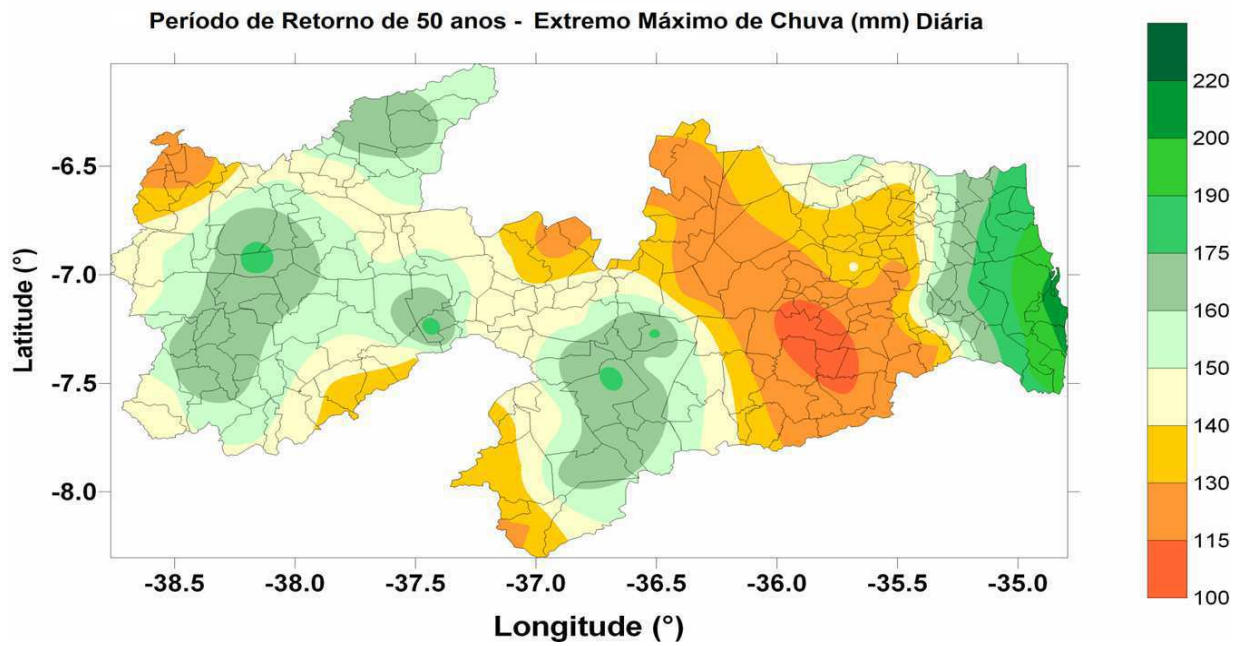


Figura 10 - Distribuição espacial para uma chuva extrema diária (mm) esperada para o período de 50 anos

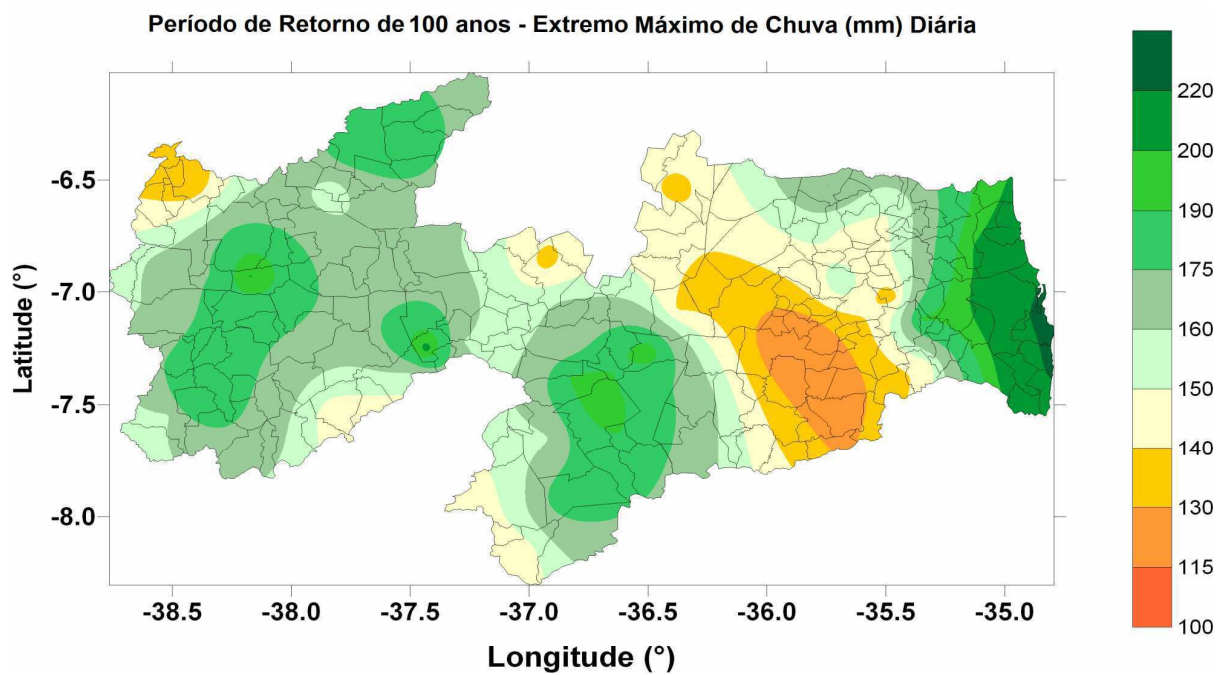


Figura 11 - Distribuição espacial para uma chuva extrema diária (mm) esperada para o período de 100 anos

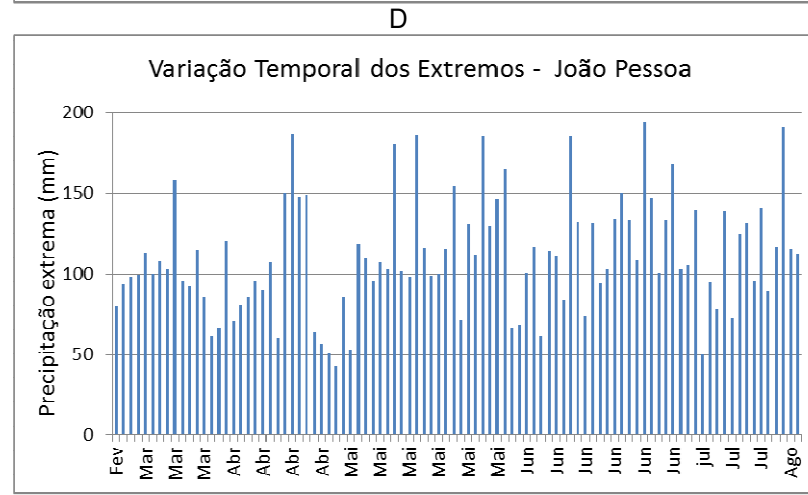
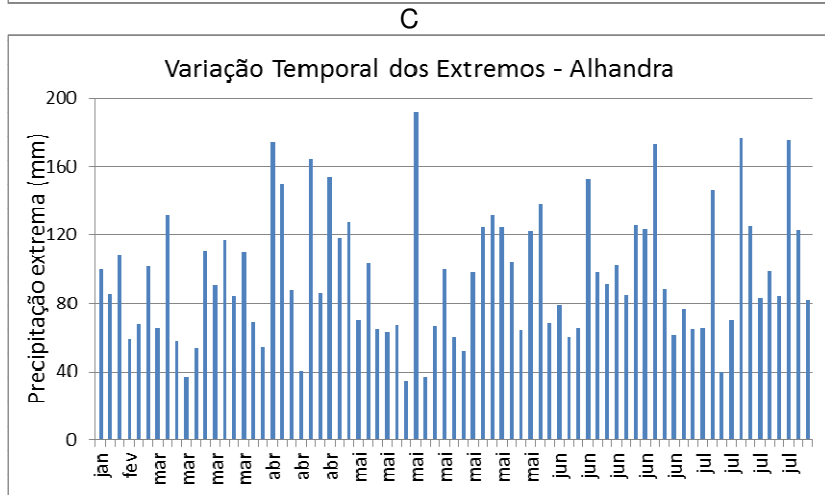
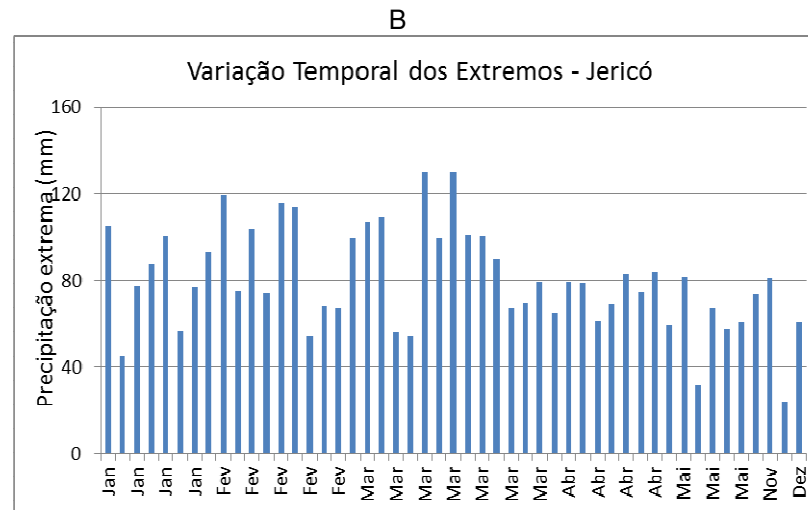
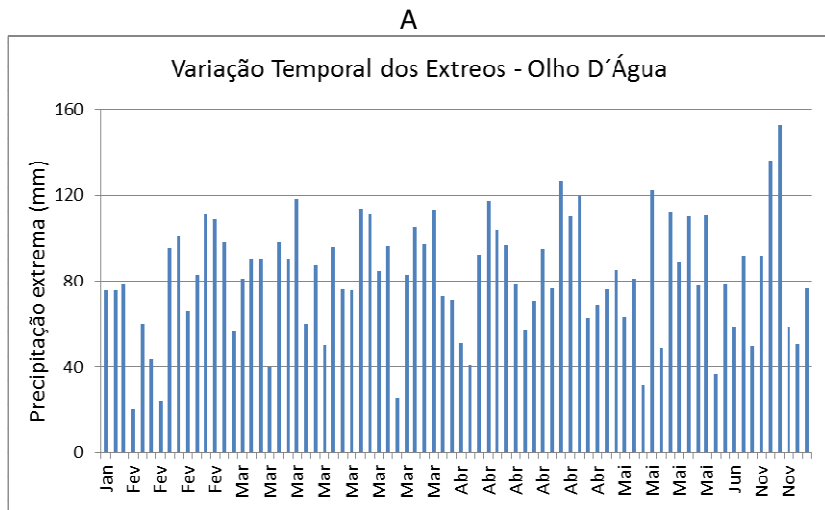
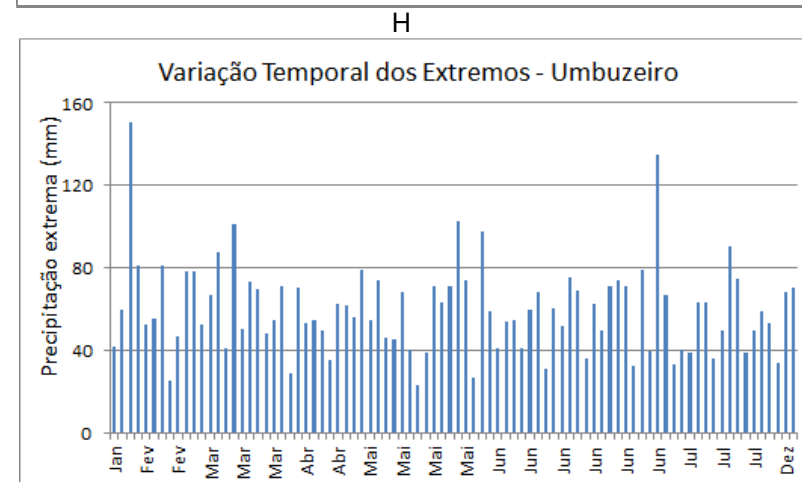
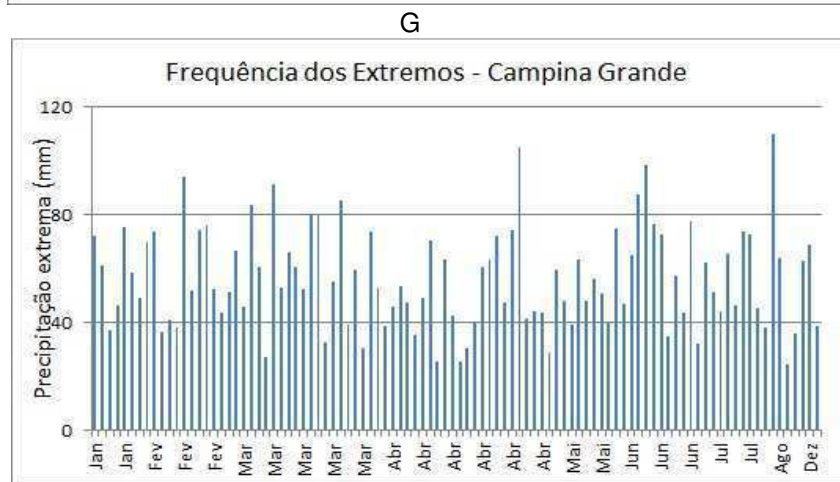
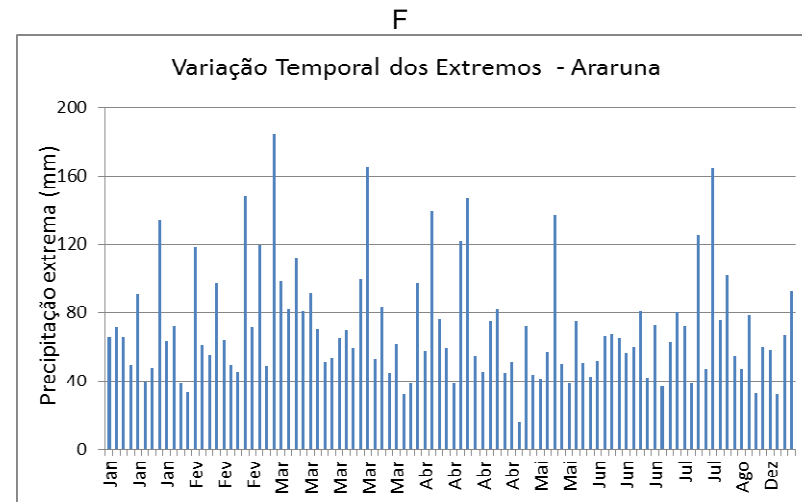
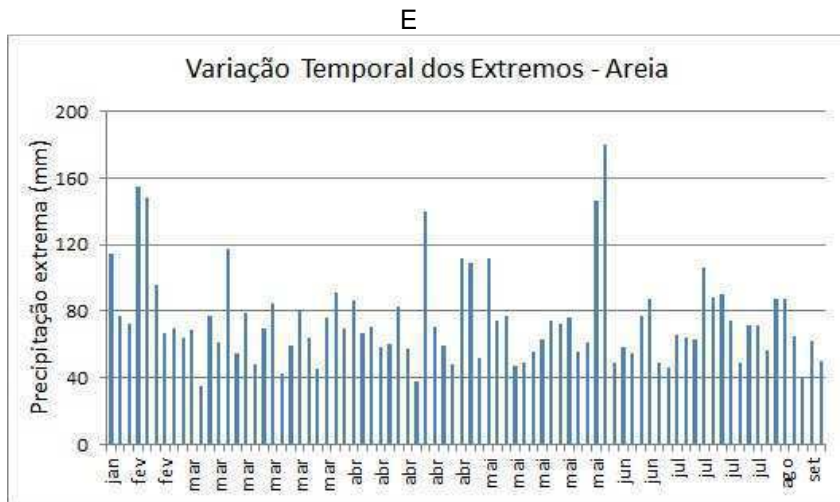
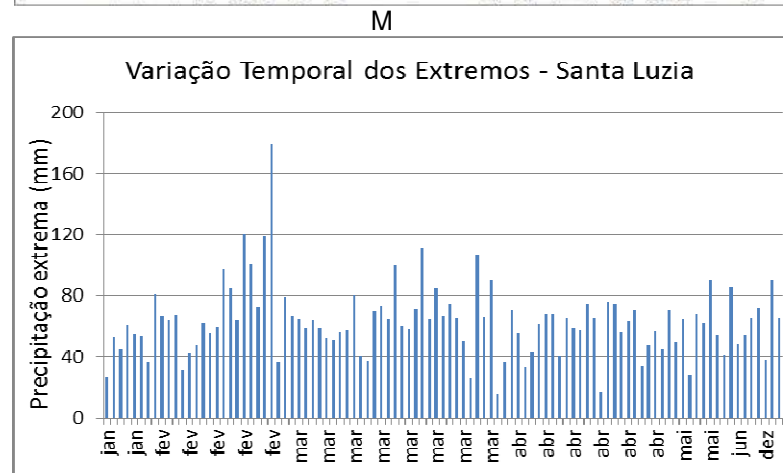
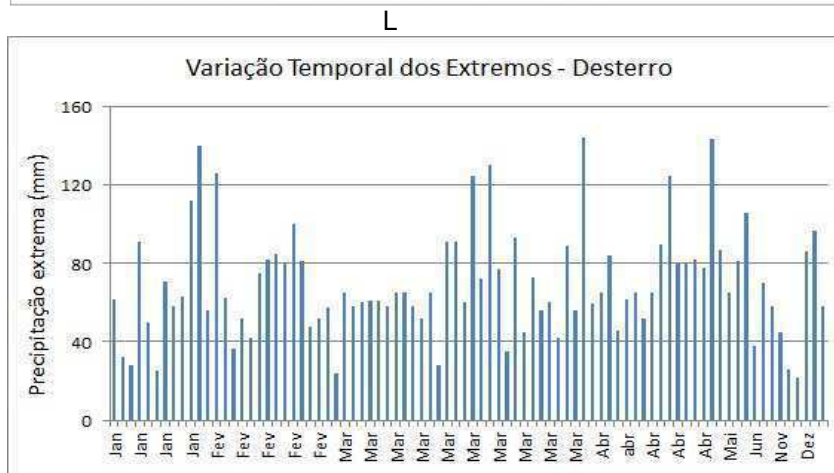
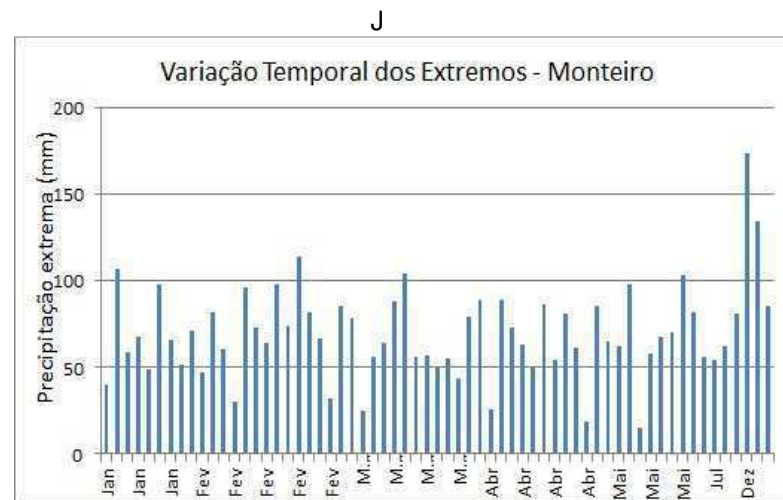
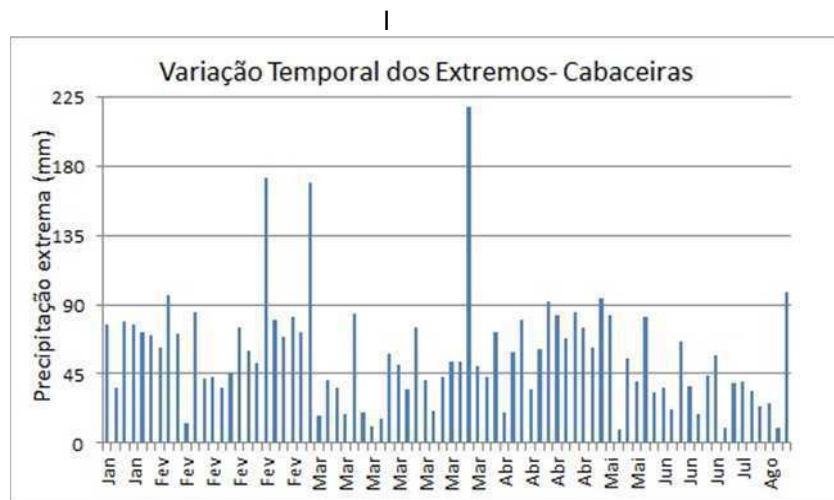


Figura 12 - Frequência da variação temporal dos eventos EEPDA: a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa

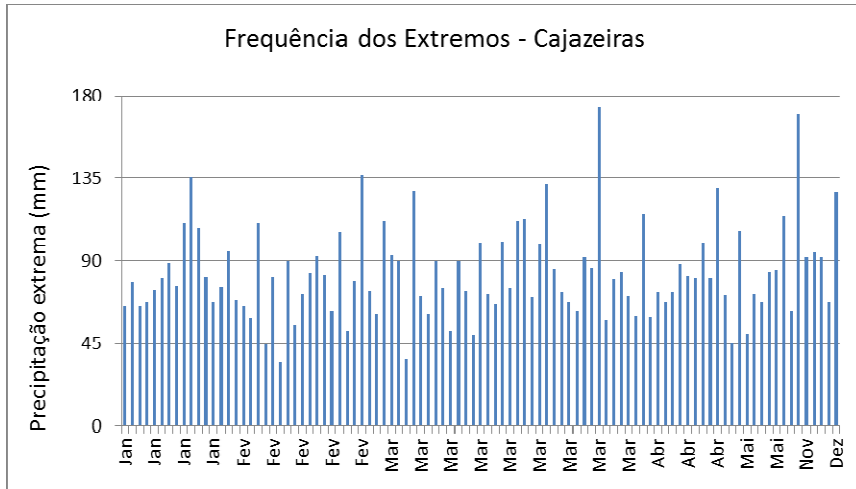


Continuação - Figura 12 - Frequência da variação temporal dos eventos EEPDA: e) Areia; f) Araruna; g) Campina Grande; h) Umbuzeiro



Continuação - Figura 12 - Frequência da variação temporal dos eventos EEPDA: i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia

N



4.4 ANÁLISE METEOROLÓGICA DE ALGUNS EVENTOS EXTREMOS - GRANDE ESCALA

4.4.1 Segunda quinzena de janeiro de 2004

A segunda quinzena do mês de janeiro de 2004 evidenciou-se com ocorrência de eventos extremos diários de precipitação em grande parte do Estado, são analisados campos meteorológicos de dois dias, do Modelo Brasileiro de Alta Resolução – MBAR do INMET, resolução 25 X 25 km.

No dia 17 do mês, os campos de escoamento de vento e umidade do ar analise das 12:00 UTC, modelo MBAR mostram nos níveis atmosféricos: de 200 hPa (Figura 13a), uma circulação anti-horária sobre o Brasil central e o VCAN no Oceano Atlântico Equatorial com a borda sobre grande parte do NEB e alta umidade do ar de 70% sobre o centro da Paraíba; de 850 hPa (Figura 13b), o fluxo de vento com jatos nos baixos níveis organizados de W/NW, transporte de umidade do ar transiente da Amazônia sobre NEB, em especial a Paraíba, e alta umidade do ar superior a 90% em grande parte do Estado; e de 700 hPa (Figura 13c) fluxo de vento persiste de W/N.

A instabilidade atmosférica, o campo da energia potencial convectiva disponível – CAPE, às 12: 00 UTC (Figura 14) mostra valores de 750 J/kg no Agreste e Cariri baixa atividade convectiva, e valores de 1000/2000 J/kg no centro e oeste do Estado, favorável ao desenvolvimento de sistema de atividade convectiva intenso (Barbosa e Correia, 2005). Os campos de fluxo de vento nos níveis de 850 hPa e 700 hPa apresentarem padrões atípicos na circulação atmosférica sobre o NEB, e favorável a ocorrência de chuva intensa sobre a PB.

No dia 29 do mês, a imagem de satélite do GOES-12, às 22:45 UTC, topo de nuvens do CPTEC (Figura 15) mostra o VCAN centrado sobre a Bahia com atividade convectiva sobre a Paraíba. A análise das 12:00 UTC mostra: no nível de 200 hPa (Figura 16a) um padrão do fluxo de vento bem configurado com três sistemas meteorológicos associados sobre a América do Sul: a Alta da Bolívia (AB) sobre o sul da Bolívia associado ao VCAN centrado sobre o litoral da Bahia e sua borda sobre o continente e a Paraíba; e uma frente fria ao norte de Minas Gerais, por sua

vez, associada ao VCAN. No nível de 850 hPa (Figura 16b), o fluxo de vento de leste com transporte de umidade do Oceano e valores de umidade do ar de 90%.

Estes padrões de vento nos níveis atmosféricos de 850 hPa e 200 hPa são favoráveis ao desenvolvimento de sistema precipitante com chuvas intensas sobre grande parte do NEB, especialmente sobre a Paraíba. Aumento do teor de umidade nos baixos níveis atmosférico e alísios fracos de leste-sudeste favorece a convecção profunda (Barbosa e Correia, 2005).

Análise da anomalia da radiação de onda longa – ROL do mês de janeiro (Figura 17), apresenta um núcleo negativo de -30 W/m^2 sobre a PB e RN, favorável a convecção e chuvas fortes. Anomalia negativa de ROL é favorável a convecção e precipitação associadas às monções e ZCIT Chelliah e Arkin (1992), valores de ROL associadas à convecção profunda no Atlântico Tropical foram identificados por Bomventi et al. (2006).

Dos 52 postos pluviométricos estudados, 45 das localidades (86%) dos EEPDA ocorreram no período de 15 de janeiro a 07 de fevereiro, no ano de 2004. O mês de janeiro de 2004 foi marcado pela ocorrência de chuvas máximas em comparação aos demais meses desse ano no Estado da Paraíba Sousa et al. (2006).

Os VCAN foram os principais sistemas meteorológicos responsáveis por estes eventos extremos. São observados eventos extremos de chuva diária acima de 100 mm, no período em: Aguiar 104 mm; Bananeiras 101 mm; Conceição 104 mm; Desterro 112 mm; Ibiara 113,9 mm; Mulungu 183,6 mm; São José de piranha (Arapuã) 106 mm; São amedes 122 mm; São Sebastião do umbuzeiro 103 mm; e Teixeira 124 mm.

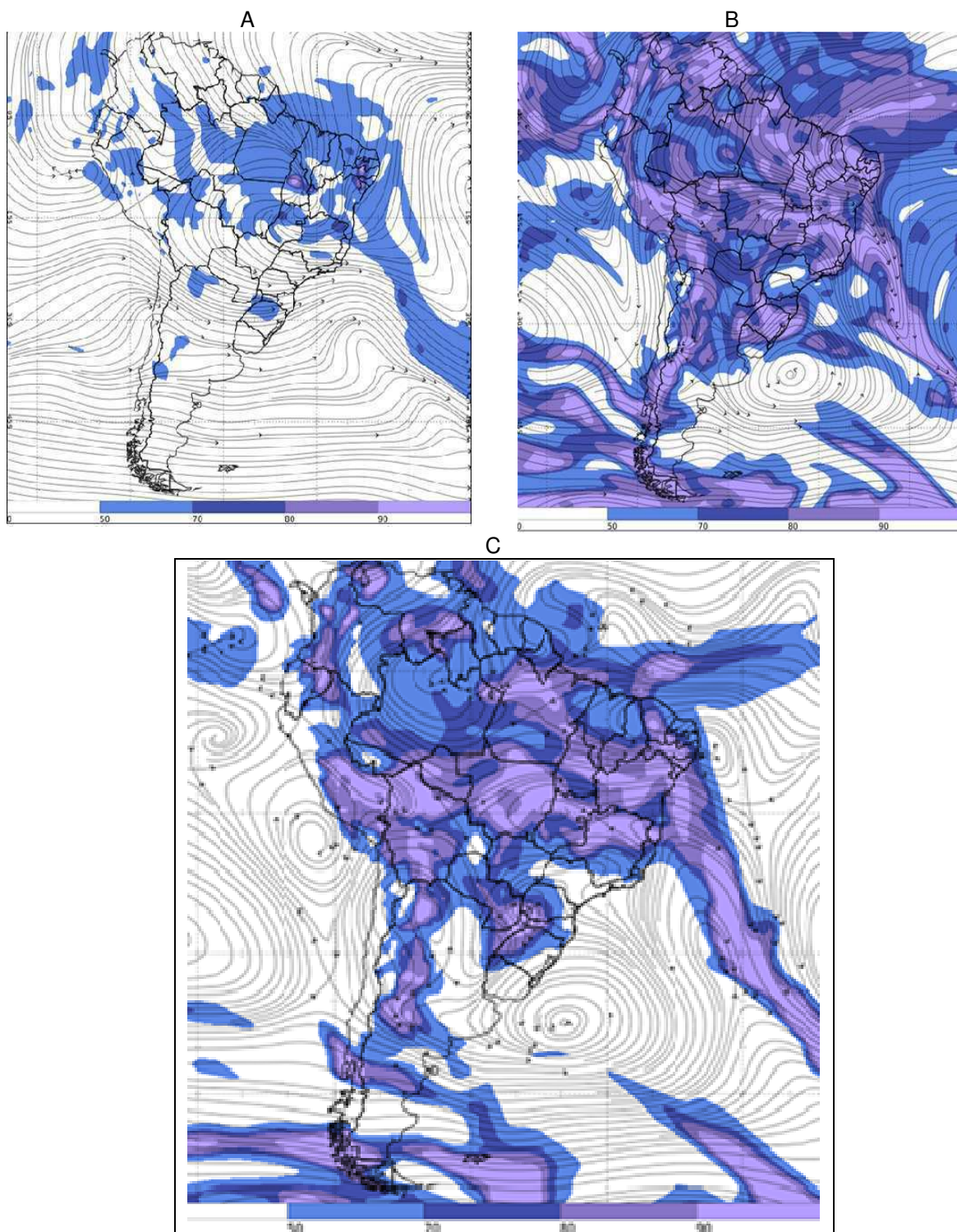


Figura 13 - Linha de Corrente e Umidade do ar, análise às 12:00 UTC, de 17/01/2004: a) 200 hPa; b) 850 hPa; e c) 700 hPa. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

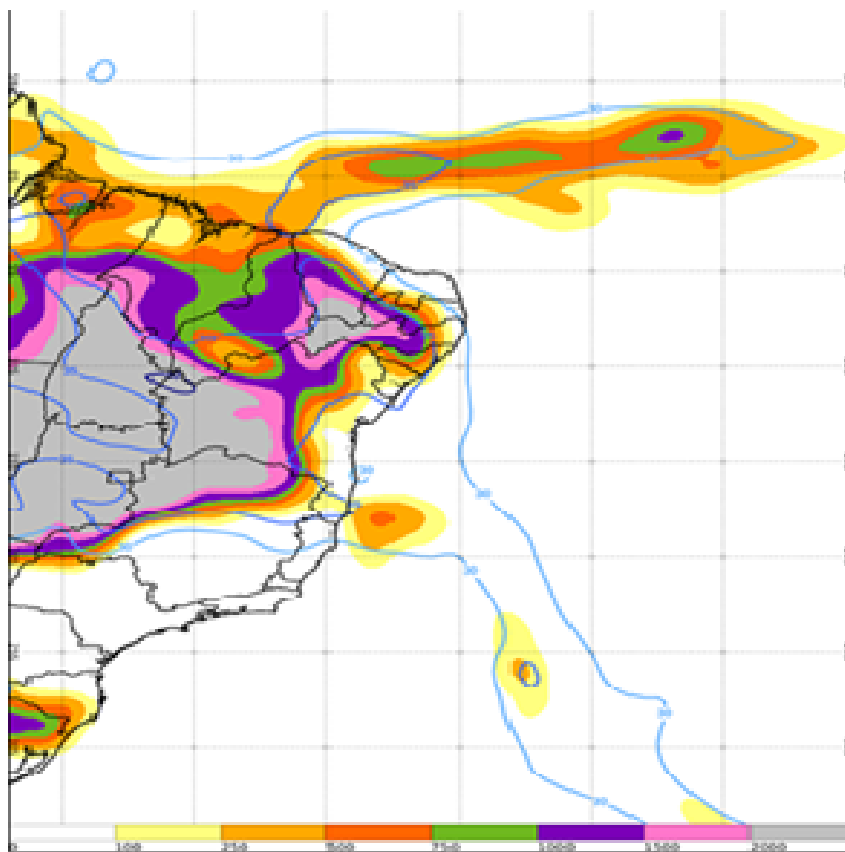


Figura 14 - Índice CAPE análise às 12:00 UTC, de 17/01/2004. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

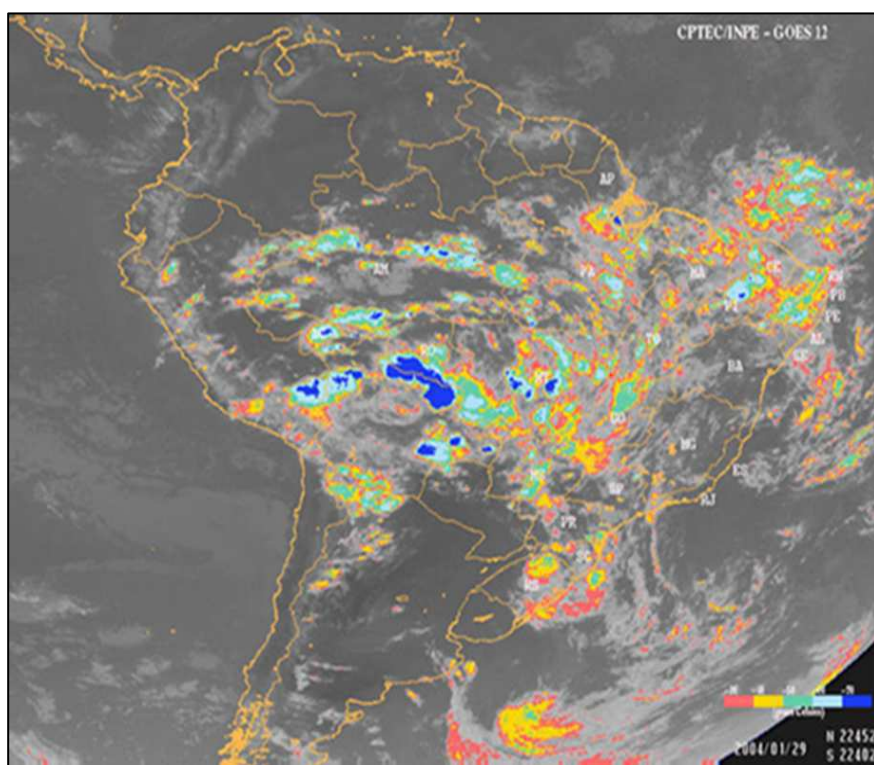


Figura 15 - Imagem de Satélite GOES-12, topo de nuvens, às 22:45 UTC, de 29/01/2004. Fonte: CPTEC/INPE.

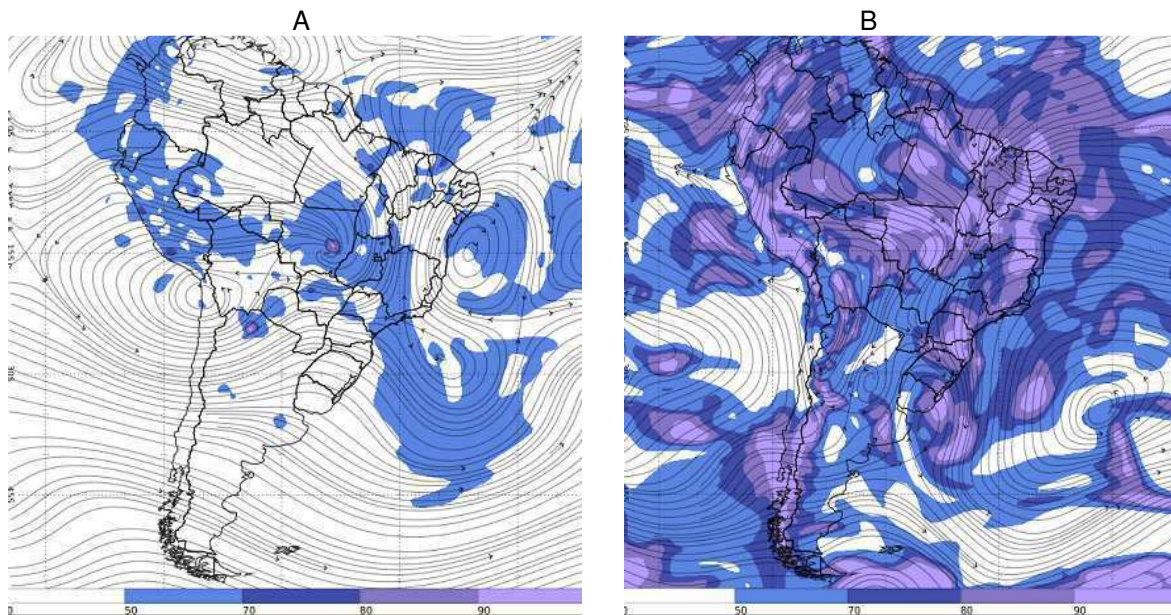


Figura 16 - Linha de Corrente e Umidade do ar, análise às 12:00 UTC, de 29/01/2004: a) 200 hPa; e b) 850 hPa. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

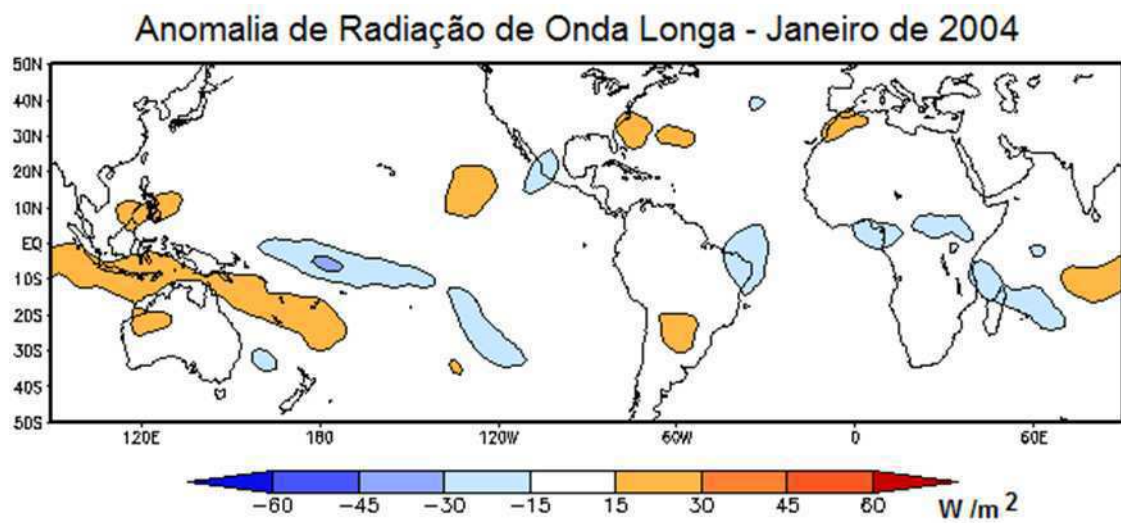


Figura 17 – Campo médio anomalia de ROL. Fonte: CPTEC/INPE

4.4.2 Evento de 17 de março de 2008 – análise de larga escala

A análise da imagem de satélite GOES-12, canal vapor d'água, do dia 17/03/2008, às 20:45 UTC (Figura 18) mostra a presença do VCAN sobre NEB e parte da Paraíba e DL no Cariri e Agreste do Estado. Os campos de vento (linha de corrente) e umidade do ar, análise às 12:00 UTC, do modelo MBAR (Figura 19) mostram em 200 hPa uma circulação anti-horária na Alta Bolívia (AB) associada com o vórtice ciclônico sobre o NEB, centrada sobre o litoral da Bahia (Figura 19a), padrão favorável a uma convecção transiente na borda a oeste e norte do vórtice; em 700 hPa vento de nordeste sobre a PB e RN e umidade do ar acima de 80% no centro e sul da PB (Figura 19b); e em 850 hPa fluxo de vento bem de leste na costa do NE e alta umidade do ar maior que 90% em grande parte da PB (Figura 19c).

Avaliação da instabilidade atmosférica (convecção), o campo da energia potencial convectiva disponível – CAPE, às 12:00 UTC (Figura 20), apresenta valores de até 750 J/kg (verde) baixa atividade convectiva na região do Cariri, de 1000/1500 J/kg (roxa) associado com atividade convectiva no médio e alto Sertão da Paraíba. Os padrões das TSM do Oceano Atlântico Sul (Figura 21) ilustra anomalia positiva no mês de março até a costa do NEB. Estes fatores termodinâmicos na análise de grande escala foram favoráveis ao desenvolvimento de sistema convectivo intenso como DL (Barbosa e Correia, 2005). No entanto, os sistemas meteorológicos VCAN e os DL com a anomalia positiva de TSM na costa da NEB durante a segunda quinzena de março foram responsáveis pela ocorrência de 46%, dos eventos extremos de chuva diária no ano de 2008, das localidades estudadas. Exemplo de alguns locais que ocorreram eventos de chuvas fortes em um dia: 218,0 mm em Cabaceiras, no dia 18/03/2008; 177,5 mm em Serra Branca, 164,3 mm em São José dos Cordeiros, 158,4 mm em Parari, 152,6 mm em Coxixola, 144,3 mm em Desterro, 118,5 mm em São João do Cariri e 115,8 mm em Taperoá, em 20/03/2008.

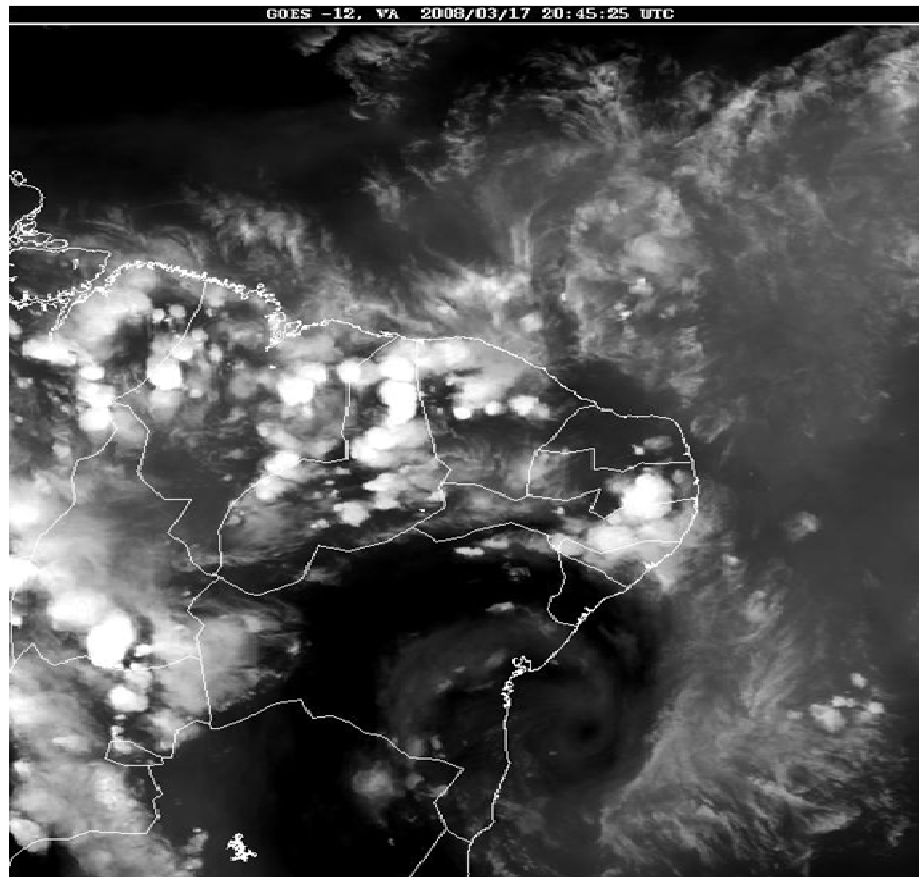


Figura 18 - Imagem de Satélite GOES-12, canal vapor d'água, às 20:45 UTC, em 17/03/2008, mostrando um VCAN próximo a Salvador. Fonte: INMET.

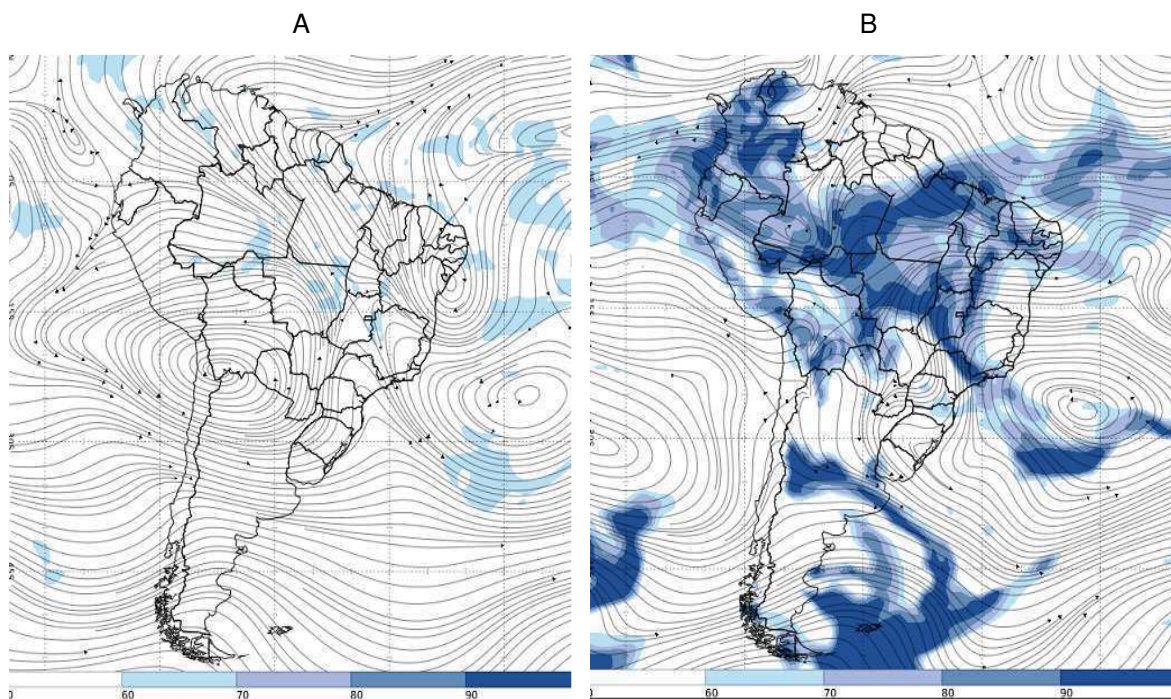
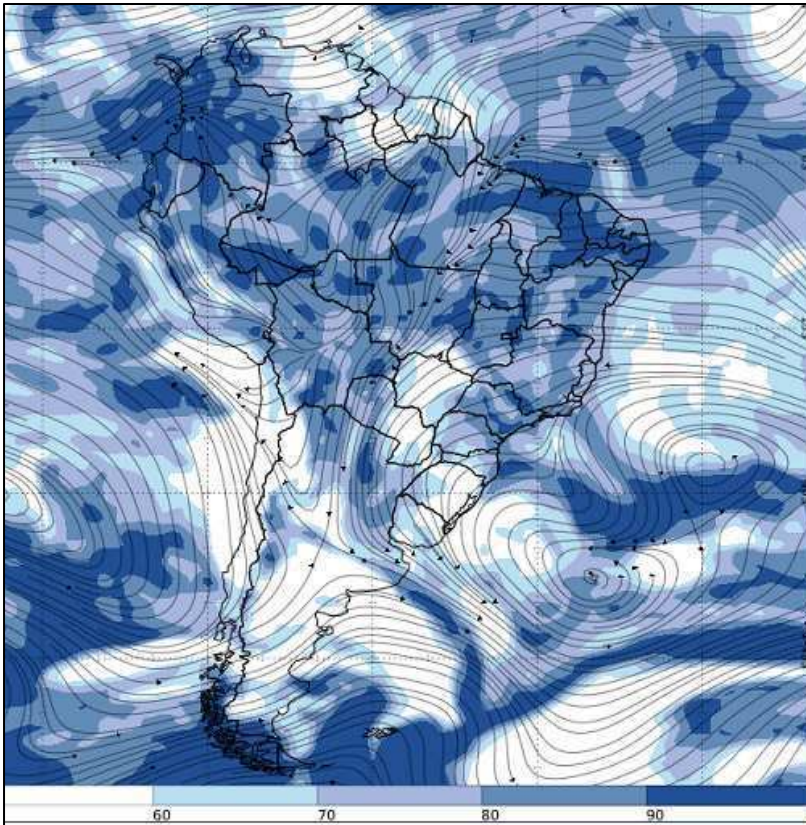


Figura 19 - Linha de corrente e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 17/03/2008: a) 200 hPa; e b) 700. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

C



Continuação - Figura 19 - Linha de corrente e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 17/03/2008, c) 850 hPa. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

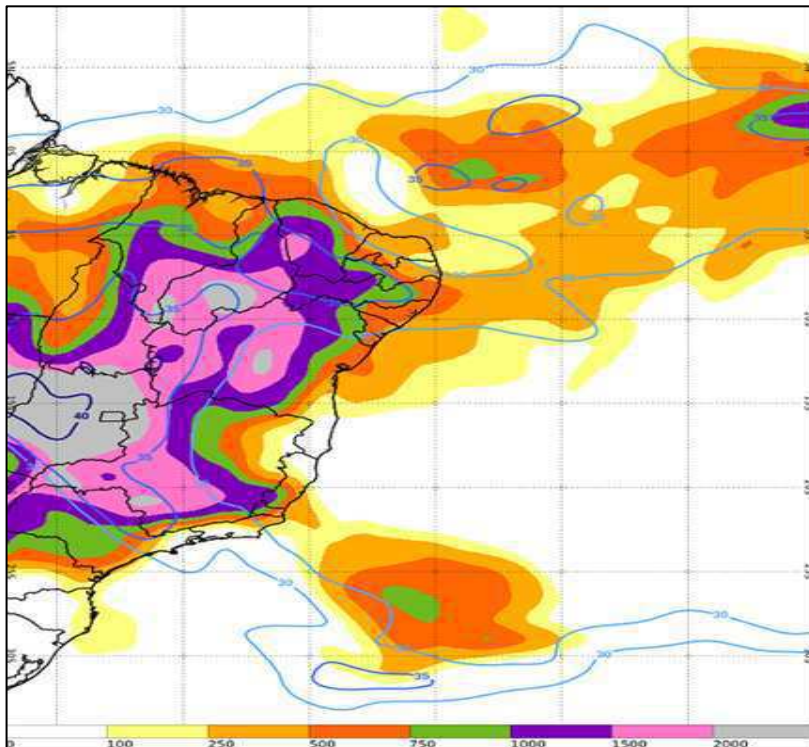


Figura 20 - Índice CAPE análise às 12:00 UTC, de 17/03/2008. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

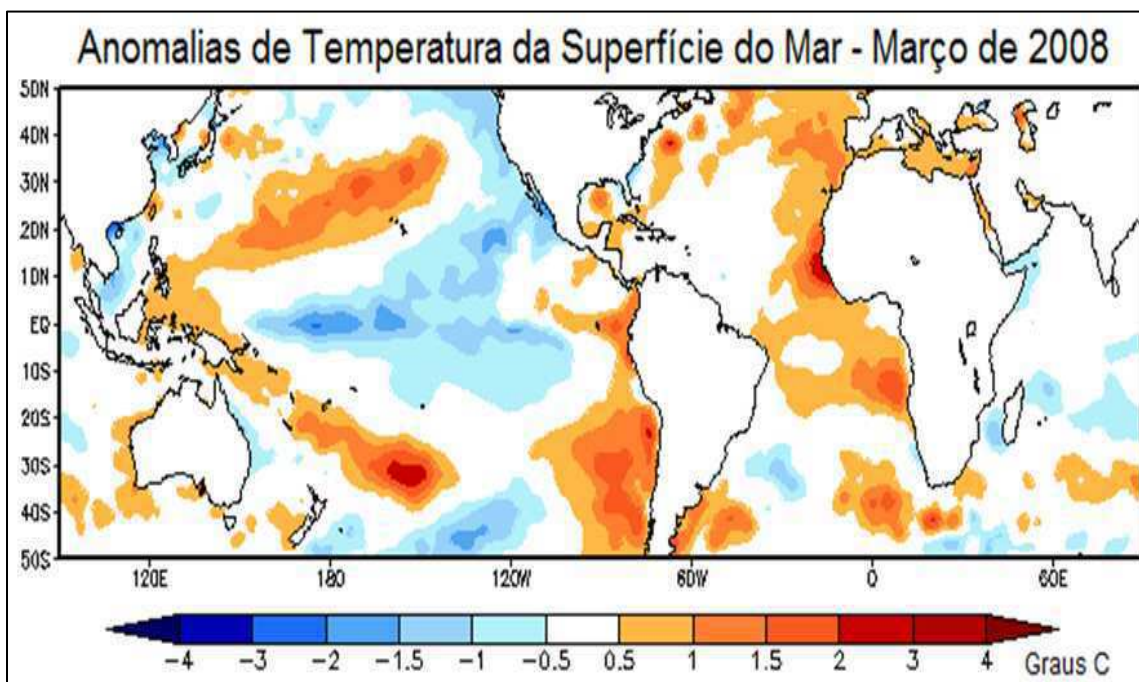


Figura 21 - Campo médio das Anomalias de TSM. Fonte: CPTEC/INPE

4.4.3 Evento de 05 de maio de 2008 – análise de larga escala

As imagens de satélite do dia 05/05/2008, (Figura 22) mostra que às 16:30 UTC, não havia sistema precipitante desenvolvido sobre a Paraíba, às 18:00 UTC, observa-se alguns sistemas, SC no Médio Sertão e DL em desenvolvimento de sudeste atingindo o Cariri do Estado, e às 22:45 UTC, mostra DL com atividade intensa sobre toda parte central da PB.

Foram analisados os campos meteorológicos de vento e umidade do ar nos níveis atmosféricos de 200 hPa, 500 hPa, 700 hPa e 850 hPa análise das 12:00 UTC, do modelo MBAR (Figura 23). Em 200 hPa observou-se uma circulação anticiclônica sobre o NEB (Figura 23a), com centro entre o Rio Grande do Norte e Paraíba; em 500 hPa o fluxo de vento apresenta o limite de um cavado entre PE e PB (Figura 23b). Em 700 hPa fluxo de vento intenso de leste com transporte de umidade sobre a PB e umidade do ar acima de 60% em grande parte do Estado (Figura 23c). Em 850 hPa fluxo de vento de sudeste e transporte de umidade para a PB e alta umidade do ar de 90%, no Médio Sertão e Cariri (Figura 23d).

A análise da instabilidade atmosférica (convecção), o CAPE às 12:00 UTC (Figura 24) mostra valores elevados de 1500/2000 J/kg (rosa e cinza) favorável atividade convectiva de forte intensidade em grande parte da PB. A Figura 25 ilustra anomalias positivas de TSM no Oceano Atlântico Equatorial Sul no mês maio. Aumento do teor de umidade nos baixos níveis atmosférico e alísios fracos de leste-sudeste favorece a convecção profunda (Barbosa e Correia, 2005).

As análises termodinâmicas e grande escala foram favoráveis ao desenvolvimento de DL com SC sobre a PB com ocorrência de eventos fortes de chuva diária de: 192,6 mm em São Gonçalo (Recorde); 149,8 mm em Brejo do Cruz; 131,3 mm em Marizópolis; 108,0 mm em Várzea; 101,0 mm em Brejo dos Santos; 124,6 mm em Teixeira; 85,4 mm em Santa Luzia; 81,7 mm em Monteiro; e 62,1 mm em Cabaceiras registrados em 06/05/2008.

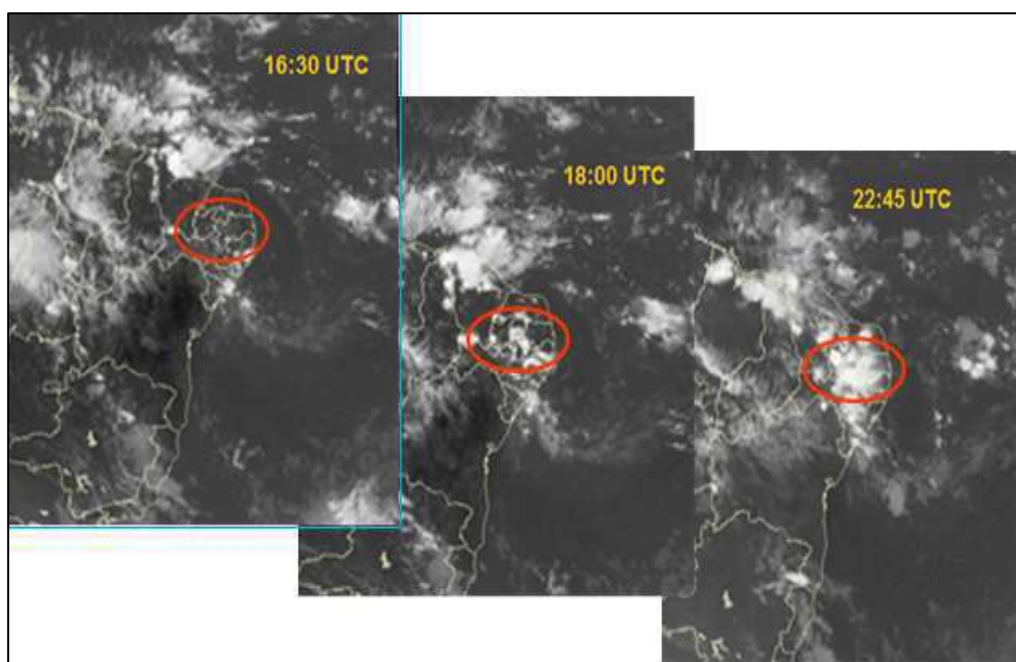


Figura 22 - Imagem de Satélite GOES-12, no canal infravermelho, de 05/05/2008 às 16:30 UTC, 18:00 UTC e 22:45 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

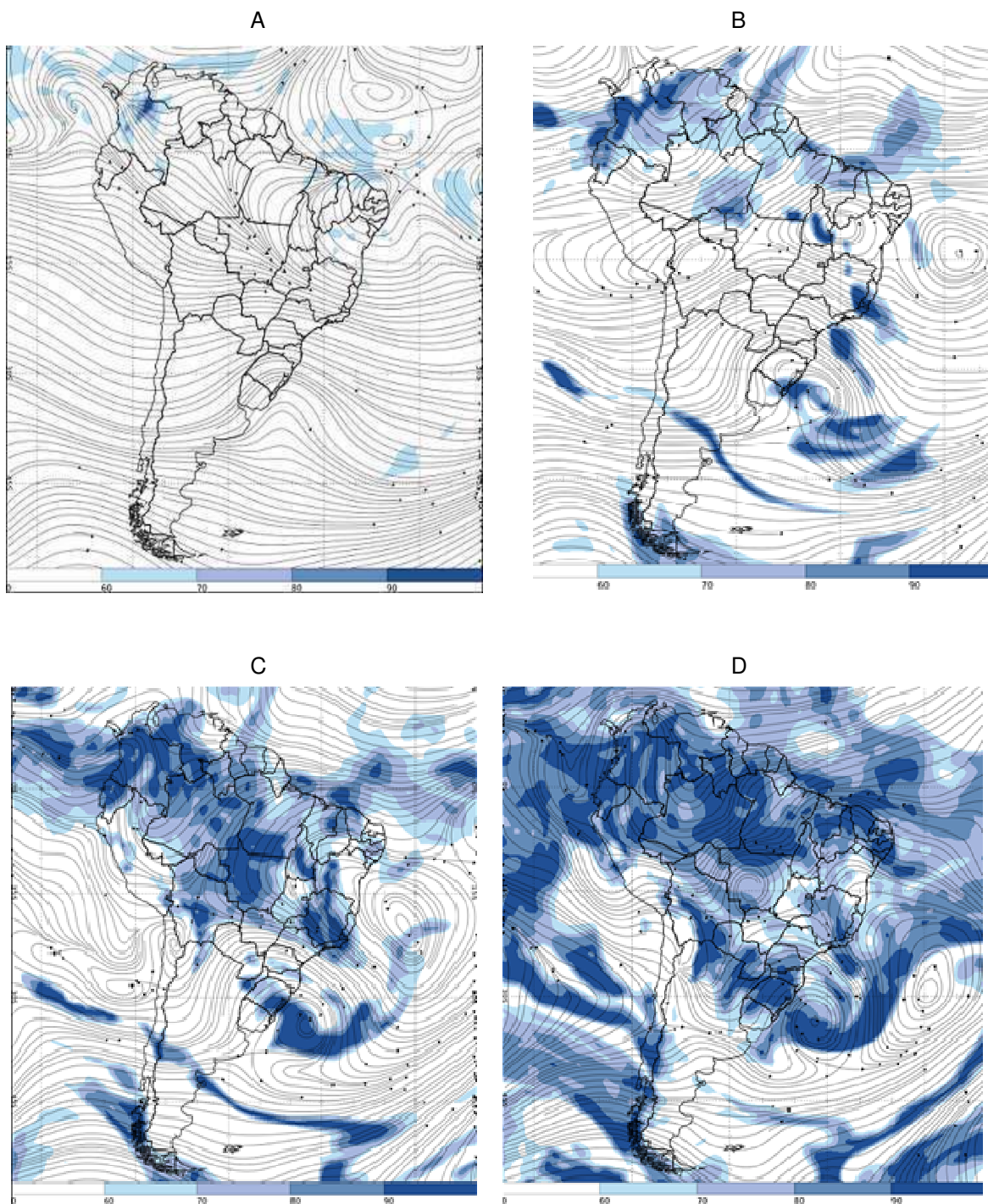


Figura 23 - Linha de corrente e umidade do ar às 1200 UTC, de 05/05/2008: a) 200 hPa; b) 500 hPa; c) 700 hPa; e d) 850 hPa. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

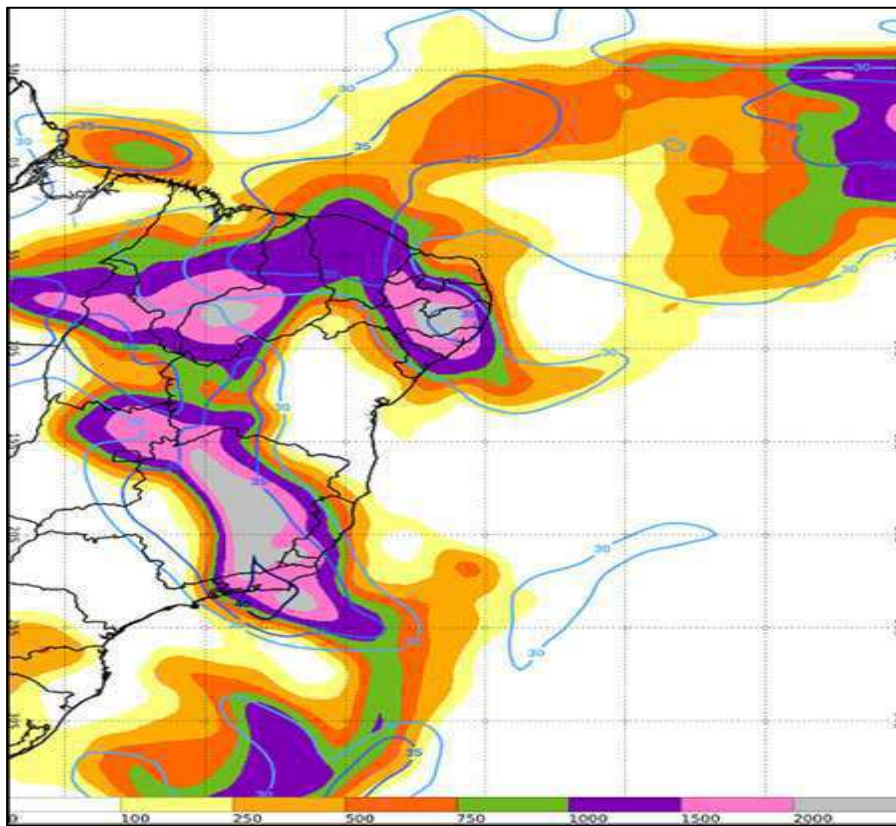


Figura 24 - Índice CAPE, às 12:00 UTC, de 05/05/2008. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

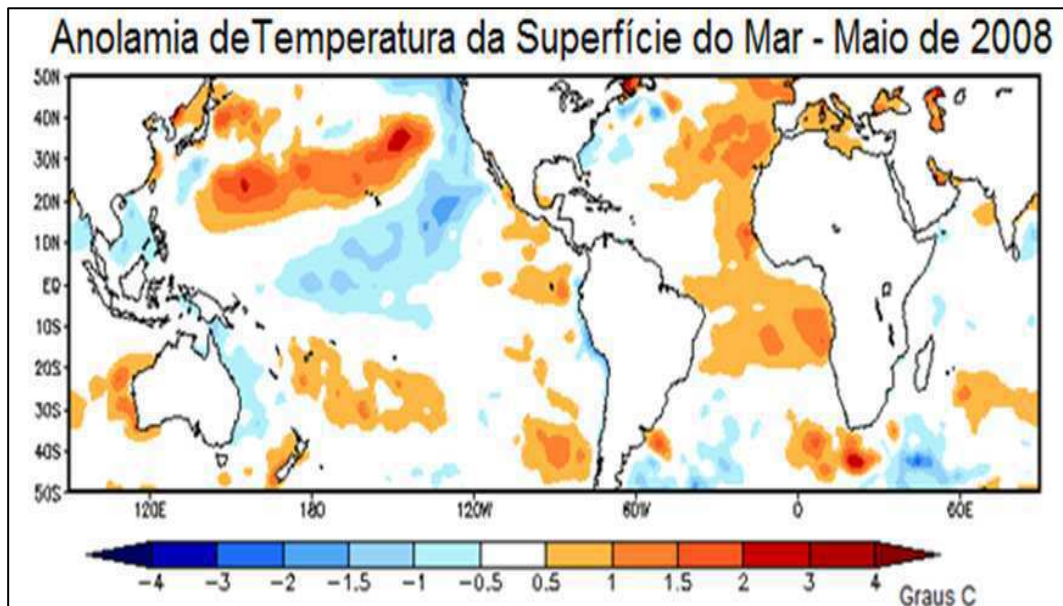


Figura 25 - Campo médio das Anomalias de TSM. Fonte: CPTEC/INPE

4.4.4 Evento de 13 de abril de 2009 – Análise de Larga Escala

A evolução e a formação do sistema que ocasionou eventos de chuvas fortes no dia 13 para o dia 14, observado na imagem de satélite GOES-10 (Figura 26). Às 18:00 UTC fracas formações isoladas no Sertão, Alto Sertão e Cariri; às 19:45 UTC algumas formações em desenvolvimento; às 21:00 UTC o sistema mais desenvolvidas; e às 23:45 UTC o sistema bem intenso.

Para analisar a formação desse sistema precipitante foram utilizados campos meteorológicos da análise da rodada das 12:00 UTC, de 13/04/2009, do modelo MBAR. A Figura 27 mostra os campos de escoamento de vento e umidade do ar nos níveis: em 200 hPa (Figura 27a) observa-se configuração de uma circulação anti-horária intensa sobre o NEB, inexistência de VCAN sobre a Região e umidade de 60% sobre grande parte da PB; em 700 hPa (Figura 27b), escoamento de leste intenso e umidade do ar de 60% sobre a PB; e em 850 hPa (Figura 27c), vento de leste e umidade do ar de 80% sobre o Estado.

O índice de instabilidade atmosférica (K) mostra valores superior a 30 no Cariri, Sertão e Alto Sertão (Figura 28). O índice CAPE mostra valores de 1000 J/kg (roxa) favorável atividade convectiva sobre o Sertão e Alto Sertão (Figura 29). CAPE pouco acima de 1000 J/kg pode ser um forte indicativo de atividade convectiva intensa (Barbosa e Correia, 2005).

Os padrões de TSM apresentam anomalias positiva e média de um grau Celsius, no mês de abril no Atlântico Tropical Sul, costa do NEB e da PB (Figura 30).

A circulação de grande escala e o processo termodinâmica da mesoescala, com as anomalias positivas de TSM, a liberação de calor latente do oceano e transporte de umidade pelos ventos de leste para o interior do continente, nos baixos níveis atmosféricos, foram os mecanismos de maior contribuição na formação do sistema convectivo (SC) no centro da PB. No período da tarde a convergência de umidade é mais intensa, se expande abrangendo uma maior área (Barbosa e Correia, 2005).

Foram evidenciados eventos extremos de chuva em 24 horas, em várias localidades: 258,2 mm em Patos (recorde); 143,9 mm em Desterro; 124,6 mm em Teixeira; 103,3 mm em Sumé (Fazenda Bananeiras); 78,1 mm em Juazeirinho; 73

mm em Condado; e 71,5 mm Olho D'água ocasionados por este sistema convectivo (Figura 26).

O modelo COSMO resolução 2,8 X 2,8 km, usado operacionalmente no INMET é uma das ferramentas para prognosticar eventos extremos de chuva intensa em áreas vulneráveis e de riscos.

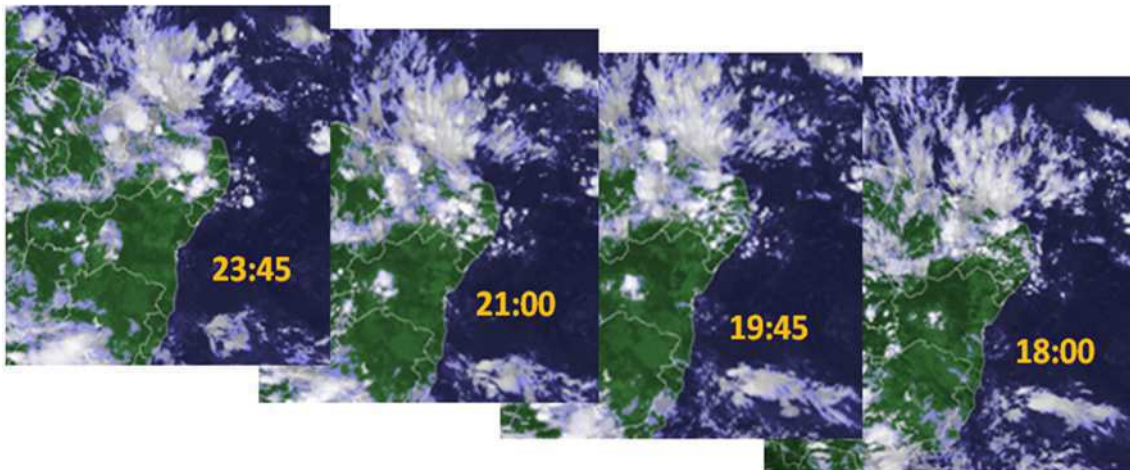


Figura 26 - Imagem de satélite colorida GOES-10, às 18:00 UTC, 19:45 UTC, 21:00 UTC e 23:34 UTC, de 13/04/2009. Fonte: CPTEC/INPE

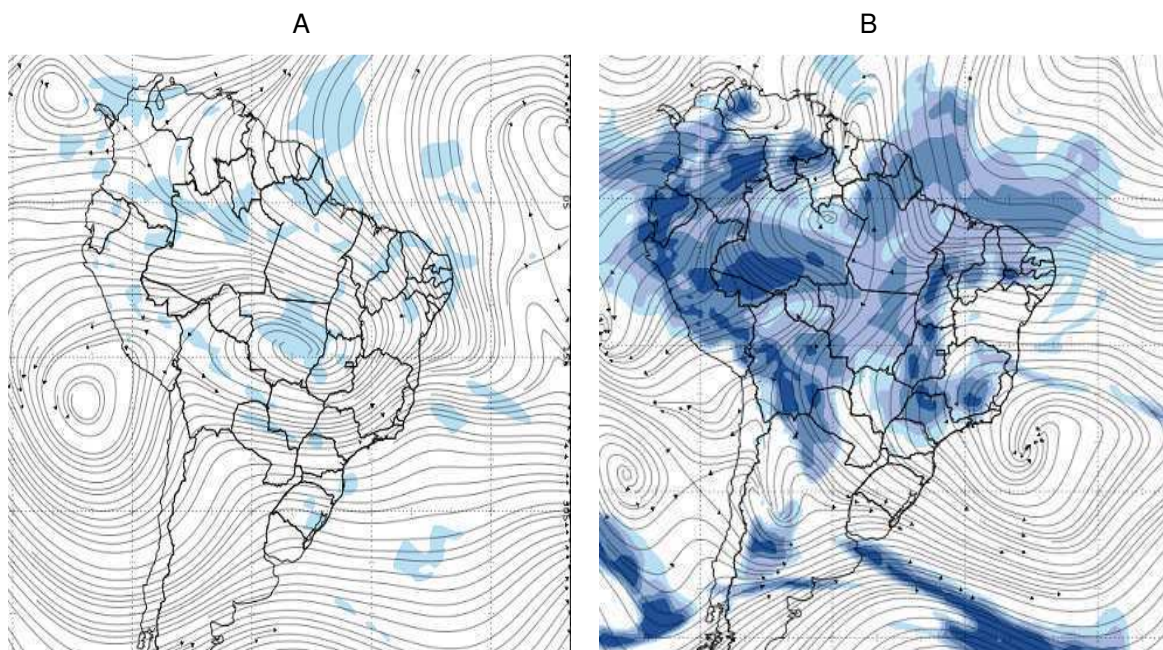
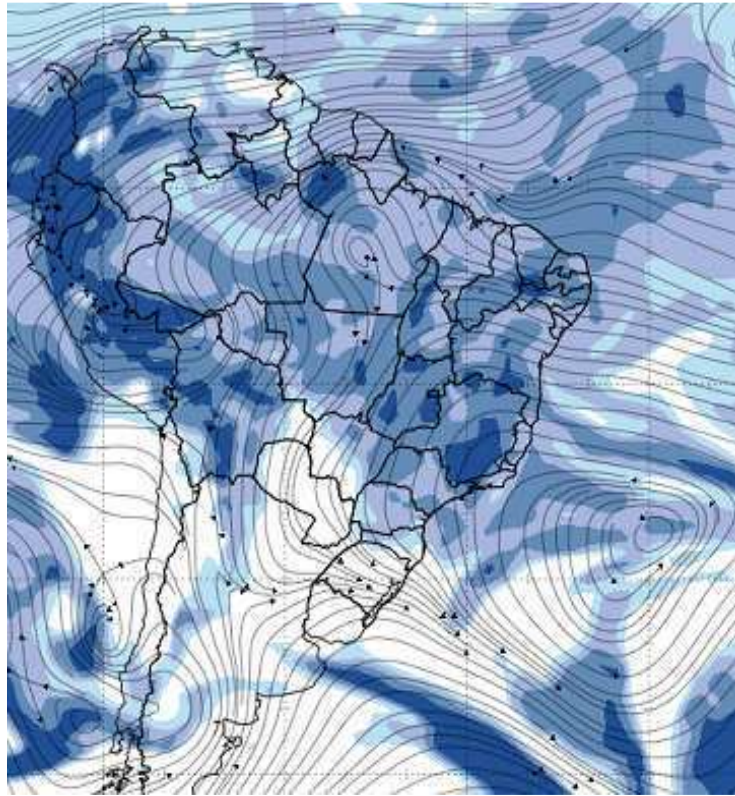


Figura 27 - Fluxo de vento e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 13/04/2009:a) 200 hPa; e b) 700 hPa..Fonte: Modelo MBAR do INMET.

C



Continuação- Figura 27 - Fluxo de vento e umidade do ar análise às 1200 UTC, de 13/04/2009:
c) 850 hPa. Fonte: Modelo MBAR do INMET.

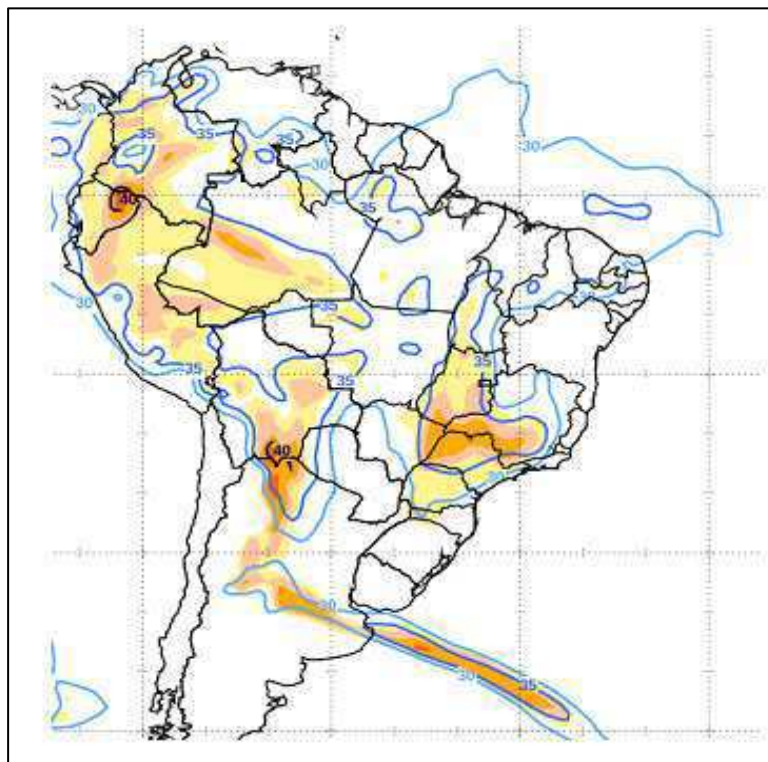


Figura 28 – Índice de estabilidade atmosférica (K), análise às 12:00 UTC, de 13/04/2009. Fonte:
Modelo MBAR do INMET.

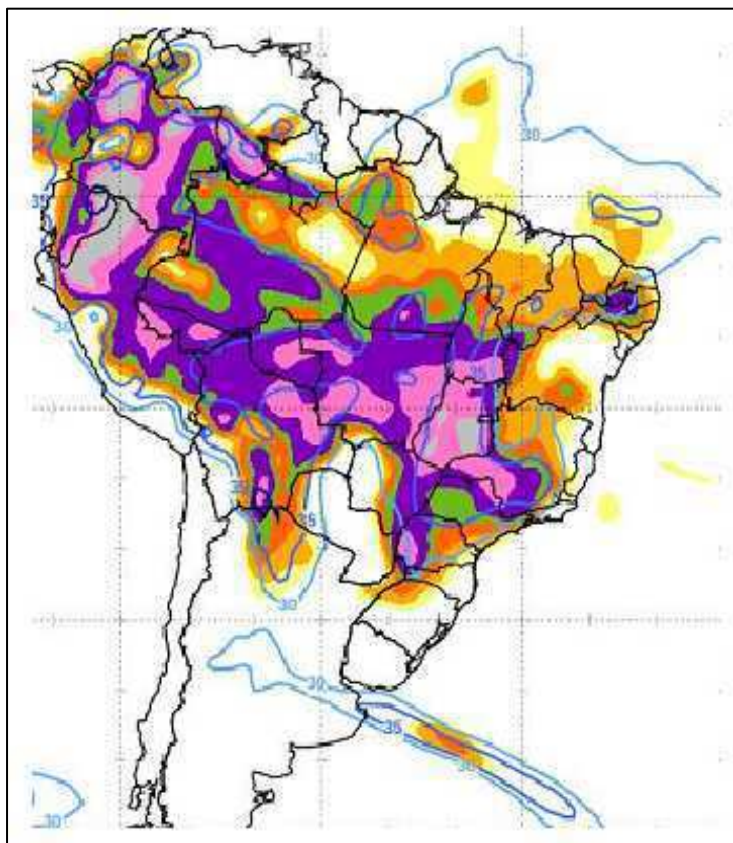


Figura 29 - Índice CAPE, análise às 12:00 UTC, de 13/04/2009. Fonte: Modelo MBAR do INMET

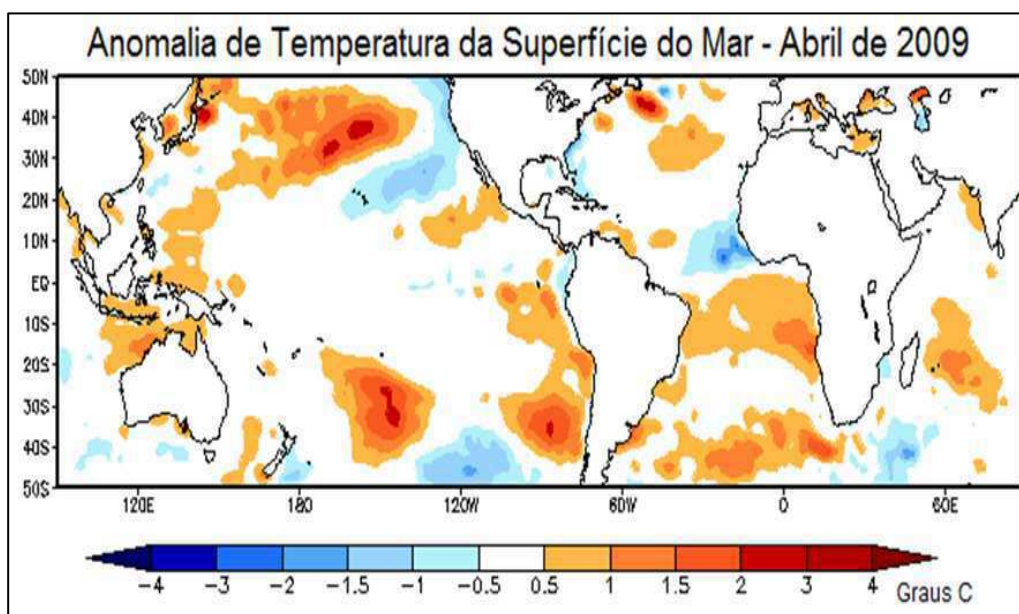


Figura 30 - Campo médio das anomalias de TSM. Fonte: CPTEC/INPE

4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO BOX-PLOT

Foram calculados através da ferramenta estatística box-plot os valores limiares (outliers) e a quantidade dos extremos de chuva diária (mm) das séries temporais, usando o software do SPSS versão 13.0, conforme resultados (Tabela C). Resultam que 37 apresentam valores atípicos e 16 não apresentam valores atípicos nas séries temporais em estudo.

São apresentados os gráficos Box-plot para os 14 locais selecionados anteriormente e ilustrado conforme (Figura 31). As caixas indicam os 25 (Q1), 50 (mediana) e 75 (Q3) percentis. Os valores extremos acima do valor mais alto são representados nos gráficos (9), são valores atípicos (*outliers*) de cada série temporal. Os gráficos de Jericó, Alhandra, João Pessoa e Campina Grande não apresentaram valores atípicos nas séries temporais (Figura 31b-d e 31g). Verifica-se que o litoral não apresenta valores atípicos, porque as séries temporais apresentam diversos valores elevados dos EEPDA que evitam discrepâncias, exemplo: a série de João Pessoa apresenta diversos valores de precipitação acima de 150 mm diário (Figura 12d), o desvio padrão mostrar mais elevado 35,3 mm, devido à variabilidade de anos seco e chuvoso (Tabela B); e Campina Grande o maior evento de chuva diário é de 110 mm, não distanciando dos demais valores elevados da série (Figura 12g) e desvio padrão baixo de 18,8 mm (Tabela B).

Apresentam valores atípicos os gráficos de Areia (3), Araruna (5), Umbuzeiro (2), Cabaceiras (3), Desterro (4), Santa Luzia (5), Cajazeiras (4) nas séries temporais (Figura 31e-f, 31h-i e 31l-n). Exemplo desses valores limiares atípicos encontram-se na (Tabela C): Cabaceiras $3 \geq 169$ mm; Desterro $4 \geq 130$ mm; e São Gonçalo $1 \geq 193$ mm. Das localidades plotadas Santa Luzia é única que apresenta valor atípico inferior ao Q1 – 2STEP. Isto ocorreu devido a pequena diferença entre Q1 e Q3 para Santa Luzia.

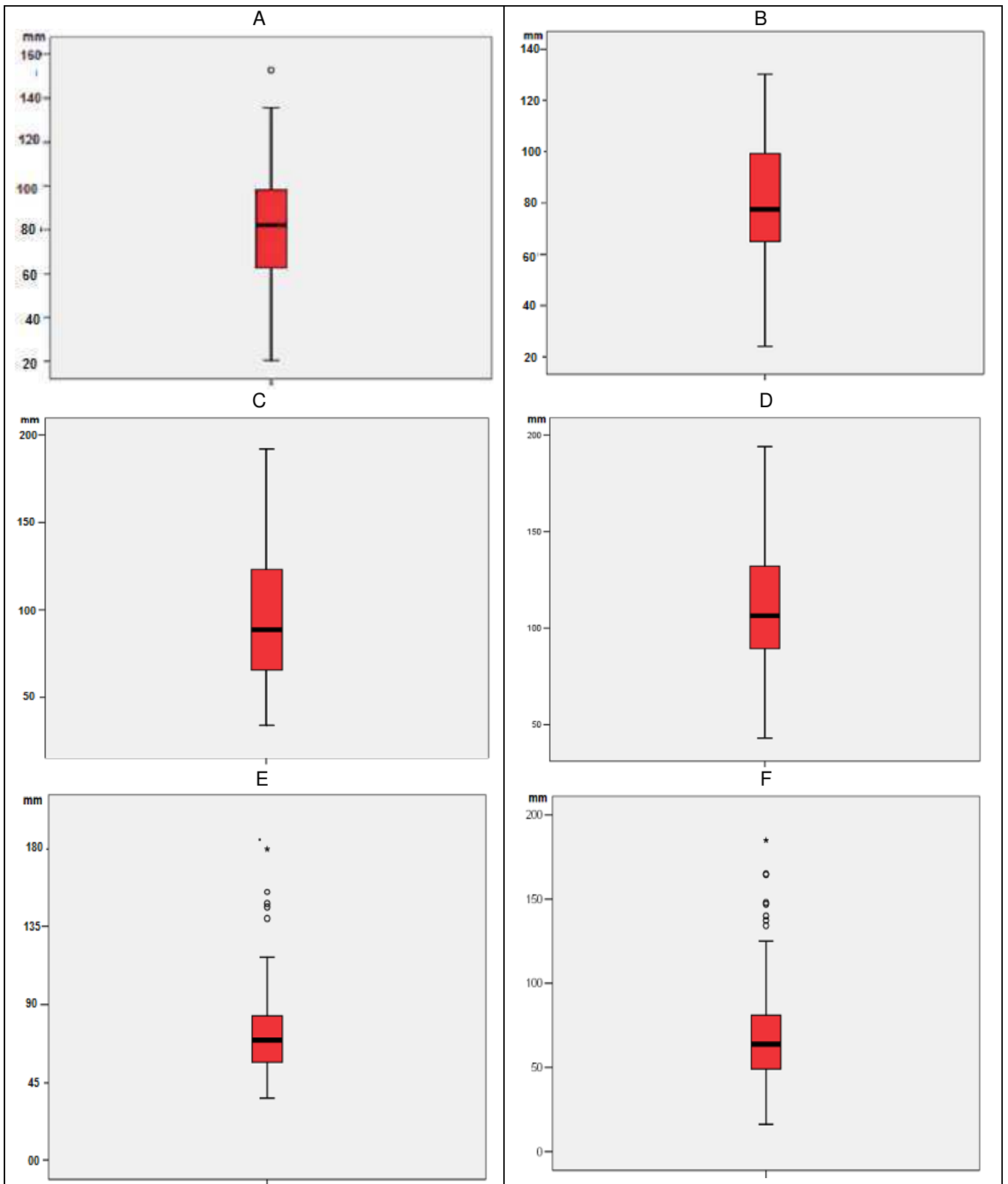
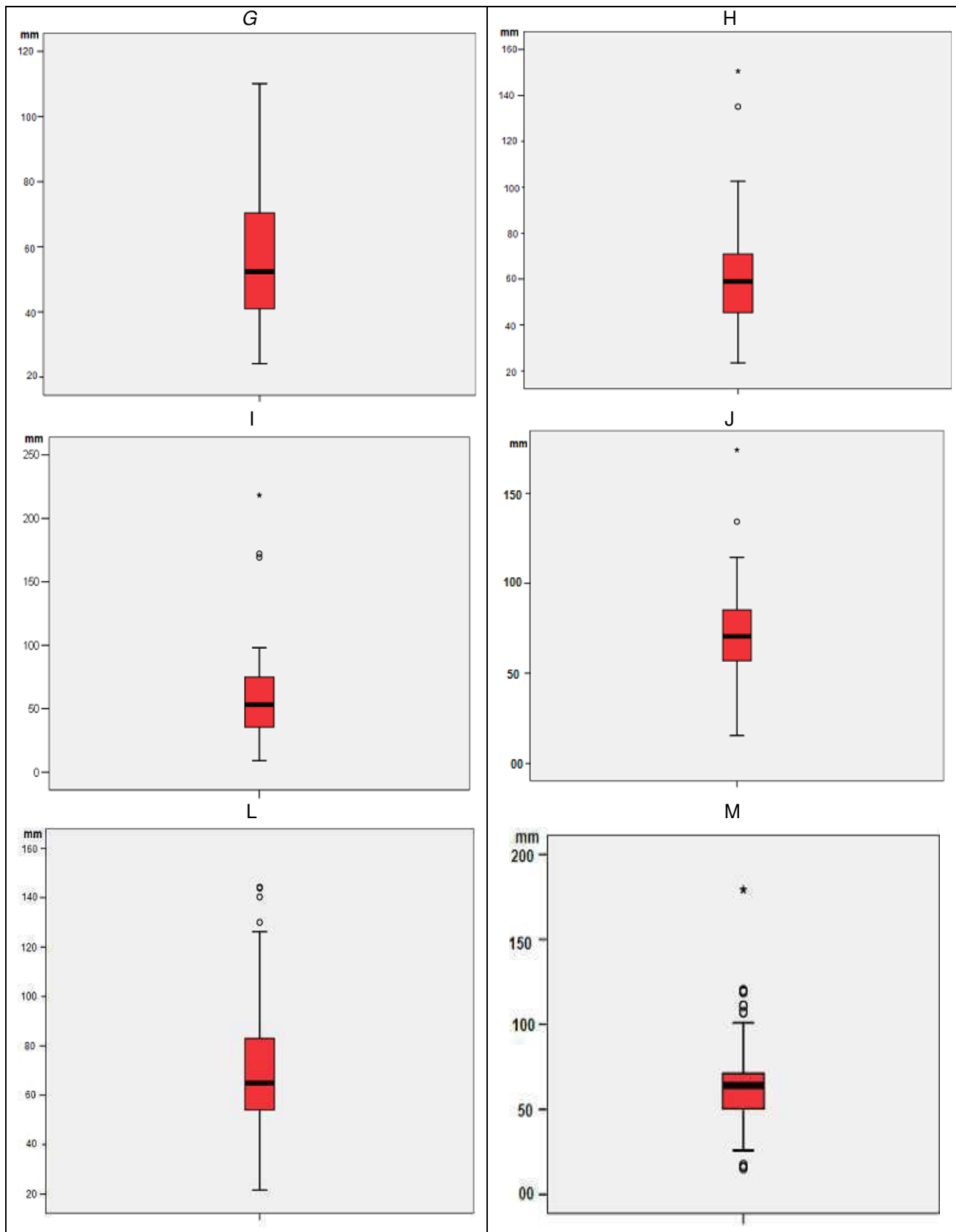
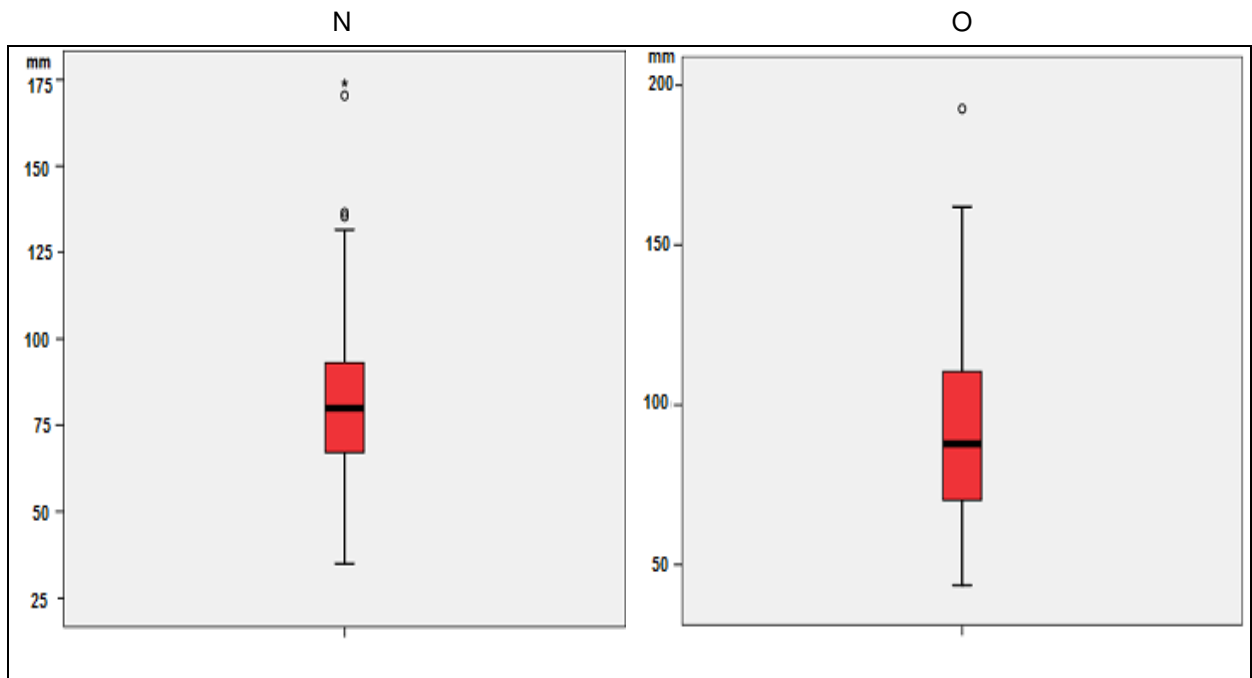


Figura 31 - Gráfico Box-plot dos valores extremos ou limiares (outliers) mm para os EEPDA mm, acima do valor mais alto representado no gráfico (°): a) Olho D'água; b) Jericó; c) Alhandra; d) João Pessoa; e) Areia; f) Araruna;



Continuação - Figura 31 - Gráfico Box-plot dos valores extremos ou limiares (outliers) mm para os EEPDA mm, acima do valor mais alto representado no gráfico (?): g) Campina Grande; h) Umbuzeiro; i) Cabaceiras; j) Monteiro; l) Desterro; m) Santa Luzia;



Continuação - Figura 31 - Gráfico Box-plot dos valores extremos ou limiares (outliers) mm para os EEPDA mm, acima do valor mais alto representado no gráfico (°): n) Cajazeiras; e o) São Gonçalo.

5 CONCLUSÃO

Observa-se que os sistemas meteorológicos de grande escala podem influenciar nos eventos extremos de chuva em cada região homogênea de maneira diferenciada.

Com base no teste de Mann-Kendall verificou-se que das 52 séries temporais dos EEPDA do Estado da Paraíba apresentaram 38 com tendência positiva e 14 com tendência negativa. As localidades de Alhandra, Bonito de Santa Fé, Cabaceiras, Desterro, Nazarezinho, Teixeira, Umbuzeiro, Areia, Brejo do Cruz, Cajazeiras, João Pessoa, Olho D'água e Pedra Lavrada apresentaram tendência estatisticamente significativa de 5% e 1%. Tendência climática de elevação, dos EEPDA, não significa aumento na precipitação anual. Verifica-se as microrregiões do Litoral, Cariri, centro do Sertão e Alto Sertão apresentam tendência climática de elevação de eventos de precipitação extrema. As microrregiões do norte do Sertão, sul do Cariri e Brejo apresentam sinal negativo, mas não apresentam significância estatística. Portanto, não pode afirmar que ocorreu diminuição dos eventos extremos.

Os resultados mostram que a maioria das séries temporais menores que 50 anos, os gráficos apresentam tendência climática decrescente, tais como em Jericó e Monteiro. Os gráficos de Alhandra, Areia, Cabaceiras, Cajazeiras, Desterro, João Pessoa, Olho D'água e Umbuzeiro mostram tendência climática de elevação. Os gráficos de Araruna, Campina Grande e São Gonçalo não apresentam tendência climática.

Períodos de retornos: para 50 anos espera-se chuva extrema diária maior que 190 mm no litoral, e de 100 a 130 mm no Cariri/Curimatau, baixa para uma região climatologicamente seca e para 100 anos, espera-se uma chuva intensa de 200 mm a 220 mm no litoral e de 130 mm a 140 mm no Cariri/Curimatau.

Os resultados desses eventos extremos de chuvas diárias e a climatologia da região auxiliam como suporte técnico e no planejamento em diversos setores: sustentabilidade urbana, no saneamento básico, equacionamento de trânsito e dos sistemas viário e drenagem urbana, construções de pequenos e médios reservatórios, controle de culturas em áreas irrigadas, gerenciamento de recursos hídricos, defesa civil e as áreas de riscos e de enchentes, bem como risco de

ocorrência do surto epidêmico da leptospirose. No entanto, eventos extremos de chuvas diárias são fenômenos potenciais em produzir, efeitos danosos no sistema de drenagem urbana e com forte impacto socioeconômico.

Verificou-se que o litoral, mesmo por ser a região de maior intensidade de ocorrência dos EEPDA, porém, não apresenta valores atípicos (*outliers*), porque as séries temporais apresentam diversos valores elevados dos EEPDA que evitam discrepâncias. Campina Grande não apresenta valores atípicos porque valor recorde do evento extremo de chuva diária de 110,1 mm é relativamente baixo em relação aos demais valores da série temporal. Maior quantidade de valores atípicos foram encontrados em Araruna 8 \geq 134 mm e Pilar 8 \geq 130 mm. O maior valor atípico apresenta-se em Mamanguape 2 \geq 203 mm.

Em Geral, a maior frequência que ocorrem os EEPDA foi no período de janeiro a abril em 26 localidades das regiões Cariri/Curimatau, Sertão e Alto Sertão e os sistemas meteorológicos associados são os VCAN e ZCIT.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. B.; DINIZ, F. A. Sistemas Atmosféricos Atuantes no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Salvador. **Anais...**, Salvador, p.680-684, 1990.

ARAÚJO, L. E.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS A. S.; MEDEIROS, P. C. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos - SP, v.23, n.2, p.162-169, jun. 2008.

BACK, A. J. Aplicação de Análise Estatística para Identificação de Tendências Climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília/DF, v. 36, n. 5, p.717-726, maio 2001. Disponível em: <<http://sic2011.com/sic/arq/81625407935868162540793.PDT>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

BARBOSA, J. P. M. Estudo Sobre a Evolução dos Eventos Extremos de Precipitação no Setor Paulista da Serra do Mar. In: Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, São Paulo. **Resumos...**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, São Paulo/SP, 2007. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/43603da01106816537154b045b93dcd9_1dbdee3cfa9d3c75846f4a10cd90bd58.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas Convectivos Intensos no Semiárido Brasileiro: O Controle da Grande Escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v.20, n.3, p.395-410, 2005.

BLAIN, G. C. Detecção de Tendência Monótonas em Séries Mensais de Precipitação Pluvial do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas/SP, v. 69, n.4, p.1027-1033, 2010. Disponível em: <www.scielo.br/brag/v69n4/v69n4a31.pdf>. Acesso em: 10 out. 2012.

_____. Totais Decendiais de Precipitação Pluvial em Campinas, SP: Persistência Temporal, Periodicidades e Tendências Climáticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p.789-795, abr., 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000500009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 out. 2013.

BLAIN, G. C.; MORAES, S. O. Caracterização Estatística de Oito Séries de Precipitação Pluvial Máxima Diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos/SP, v. 26, n.02, jun, 2011.

BOMVENTI, T. N.; WAINER, I. E. K. C.; TASCHETTO, A. S. Relação entre a radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano atlântico tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 24, n. 4, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbg/v24n4/a05v24n4.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

BRAGA, C. C.; SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente Homogêneas no Estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6, Salvador. **Anais...**, Salvador, p.200-205, 1990.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Edição Revista e Ampliada, Brasília/DF, 2009.

_____. Modelo Brasileiro de Alta Resolução – MBAR, rodadas do modelo operacional no INMET, Brasília/DF, 2013.

_____. Banco de Dados e Processamento de Imagens de Satélite GOES. Brasília/DF, 2012.

_____. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climático. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. Banco de Dados de Imagens. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp?i=br>. Acesso em: 09 nov. 2012.

_____. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/monitoramento_global.shtml>. Acesso em: 09 mar. 2013.

BRITO, J. J.; Braga, C.C. Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n.1, p.27-32, mar., 2005.

BRITO, J. I. B.; SILVA, M. C. L.; NÓBREGA, A. M.; BRAGA, C. C. Análise da precipitação do Estado da Paraíba no período de 1962-2001. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza. **Anais...**, 1 v, Fortaleza-Ceará: SBMET, Fortaleza-Ceará, 2004.

CHELLIAH, M.; ARKIN, P. Large-scale Interannual Variability of Monthly Outgoing Longwave Radiation Anomalies Over the Global Tropics. **Journal of Climate**, Washington-EUA, v.5, n.4, p.371-389, abr. 1992. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-442%281992%29005%3C0371%3ALSIVOM%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

CHU, P. S.; ZHAO, X.; RUAN, Y.; GRUBBS, M. Extreme Rainfall Events in the Hawaiian Islands. **Journal of Applied of Meteorology and Climatology**, Washington-EUA, v. 48, n. 03, p.502-516, mar. 2009.

CHUVAS NA PARAIBA já deixam saldo de 13.654 desalojado, um morto e 1.241 desabrigados. **Fagneramidia**. Disponível em: <http://fagnernamidia.blogspot.com.br/2011_07_01_archive.html>. Acesso em: 22 out. 2012.

CLARKE, R. T.; SILVA, B. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos/SP, v.19, n.3, p.265-272, set., 2004.

COELHO, M. S.; GAN, M. A.; CONFORTE, J. C. Estudo da Variabilidade da Posição e da Banda de Nebulosidade Associada à ZCIT do Atlântico Durante a Estação

Chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 1, p. 23-34, mar. 2004.

DEFESA CIVIL RJ. Secretaria de Estado da Defesa Civil, jan. 2011. Disponível em <http://cbmerj.rj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1989:sistema-de-defesa-civil-responde-ao-maior-dos-desastres-subitos-do-ais&catid=33:noticias-dasubsedec&Itemid=43>. Acesso em: 15 out. 2012.

DINIZ, F. A. Circulação Anticiclônica da Alta da Bolívia Associada com Chuva na Região Nordeste, situação: 08 a 12/03/88. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 5, Rio de Janeiro, **Anais...**, Rio de Janeiro/RJ: SBMET, p.29-33, set. 1988.

DINIZ, F. A.; REBELLO, E. R. G. Evento Meteorológico Extremo no Rio de Janeiro e Nordeste de São Paulo, Análise e Características Dinâmica e Sinótica: Baixa Pressão, dezembro/2009. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, Belém. **Anais...**, Belém-Pará: SBMET, 2010.

EASTERLING, D. R.; ALEXANDER, L. V.; MOKSSIT, A.; DETEMMERMAN, V. CC1/CLIVAR Workshop to Develop Priority Climate Indices. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington-EUA, v. 84, n. 10, p.1403-1407, out., 2003.

FAN, X.; WANG, Q.; WANG, M. Changes in Temperature and Precipitation Extremes During 1959–2008 in Shanxi, China. *Theoretical and Applied Climatology*. **Springer-Verlag**, Hamburg, v.109, n.1-2, p.283-303, jan., 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00704-011-0577-7.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2012.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização Climática e Estudo de Tendências nas Séries Temporais de Temperaturas do Ar e Precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambi-Água**, Taubaté/SP, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/issue/view/1>>. Acesso em: 11 out. 2012.

FU, B.; VINEY, N. R.; CHARLES, S. P.; LIU, J. Long-Term Temporal Variation of Extreme Rainfall Events in Australia: **Journal of Hydrometeorology, American Meteorological Society**, Washington-EUA, v.11, n. 04, p.1910–2006, ago. 2010. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2010JHM1204.1>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; MOURA, M. S. B. Extremo Máximo de Precipitação da Paraíba. **Revista de Geografia**, Recife/PE, v. 22, n.2, 2005. Disponível em:<<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/index>>. Acesso em: 18 nov. 2012.

GAMACHE, J. F.; HOUSE, JR. R. A. Meso-scale Air Motions Associated with a Tropical Squall Line. **Monthly Weather Review American Meteorological Society**,

Washington-EUA, v. 110, n. 02, p.118-135, fev., 1982. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/loi/mwre>. Acesso em: 15 out. 2012.

GARCÍA, D, F.; FONT, R.; RIVERA, A.; PEINADO, A.; ALMARZA, C.; GÓMEZ, E. Situación atmosférica causante de lluvias torrenciales durante los días 19 al 21 de octubre de 1982, en el Levante español. **Instituto Nacional de Meteorología**. Madrid, 1982.

GUEDES, Juliana Freitas de Cerqueira. **Análise institucional de prevenção e gestão de desastres de barragens: contribuições de Camará**. 2011. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana)-Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2011.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and Seasonal Climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Journal of Geophysical Research**, Washington-EUA, v. 92, n. 11, p.13345-13372, out. 1987.

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

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in North-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Inglaterra, v.103, n.435, p.77-92, jan., 1977. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.v103:435/issuetoc>>. Acesso em: 15 out. 2010.

HAYLOCK ET AL. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, Washington-EUA, v.19, n.08, p.1490-1512, abr. 2006. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI3695.1>>. Acesso em: 1 jul. 2012.

IBGE. **Estados@**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pb>>. Acesso em: 10 out. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. **Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC**, Summary for Policymakers, 23p, Cambridge, apr., 2007.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Washington-EUA, v.107, n.09, p.1140–1153, set. 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 33, p 538 - 550, 1981.

KRISHNAMURTHY, C. K.,B.; LALL, U.; KWON, H. H. Changing Frequency and Intensity of Rainfall Extremes over India from 1951 to 2003. **Journal of Climate**, Washington-EUA, v. 22, n. 18, p.4737-4746, set. 2009. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2009JCLI2896.1>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

LÚCIO, P. S. Climatologia Estatística Usando o R, **Estatística Descritiva II. Apostila Curso INMET**, p.57-105, Brasília, 2006.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. StructuralCharacteristic and Radiative Properties of Tropical Cloud Cluster. **Monthly Weather Review**, Washington-EUA v.121, n.12, p.3234-3259, dez. 1993. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-493\(1993\)121%3C3234%3ASCARPO%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-493(1993)121%3C3234%3ASCARPO%3E2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 30 jan. 2013.

MANN-KENDALL TEST – How to Apply Results. Originally Published in: **ReNews**, PUB-RR-716, March, 2004. Disponível em: <<http://www.docstoc.com/docs/7178939/MANN--KENDALL-TEST---HOW-TO-APPLY-RESULTS>>. Acesso em: 12 jan 2013.

MARENGO, J.; NOBRE, C.; RAIGOZA, D.; VALVERDE, M.; PISNITCHENKO, I. A.; OLIVEIRA, J.C.M. Boletim do Projeto: Uso de Cenários de Mudanças Climáticas Regionais em Estudos de Vulnerabilidade e Adaptação no Brasil e na América do Sul (**GOF-UK-CPTEC**), 2007. Disponível em <http://mudancasclimaticas.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/NewsLetter1_port.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2012.

MAY, W. Variability and Extremes of Daily Rainfall Durant the Indian summer Monsoons in the Period 1901-1989. **Global and Planet Change**, Dinamarca, v. 44, n.1-4, p.83-105, dez. 2004. Disponível em: <https://www.google.com.br/#hl=pt-BR&gs_rn=11&gs_ri=psy-ab&tok=INel-FPyftWdKFWyO59_fg&cp=8&gs_id=w&xhr=t&q=copenhagen&es_nrs=true&pf=p&sclient=psy-ab&oq=copenhar&gsl=&pbx=1&ba v=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.45921128,d.dmg&fp=ccc26453454904b3&biw=1280&bih=880>. Acesso em: 18 set. 2012.

MEEHL, G. A.; ZWIERS, F.; EVANS, J.; KNUTSON, T.; MEARN, L.; Whetton, P. Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington-EUA, v. 81, n.3, mar. 2000.

MELLO, N. G. S.; SAKAMOTO, M. S.; TORSANI, J. A. Estudo de Caso de um sistema Convectivo de Mesoescala – SCM Observado no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, Campos do Jordão-SP. **Anais...**, Campos do Jordão, p.887-890, set.1996.

MENESES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. L. A Relação entre a Temperatura da Superfície dos Oceanos Tropicais e a Duração de Veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.23, n.2, p.152-161, 2008.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. **Companhia de Produção de Recursos Minerais, Ministério das Minas e Energia, CPRM**, Belo, Horizonte MG, 552p, ago. 2007.

OLIVEIRA, L. F. C.; JORGE, C. A.; ANTONINI, J. C. A.; ANA, P.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de

Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 6, nov./dez. 2008.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Los Extremos Meteorológicos y El Cambio Climático: **Restrospectivas de las Predicciones**, OMM n.1075, 17p, Ginebra, Suiza, 2011.

PARAIBA. Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/chuvas/climatologiasGraficos.jsp>>. Acesso em: 01 mai. 2013.

RAMIS, C.; ROMERO, R. A first numerical simulation of the development and structure of the sea breeze on the Island of Mallorca. **Annales Geophysicae, EGU**, Cambridge-Inglaterra, v.13, n. 9, p.981-994, set.1995. Disponível em: <http://www.ann-geophys.net/volumes_and_issues.html>. Acesso em: 28 jan.2012.

RATISBONA, C. R. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology, Elsevier*, Amsterdam-Holanda, v.12, p.219-293, 1976.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; E LOBATO, F. A. O. Equações de Intensidades – Duração – Frequência de Chuvas para as Localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agrária**, Curitiba-Paraná, v.9, n.4, p.511-591, 2008. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/agraria/issue/view/662>>. Acesso em: 12 set. 2012.

RODRIGUES, R. A.; SANTOS, R. S. Estudo de Tendência Climática na Série Temporal de Precipitação Pluviométrica em Araguari/MG. **Revista Geografia Acadêmica, Goiânia**, Goiás, v.1, n.1, p.20-27, dez. 2007. Disponível em:<<http://www.rga.ggf.br/index.php?journal=rga&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=2>>. Acesso em: 05 maio 2012.

ROMERO, R.; RAMIS, C.; ALONSO, S. Mesoscale Model Simulation of Three Heavy Precipitation Events in the Western Mediterranean Region. **Monthly Weather Review, American Meteorological Society**, Washington-EUA, v. 126, n.7, p.859-1881, jul., 1998. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200493\(1998\)126%3C1859%3AMMSOTH%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200493(1998)126%3C1859%3AMMSOTH%3E2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 05 mai. 2012.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Analysis of indices of extremes for the semi-arid of Brazil and its relations with SST and NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 22, n. 3, dez. 2007.

_____. RAMANA RAO, T. V.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 24, n.1, p.39-47, mar. 2009.

SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos Extremos de Precipitação no Estado do Ceará e Suas Relações com a Temperatura dos Oceanos Tropicais. **Revista**

Brasileira de Meteorologia, São José dos campos, v. 26, n. 01, p.157-165, mar. 2012.

SANTOS, D. N.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, R. A. Estudo de Alguns Cenários Climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.14, n. 5, p.492–500, mai. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n5/a06v14n5.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

SAREWITZ, D.; PIELKE, J. R. Extreme Events: A Research and Policy Framework for Disaster in Context. **International Geology Review**, v.43, n.05, p.406-418, 2001. Disponível em: <http://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication_files/2001.14.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2012.

SILVA, M. C. L.; BRITO, J. I. B.; COSTA, A. M. N. Proposta de Monitoramento da Precipitação Pluvial no Estado da Paraíba Utilizando a Técnica dos Quantis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza-Ceará, set., 2004. 1 CD (parte b).

SILVA, V. P. R. On Climate Variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, Philadelphia, Pennsylvania-EUA, v. 58, n. 04, p. 575-596, 2004. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01401963/58>>. Acesso em: 15 out. 2012.

SOUSA JÚNIOR, I. F. **A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande - PB**. 2006. 90f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande-PB, 2006. Disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/posgrad_met/dissertacao2006/IsaierFSJunior_2006.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

SOUSA, F. A. S.; MORAIS, H. F.; SILVA, V. P. R. Tendências e Prognósticos de Chuvas em Seis Microrregiões do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 04, n. 02, p.252-263, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/187>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

SOUSA, W. S.; SOUSA, F. A. S.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F. Análise das Chuvas de Janeiro de 2004 em Sub-Regiões do Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, Florianópolis-SC. **Anais...**, Florianópolis-SC: SBMET, 2006. 1 CD.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; BURGO-BRAGA, R.; FERREIRA, N. J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.24, n.3, p.276-291, set. 2009.

WILLIAMS, C. J. R.; KNIVETON, D. R.; LAYBERRY, R. Influence of South Atlantic Sea Surface Temperatures on Rainfall Variability and Extremes over Southern Africa. **Journal of Climate, American Meteorological Society**, Washington-EUA, v. 21, n.

24, p.6498-6520, dez., 2008. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008JCLI2234.1>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

YAMAZAKI, Y. RAO. V. B. Tropical Cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tóquio-Japan, v. 55, n.2, p.204-207, 1977.

YU, P.; YANG, T.; WU, C. Impact of Climate on Water Resources in Southern Taiwan. **Journal Hydrology, Elsevier**, Amsterdam-Holland, v.260, n.1-4, p.161-175, march, 2002. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940100614X>>. Acesso em: 12 out. 2012.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva. Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional**. Fortaleza-Ceará: ABC editora, 2001.

ZHAI, P., ZHANG, X., WAN, H.; PAN, X. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes Over China. **Journal of Climate, American Meteorological Society**, Washington-EUA v. 18, n. 7, p.1096-1108, abr. 2005. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-3318.1>>. Acesso em: 10 set. 2012.

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

APÊNDICES

Neste apêndice apresentam-se as tabelas completas das posições geográficas das estações meteorológicas e postos pluviométricos com períodos das séries, resultados do teste MK, dos períodos de retorno, frequência e período de ocorrência dos EEPDA e valores atípicos dos eventos destes eventos.

Tabela A - Relação dos postos e estações pluviométricas, localização e períodos das séries temporais do Estado da Paraíba

LOCAL	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(m)	ANOS	ANOS AUSENTES	PERÍODO
Aguiar	738025	-7,09	-38,17	520	76	05	1933-2011
Alhandra	734008	-7,43	-34,92	49	76	01	1936-2011
Araruna	635028	-6,53	-35,74	580	101	05	1911-2011
Areia	82696	-6,97	-35,68	575	101	06	1911-2011
Bananeiras	635033	-6,76	-35,63	552	82	01	1930-2011
Barra de São Miguel	736025	-7,75	-36,33	700	50	01	1962-2011
Belém do Brejo do Cruz	637022	-6,18	-37,53	190	77	05	1935-2011
Bonito de Santa Fé	738022	-7,32	-38,52	575	79	01	1935-2011
Brejo do Cruz	637023	-6,35	-37,50	190	99	11	1913-2011
Cabaceiras	736022	-7,49	-36,29	390	85	07	1927-2011
Caiçara	635038	-6,62	-35,47	185	50	01	1962-2011
Cajazeiras	638028	-6,88	-38,57	291	102	05	1910-2011
Camalau	736021	-7,92	-36,87	565	49	01	1963-2011
Campina Grande	82795	-7,22	-35,88	547	100	06	1912-2011
Conceição	3852197	-7,55	-38,52	370	81	01	1912-2011
Condado	637028	-6,90	-37,62	260	70	04	1942-2011
Catolé do Rocha	637025	-6,35	-37,75	250	70	03	1931-2011
Coxixola	736017	-7,62	-36,62	465	49	01	1963-2011
Desterro	737018	-7,28	-37,10	590	88	05	1923-2011
Gurjão	736016	-7,27	-36,50	480	49	01	1963-2011
Ibiara	738018	-7,48	-38,42	330	50	01	1962-2011
Imaculada	737017	-7,38	-37,50	750	79	01	1933-2011
Itabaiana	735015	-7,33	-35,33	45	94	05	1918-2011
Jericó	637036	-6,55	-37,82	215	50	01	1962-2011

Continuação - Tabela A - Relação dos postos e estações pluviométricas, localização e períodos das séries temporais do Estado da Paraíba

LOCAL	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	ANOS	ANOS AUSENTES	PERÍODO
João Pessoa	82798	-7,10	-34,87	07	100	06	1912-2011
Juru	737016	-7,53	-37,83	470	50	01	1962-2011
Mãe D'Água	737015	-7,25	-37,43	370	74	02	1938-2011
Mamanguape	635044	-6,80	-35,12	54	101	07	1911-2011
Manaira	738015	-7,70	-38,17	605	74	02	1938-2011
Monteiro	82792	-7,88	-37,06	604	49	00	1963-2011
Mulungu	735009	-7,02	-35,47	100	86	01	1926-2011
Nazarezinho	638048	-6,92	-38,33	265	74	04	1938-2011
Olho D'Água	737011	-7,21	-37,77	275	79	01	1933-2011
Pedra Lavrada	636037	-6,75	-36,47	525	78	01	1934-2011
Piancó	737006	-7,21	-37,92	250	101	00	1911-2011
Picui	636038	-6,52	-36,37	450	101	08	1911-2011
Pilar	735035	7,12	35,35	146	50	02	1962-2011
Princesa Isabel	738013	-7,73	-38,01	660	101	01	1911-2011
Salgadinho	736010	-7,10	-36,85	410	72	06	1935-2011
Santa Luzia	636042	-6,87	-36,93	290	101	02	1911-2011
São Gonçalo	82689	-6,75	-38,22	233	73	00	1939-2011
São J. da Lagoa Tapada	638049	-6,93	-38,17	260	49	01	1963-2011
São J. de Piranhas Arapuã	738024	-7,07	-38,58	500	74	02	1935-2008
São José dos Cordeiros	736011	-7,38	-36,82	610	49	02	1963-2011
São Mamede	637037	-6,92	-37,10	270	49	01	1963-2011
São Seb. do Umbuzeiro	738000	-8,15	-37,02	600	50	01	1962-2011
Serra Branca	736009	-7,48	-36,67	450	49	03	1963-2011
Soledade	736008	-7,07	-36,37	560	94	06	1913-2011
Taperoá	736002	-7,20	-36,83	500	86	06	1926-2011

Continuação - Tabela A - Relação dos postos e estações pluviométricas, localização e períodos das séries temporais do Estado da Paraíba

LOCAL	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(m)	ANOS	ANOS AUSENTES	PERÍODO
Teixeira	737002	-7,22	-37,27	770	47	02	1926-2011
Uiraúna	638035	-6,52	-38,42	300	47	02	1965-2011
Umbuzeiro	735002	-7,70	-35,67	553	86	01	1925-2011

Tabela B - Resultados do Teste Estatístico não paramétrico de Mann-Kendall, teste MK, nível de significância, tendência, média e desvio padrão das séries temporais dos EEPDA do Estado da Paraíba

LOCAL	Anos (N)	Média dos Extremos (mm)	Desvio Padrão (mm)	Teste MK	Nível de Significância	Tendência
Aguiar	76	87,1	29,71	1,8029	ENS	0,1665
Alhandra	76	92,2	37,91	2,4487	5	0,5395
Araruna	101	71,6	33,06	0,9184	ENS	0,0294
Areia	101	72,2	27,01	2,6408	1	0,1792
Bananeiras	82	70,3	23,24	0,9539	ENS	0,1759
Barra de São Miguel	50	66,1	32,77	-0,4350	ENS	-0,2510
Belém do Brejo do Cruz	77	78,6	31,65	-0,5938	ENS	0,0088
Bonito de Santa Fé	79	83,5	29,54	2,5315	5	0,3766
Brejo do Cruz	99	74,5	35,13	2,8840	1	0,2088
Cabaceiras	85	57,4	35,77	2,0116	5	0,3032
Caiçara	50	66,3	26,81	-0,3346	ENS	-0,0556
Cajazeiras	102	83,3	25,37	2,6022	1	0,2129
Camalau	49	80,2	33,09	-1,5429	ENS	-0,4845
Campina Grande	100	56,0	18,82	0,9143	ENS	0,0559
Catolé do Rocha	81	82,2	33,87	-1,5457	ENS	-0,2466
Conceição	101	76,9	26,20	0,4900	ENS	0,0451
Condado	70	79,1	26,16	0,6134	ENS	0,3095
Coxixola	49	78,6	35,58	1,6119	ENS	0,7528
Desterro	88	69,6	27,51	2,2561	5	0,3591
Gurjão	49	81,1	37,71	-0,9481	ENS	-0,4836
Ibiara	50	89,3	31,62	-0,9787	ENS	-0,3529
Imaculada	79	71,6	26,28	1,1430	ENS	0,1769
Itabaiana	94	62,8	25,73	0,1568	ENS	0,1410
Jerico	50	79,9	23,53	-1,9406	ENS	-0,3506

Continuação - Tabela B - Resultados do Teste Estatístico não paramétrico de Mann-Kendall, teste MK, nível de significância, tendência, média e desvio padrão das séries temporais dos EEPDA do Estado da Paraíba

LOCAL	Anos (N)	Média dos Extremos (mm)	Desvio Padrão (mm)	Teste MK	Nível de Significância	Tendência
João Pessoa	100	110,7	35,32	2,8054	1	0,3088
Juru	50	78,9	22,65	1,3886	ENS	0,3333
Mãe D'Água	74	82,0	39,16	0,4107	ENS	0,0432
Mamanguape	101	83,8	37,51	-1,6050	ENS	-0,1108
Manaira	74	82,1	27,70	-0,9613	ENS	-0,0751
Monteiro	49	70,3	26,77	-0,7068	ENS	-0,3721
Mulungu	86	59,1	24,33	-0,6490	ENS	0,0124
Nazarezinho	74	83,6	29,50	2,4873	5	0,3859
Olho D'Água	79	81,8	27,14	3,0607	1	0,4480
Pedra Lavrada	78	59,4	28,08	2,6318	1	0,4100
Piancó	101	81,4	28,29	0,0146	ENS	0,0463
Picui	101	55,7	26,09	0,8333	ENS	0,1617
Pilar	50	72,8	37,82	0,1087	ENS	0,2489
Princesa Isabel	101	75,2	26,30	1,3233	ENS	0,1493
Salgadinho	72	66,1	32,36	1,7306	ENS	0,3356
Santa Luzia	101	63,4	23,38	1,8280	ENS	0,1679
São Gonçalo	73	90,7	29,20	0,4762	ENS	0,1193
São J. da Lagoa Tapada	49	96,9	29,28	0,9999	ENS	0,3920
São J. de Piranhas Arapuã	74	82,7	25,11	0,4527	ENS	0,0917
São José dos Cordeiros	49	78,7	36,02	1,1723	ENS	0,7927
São Mamede	49	78,4	23,80	-1,5085	ENS	-0,2741
São Seb. do Umbuzeiro	50	60,2	26,95	-1,1627	ENS	-0,2352
Serra Branca	49	81,6	37,45	-0,5775	ENS	-0,0910
Soledade	94	59,8	25,10	0,4899	ENS	0,0354
Taperoá	86	74,2	27,50	0,5408	ENS	0,2250

Continuação - Tabela B - Resultados do Teste Estatístico não paramétrico de Mann-Kendall, teste MK, nível de significância, tendência, média e desvio padrão das séries temporais dos EEPDA do Estado da Paraíba

LOCAL	Anos (N)	Média dos Extremos (mm)	Desvio Padrão (mm)	Teste MK	Nível de Significância	Tendência
Teixeira	86	80,5	24,94	2,2360	5	0,3116
Uiraúna	47	75,7	17,57	1,3022	ENS	0,2033
Umbuzeiro	87	60,1	21,78	2,1556	5	0,2055

Tabela C - Resultados estatísticos: variável gumbel para os períodos de retorno de 50 anos e 100 anos; e Box-Plot dos valores atípicos (*outliers*) e seus limites dos EEPDA em relação a medida de dispersão (mediana) das séries temporais em estudo

LOCAL	Período de Retorno 50 Anos (mm)	Período de Retorno 100 Anos (mm)	Valores Atípicos \geq (mm)	Quantidade de Valores Atípicos
Aguiar	164,1	180,3	154,0	04
Alhandra	194,4	215,1	XXX	00
Araruna	157,3	175,3	134,0	08
Areia	142,2	156,9	139,0	05
Bananeiras	130,5	143,2	138,0	02
Barra de São Miguel	151,0	168,9	194,0	01
Belém do Brejo do Cruz	160,7	177,9	191,0	02
Bonito de Santa Fé	160,1	176,2	197,0	01
Brejo do Cruz	165,5	184,7	139,0	06
Cabaceiras	150,1	169,6	169,0	03
Caçara	135,8	150,4	131,0	03
Cajazeiras	149,1	162,9	135,0	04
Camalau	166,0	184,0	XXX	00
Campina Grande	104,8	115,0	XXX	00
Conceição	170,6	189,1	162,0	01
Condado	144,8	159,0	145,0	02
Catolé do Rocha	146,9	161,2	162,0	05
Coxixola	170,9	190,2	XXX	00
Desterro	140,9	155,9	130,0	04
Gurjão	178,9	199,4	XXX	00
Ibiara	171,3	188,5	XXX	00
Imaculada	139,8	154,1	144,0	02
Itabaiana	129,5	143,5	150,0	02
Jericó	141,0	153,8	XXX	00

Continuação - Tabela C - Resultados estatísticos: variável gumbel para os períodos de retorno de 50 anos e 100 anos; e Box-Plot dos valores atípicos (outliers) e seus limiares dos EEPDA em relação a medida de dispersão (mediana) das séries temporais em estudo

LOCAL	Período de Retorno 50 Anos (mm)	Período de Retorno 100 Anos (mm)	Valores Atípicos \geq (mm)	Quantidade de Valores Atípicos
João Pessoa	202,3	221,6	XXX	00
Juru	137,6	145,0	137,0	01
Mãe D'Água	183,5	204,8	152,0	04
Mamanguape	181,1	201,5	203,0	02
Manaira	153,9	169,0	XXX	00
Monteiro	139,8	154,3	134,0	02
Mulungu	122,2	135,5	125,0	02
Nazarezinho	159,8	175,9	192,0	01
Olho D'Água	152,2	166,9	153,0	01
Pedra Lavrada	132,2	147,5	140,0	02
Piancó	154,8	170,2	149,0	03
Picui	123,3	137,5	128,0	02
Pilar	170,8	191,4	130,0	08
Princesa Isabel	143,4	157,7	138,0	04
Salgadinho	150,1	167,7	141,0	03
Santa Luzia	123,9	136,7	107,0	05
São Gonçalo	166,4	182,3	193,0	01
São J. da Lagoa Tapada	183,2	200,9	165,0	03
São J. de Piranhas Arapuã	147,8	161,5	XXX	00
São José dos Cordeiros	171,4	190,9	199,0	01
São Mamede	140,1	153,1	XXX	00
São Seb. do Umbuzeiro	130,1	144,7	XXX	00
Serra Branca	178,7	199,1	XXX	00
Soledade	124,9	138,5	126,0	02
Taperoá	145,6	160,6	XXX	00

Continuação - Tabela C - Resultados estatísticos: variável gumbel para os períodos de retorno de 50 anos e 100 anos; e Box-Plot dos valores atípicos (outliers) e seus limiares dos EEPDA em relação a medida de dispersão (mediana) das séries temporais em estudo

LOCAL	Período de Retorno 50 Anos (mm)	Período de Retorno 100 Anos (mm)	Valores Atípicos \geq (mm)	Quantidade de Valores Atípicos
Teixeira	145,7	159,4	XXX	00
Uiraúna	121,3	130,9	XXX	00
Umbuzeiro	116,5	128,4	135,0	02

Tabela D - Contribuição percentual da variação temporal dos eventos extremos de chuva diária anual em cada local, período dos meses de maior ocorrência e os sistemas meteorológicos associados.

LOCAL	CONTRIBUIÇÃO (%)	MESES	SISTEMAS METEOROLÓGICOS ASSOCIADOS
Aguiar	85,5	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Alhandra	91	Mar-abri-mai-jun-jul	DL-ZCIT-VCAN
Araruna	82,3	Jan-fev-mar-abr-mai-jun	DL-ZCIT-VCAN
Areia	82,5	Mar-abr-mai-jun-jul	DL-ZCIT-VCAN
Bananeiras	84,0	Fev-mar-abri-mai-jun-jul	DL-ZCIT-VCAN
Barra de São Miguel	77,6	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT-DL
Belém do Brejo do Cruz	87,5	Fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
Bonito de Santa Fé	84,2	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
Brejo do Cruz	89,7	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
Cabaceiras	83,3	Fev-mar-abri-mai-jun	VCAN-ZCIT-DL
Caiçara	77,6	Mar-abr-mai-jun-jul	VCAN-ZCIT-DL
Cajazeiras	86,6	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Camalau	83,3	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT-DL
Campina Grande	84,7	Fev-mar-abr-mai-jun-jul	DL-ZCIT-VCAN
Catolé do Rocha	84,6	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Conceição	85	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT

Continuação - Tabela D - Contribuição percentual da variação temporal dos eventos extremos de chuva diária anual em cada local, período dos meses de maior ocorrência e os sistemas meteorológicos associados.

LOCAL	CONTRIBUIÇÃO (%)	MESES	SISTEMAS METEOROLÓGICOS ASSOCIADOS
Condado	83,3	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Desterro	85,7	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT-DL
Gurjão	79,2	Jan-Fev-Mar-Abr	VCAN-ZCIT-DL
Ibiara	87,6	Jan-Fev-Mar-Abr	VCAN-ZCIT
Imaculada	82,1	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Itabaiana	77,5	Mar-abr-mai-jun-jul	VCAN-ZCIT-DL
Jerico	93,9	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
João Pessoa	92,6	Mar-abr-mai-jun-jul	DL-ZCIT-VCAN
Juru	87,8	Dez-jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Mãe D'Água	89,3	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Mamanguape	80,9	Mar-abr-mai-jun-jul	VCAN-ZCIT-DL
Manaira	91,7	Dez-jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Monteiro	87,5	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAS-ZCIT-DL
Mulungu	85,9	Mar-abr-mai-jun-jul	VCAN-ZCIT-DL
Nazarezinho	87,1	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Olho D'Água	82,1	Fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT

Continuação - Tabela D - Contribuição percentual da variação temporal dos eventos extremos de chuva diária anual em cada local, período dos meses de maior ocorrência e os sistemas meteorológicos associados

LOCAL	CONTRIBUIÇÃO (%)	MESES	SISTEMAS METEOROLÓGICOS ASSOCIADOS
Pedra Lavrada	84,4	Fev-Mar-Abr	VCAN-ZCIT-DL
Picui	78,5	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT-DL
Pilar	77,1	Abr-Mai-Jun-Jul	ZCIT-DL
Princesa Isabel	88,0	Dez-jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
Salgadinho	93,0	Jan-Fev-Mar-Abr-mai	VCAN-ZCIT-DL
Santa Luzia	92,9	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
São Gonçalo	86,3	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
São José dos Cordeiros	83,0	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
São José da Lagoa Tapada	79,2	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
São José de Piranhas Arapuã	85,0	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
São José dos Cordeiros	83,0	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT
São Mamede	89,6	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT-DL
São Sebastião do Umbuzeiro	86,0	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT
Serra Branca	78,3	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT-DL
Soledade	91,0	Jan-fev-mar-abr-mai	VCAN-ZCIT-DL

Continuação - Tabela D - Contribuição percentual da variação temporal dos eventos extremos de chuva diária anual em cada local, período dos meses de maior ocorrência e os sistemas meteorológicos associados

LOCAL	CONTRIBUIÇÃO (%)	MESES	SISTEMAS METEOROLÓGICOS ASSOCIADOS
Teixeira	86,9	Jan-Fev-Mar-Abr	VCAN-ZCIT
Uiraúna	80,4	Jan-fev-mar-abr	VCAN-ZCIT-SC
Umbuzeiro	81,4	Mar-abr-mai-jun-jul	VCAN-ZCIT-DL