



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA
E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**



EVERTON DE ARAÚJO MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E
EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DA PARAÍBA**

CAMPINA GRANDE-PB

Fevereiro de 2024

EVERTON DE ARAÚJO MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E
EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, seguindo às exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Prof^o. Dr. Madson Tavares Silva

CAMPINA GRANDE-PB

Fevereiro de 2024

M488v Medeiros, Everton de Araújo.
Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial e eventos extremos no estado da Paraíba / Everton de Araújo Medeiros – Campina Grande, 2024.
74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.
"Orientação: Prof. Dr. Madson Tavares Silva."
Referências.

1. Climatologia. 2. Chuva. 3. Recursos Hídricos. 4. Precipitações Pluviais no Estado da Paraíba. 5. Semiárido Paraibano. 6. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. I. Silva, Madson Tavares. II. Título.

CDU 551.58(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

Everton de Araújo Medeiros

“VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DA PARAÍBA”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Mestre Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 23 de Fevereiro de 2024

Dr.(a.) **Madson Tavares Silva** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/PPGEGRN**(Examinador Interno).

 Documento assinado digitalmente
HERMES ALVES DE ALMEIDA
Data: 13/05/2024 22:13:18 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr.(a.) **Hermes Alves de Almeida/UEPB** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 23/04/2024, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/05/2024, às 21:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4208849** e o código CRC **AF69ABF9**.

DEDICATÓRIA

Ao meu DEUS por ter me concedido chegar até aqui, a toda minha família e aos meus pais Edvaldo Medeiros e Maria Geilza por todo apoio que me deram durante esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Durante estes dois anos muitos desafios apareceram, mas agradeço a Deus por ter me concedido a graça de chegar à conclusão de mais uma etapa da minha vida, foram novas descobertas, novas amizades e novos conhecimentos.

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por me proporcionar a realização de sonhos, agradeço aos meus pais, Maria Geilza de Araújo Medeiros e Edvaldo Medeiros por terem me apoiado e orientado em tudo.

A todos os meus familiares que acreditaram em meus projetos, desde os meus pais, avós, tios, tias e primos, especialmente as tias Maria Joelza e Maria de Fatima e Lucia Medeiros.

A todos os meus amigos, especialmente Adriano Martins, Lucas Miranda e Diego Rhamon por toda força, apoio e estímulo dados durante estes anos de estudos, aos colegas da turma 2022.1 e aos colegas da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) na pessoa de Carmem Becker e Marle Bandeira. Ao Professor Doutor Hermes Alves de Almeida pelo apoio desde a graduação.

Aos amigos do grupo Caçadores de Tempestades Extreme Borborema.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) por ter me aberto às portas através dos programas de pós graduação. A todos os professores por ter me proporcionado uma pós-graduação de qualidade, e especialmente ao Professor Doutor e orientador Madson Tavares Silva pela sua paciência, dedicação, compreensão e pelos seus ensinamentos, a ele meu muito obrigado.

RESUMO

A precipitação pluvial é o elemento climático mais importante para região tropical, especialmente para o Semiárido paraibano em que várias atividades dependem exclusivamente do uso da água, compreender as variabilidades existentes da precipitação pluvial com a caracterização de áreas homogêneas é de fundamental importância para o desenvolvimento, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos da região. Com a premissa dessa importância, essa pesquisa de dissertação busca analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial e quantificar os limiares de eventos extremos das precipitações em localidades diferentes do Estado da Paraíba e seus impactos na sociedade. Utilizaram-se uma série de dados iniciados em janeiro de 1994 até dezembro de 2022, referentes de 124 localidades da rede de monitoramento da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. As análises de agrupamentos e dependência espacial foram feitas utilizando-se os métodos de Ward e do Índice Local de Moran, e as tendências pelos testes, de homogeneidade de Pettitt e Mann-Kendall. Para estimar o tempo de retorno e a frequência de chuvas extremas foi adotada a Teoria dos Valores Extremos. Os resultados sugerem a existência de sete grupos homogêneos, com variabilidades interanuais, (os eventos extremos estão associados a atuação dos principais sistemas meteorológicos, a Zona de Convergência Intertropical e Vórtice Ciclônico de Altos Níveis). Também indicam que é possível efetivar um planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos desde que haja previsibilidade das variabilidades das precipitações pluviais no estado da Paraíba.

Palavras-Chave: climatologia; chuva; recursos hídricos.

ABSTRACT

Rainfall is the most important climatic element for the tropical region, especially for the semi-arid region of Paraíba where several activities depend exclusively on the use of water. Understanding the existing variability of rainfall with the characterization of homogeneous areas is of fundamental importance for development, planning and management of water resources in the region. With the premise of this importance, this dissertation research seeks to analyze the spatial and temporal variability of rainfall and quantify the thresholds for extreme precipitation events in different locations in the State of Paraíba and their impacts on society. A series of data starting in January 1994 until December 2022 was used, referring to 124 locations in the monitoring network of the Executive Water Management Agency of the State of Paraíba. Cluster and spatial dependence analyzes were carried out using the Ward and Moran Local Index methods, and trends using the Pettitt and Mann-Kendall homogeneity tests. To estimate the return time and frequency of extreme rainfall, the Extreme Value Theory was adopted. The results suggest the existence of seven homogeneous groups, with interannual variability, (the extreme events are associated with the action of the main meteorological systems, the Intertropical Convergence Zone and the High Level Cyclonic Vortex). They also indicate that it is possible to plan and manage water resources as long as there is predictability of rainfall variability in the state of Paraíba.

Keywords: climatology; rain; water resources.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Fluxograma da dissertação.....	22
---	----

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização do estado da Paraíba, mesorregiões e postos pluviométricos.....	34
Figura 2. Grupos homogêneos de precipitação média na Paraíba.	38
Figura 3. Médias, medianas e outliers dos acumulados anuais de precipitação para os 7 Grupos homogêneos.....	41
Figura 4. Análises de séries temporais com aplicação do teste de homogeneidade pelo método de Pettitt para os Grupos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E), 6 (F) e 7 (G).....	43

CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização dos municípios selecionados e dos 7 Grupos homogêneos encontrados no capítulo 2.....	52
Figura 2. Representação dos eventos extremos para distribuição GVE.....	53
Figura 3. Variabilidade mensal dos municípios selecionados para as localidades de Taperoá (A), Catingueira (B), Campina Grande (C), Cabaceiras (D), Areia (E) e Cajazeiras (F) e João Pessoa (G) entre 1994 e 2022.....	57
Figura 4. Variabilidades das chuvas máximas anuais para as localidades de Taperoá (TAP), Catingueira (CAT), Campina Grande (CG), Cabaceiras (CAB), Areia (ARE), Cajazeiras (CAJ) e João Pessoa (JP).....	58
Figura 5. Maiores precipitações pluviais anuais para as localidades de João Pessoa, Areia, Campina Grande, Cabaceiras, Taperoá, Catingueira e Cajazeiras.....	59
Figura 6. Ocorrências de chuvas \geq de 50mm/dia para as localidades de João Pessoa, Areia, Campina Grande, Cabaceiras, Taperoá, Catingueira e Cajazeiras.....	60
Figura 7. Frequência absoluta da precipitação diária máxima anual para: Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período entre 1994 e 2022.....	61
Figura 8. Função de autocorrelação (FAC) da precipitação para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João, para o período compreendido entre 1994 e 2022.....	63
Figura 9. Distribuição da função densidade de probabilidade estimada pela distribuição GVE para as máximas precipitações diárias, para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período compreendido entre 1994 e 2022.....	65
Figura 10. Período de retorno da precipitação máxima diária para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa, para o período compreendido entre 1994 e 2022. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança ano nível de 95% para o modelo estimado.....	67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Resultados do teste de Mann-Kendall para os 7 Grupos homogêneos.....	40
Tabela 2. Máxima Variabilidade interanual e variabilidade extrema em porcentagem e em milímetros para os 7 Grupos homogêneos.	44

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Estatística descritiva da precipitação diária máxima anual para os municípios da pesquisa, no período de 1994 a 2022.....	62
Tabela 2. Teste de Chorrilho para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período compreendido entre 1994 e 2022.....	63
Tabela 3. Parâmetros das distribuições GEV.	64
Tabela 4. Teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para o período compreendido entre 1994 e 2022. Em que, D_n é o limite superior extremo das diferenças entre os valores absolutos da distribuição acumulada empírica e teórica consideradas no teste.....	66
Tabela 5. Período de retorno estimado da precipitação diária extrema (mm/dia), para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa, para o período compreendido entre 1994 e 2022.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
ENOS	El Niño Oscilação Sul
GVE	Estimação dos parâmetros das Distribuições
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
NEB	Nordeste Brasileiro
TVE	Teoria de Valores Extremos
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	
1	INTRODUÇÃO..... 11
2	JUSTIFICATIVA..... 13
3	OBJETIVO..... 15
3.1	Objetivo geral..... 15
3.2	Objetivos específicos..... 15
4	REVISÃO DE LITERATURA..... 15
4.1	Variabilidade e mudanças Climáticas na Precipitação Pluvial..... 16
4.2	Sistemas indutores de chuva no semiárido brasileiro..... 17
4.2.1	Zona de Convergência Intertropical 17
4.2.2	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis..... 18
4.2.3	Distúrbios Ondulatórios de Leste..... 19
4.3	Ferramentas de análises de Eventos Extremos..... 19
4.3.1	Análises de séries temporais..... 19
4.3.2	Testes aplicáveis a series temporais..... 20
4.3.3	Clusterização..... 20
4.3.4	Múltiplos métodos para Eventos Extremos..... 21
5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... 22
6	REFERÊNCIAS..... 23
CAPITULO 2	
	RESUMO..... 29
1	INTRODUÇÃO..... 31
2	MATERIAL E MÉTODOS..... 32
2.1	Área de Estudo..... 32
2.2	Dados utilizados..... 32
2.3	Métodos..... 33
2.3.1	Índice I Moran..... 33
2.3.2	Método de Ward..... 34
2.4	Testes de homogeneidade..... 34
2.4.1	Mann-Kendall..... 34
2.4.2	Pettitt..... 35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 36
3.1	Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluvial..... 36
3.2	Análise de séries temporais de precipitação pluvial..... 39
3.2.1	Variabilidades interanuais..... 42
4	CONCLUSÕES 44
5	REFERÊNCIAS..... 45
CAPÍTULO 3	
	RESUMO..... 49
1	INTRODUÇÃO..... 51
2	MATERIAL E MÉTODOS..... 52
2.1	Caracterização da área de Estudo..... 52
2.2	Análise climatológica e descritiva da precipitação pluvial..... 52
2.3	Modelagem estatística para a ocorrência de precipitação extrema a partir da Teoria de Valores Extremos 53
2.4	Teste de independência..... 54
2.5	Estimação dos parâmetros das Distribuições GVE..... 54
2.6	Teste de Kolmogorov Smirnov (KS)..... 56
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 56
3.1	Climatológica da precipitação..... 56
3.2	Modelagem estatística da máxima precipitação pluvial utilizando a Teoria de Valores Extremos..... 62
3.3	Período de retorno e probabilidades de ocorrência de precipitação..... 66
4	CONCLUSÕES..... 69
5	REFERÊNCIAS..... 70
CAPÍTULO 4	
1	CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 73

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

Deste os tempos mais antigos o homem teve a preocupação de entender os efeitos do tempo, com o avanço científico a compreensão dos fenômenos atmosféricos vem contribuindo para entender melhor as oscilações nas condições do Tempo e, conseqüentemente, do Clima (ALMEIDA, 2016). No estudo atmosférico, são as temperaturas do ar e a precipitação as variáveis mais significativas, a temperatura do ar é definida em termos relativos como a relação entre um corpo e a relação de calor que possui (AYOADE, 2007) e relaciona-se diretamente com a precipitação, provocando-a a medida que a força gravitacional supera a força que mantém a umidade suspensa no ar forçando essa a atingir o solo em forma líquida ou sólida (TORRES e MACHADO, 2011).

O semiárido paraibano é caracterizado pela elevada variabilidade espaço temporal da precipitação, sendo comum chover torrencialmente num local e nada na sua circunvizinhança (ALMEIDA e MEDEIROS, 2016). Por se tratar de um fenômeno natural aleatório, a distribuição espacial da precipitação não se repete exatamente a cada período anual sob o aspecto quantitativo, embora aponte, com certo grau de certeza, os locais onde se deve esperar que chova mais ou menos (SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008), configurando tais locais como áreas homogêneas.

Eventos extremos de precipitação pluvial, se caracterizam por apresentar intensidade muito superior aos seus valores climatológicos, (BARRETO e MEDEIROS, 2013) muito embora, a conceituação dos termos “evento extremo” possui critérios definidos pelos autores ao tema, uma vez que esse conceito varia de pesquisa para pesquisa a depender dos objetivos, entretanto os principais caminhos para sua utilização é conceitua-lo entre, o estatístico e o qualitativo (TAVARES e FERREIRA, 2020).

Eventos extremos de precipitação estão sendo estudados em escala global, nacional e regional. Em escala global eventos extremos são discutidos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) com realizações de projeções futurísticas, tratam-se de modelos globais com acoplamento da atmosfera com os oceanos, cujas simulações servem de base para a elaboração de relatórios de avaliação de grupos de trabalhos (CÂNDIDO et al., 2007).

No Brasil várias pesquisas são realizadas no âmbito da precipitação em escala nacional, regional e estadual com metodologias diferentes. Nobrega et al. (2014) constatou em sua pesquisa que foram observadas tendências predominantes de aumento de precipitação total sobre o estado da Paraíba, especialmente na Mesorregião da Borborema entre 1970 a 2004,

enquanto Santos e Manzi (2011) concluíram que para o estado do Ceará houve diminuição dos eventos extremos no período de 1981 a 2006.

Realizar pesquisas sobre tendências de precipitação de áreas homogêneas e eventos extremos são de suma importância para as mais diversas atividades humanas, seja no campo ou na cidade porque afeta direta ou indiretamente a população, especialmente em clima tropical. As precipitações extremas acabam provocando danos à população das zonas urbanas, embora muitas vezes os problemas são agravados pela má forma de utilização dos espaços urbanos (MEDEIROS, 2019).

Embora no NEB as capitais sejam as que mais sofrem prejuízos com os eventos extremos, o interior nordestino não está isento, em 2009 os excessos de chuva e consequente de enchentes afetaram os estados do Nordeste, particularmente, entre os meses de abril e maio, quando o volume de chuva se manteve de 200 a 300% acima do normal na maior parte dos estados do Nordeste (MARENGO, 2011).

Desta maneira, uma observação cuidadosa dos registros climáticos a longo prazo é importante para a sociedade moderna, na medida em que fornece uma base para o conhecimento das tendências climáticas e as suas causas potenciais, uma vez que os impactos das oscilações climáticas na sociedade estão associados aos eventos extremos de precipitação (ALBUQUERQUE et al., 2018), ou a ausência de precipitação ocasionando longas estiagens. Como a região do NEB tem a maior proporção de pessoas que vivem na pobreza no Brasil, os impactos da seca são frequentemente graves (CUNHA, et al., 2018).

Com a visão de compreender e analisar um cenário fidedigno do comportamento das precipitações no estado da Paraíba ao longo de uma série histórica, e em meio a um cenário de variabilidades e mudanças climáticas, esta pesquisa de dissertação tem por objetivo fornecer um caminho que auxilie no entendimento das distribuições de chuvas para áreas do estado, precipitações extremas, tempo de retorno de eventos extremos e principalmente para o da subsidio ao gerenciamento dos recursos hídricos para o estado da Paraíba .

2. JUSTIFICATIVA

A climatologia da precipitação de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas, especialmente na produção agrícola e agropastoril (MEDEIROS et al., 2016) sendo as chuvas determinantes para acúmulo de águas e, conseqüentemente no desenvolvimento de uma região. Para o NEB, a maioria dos desastres naturais está relacionada à ocorrência de secas, o que são o maior problema desta região e são intensificadas pela grande irregularidade das chuvas (BRITO et al., 2021) as secas produzem efeitos catastróficos a sociedade, se as políticas sociais não forem eficazes.

A eficiência das políticas públicas de gestão hídrica, estão diretamente relacionadas aos conhecimentos dos fenômenos naturais, principalmente as chuvas. As áreas com precipitação pluvial homogênea são regiões com características similares em termos de algumas variáveis pluviais, os resultados dos estudos de delimitação de áreas homogêneas de precipitação têm sido utilizados no planejamento das atividades econômicas, sobretudo da atividade agrícola, visando assim o uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos (ARAÚJO et al., 2015).

Entender as variabilidades desse elemento se faz necessário para haver uma certa previsibilidade que auxilie no gerenciamento das políticas públicas sociais aplicadas no âmbito do planejamento, prevenção e mitigação de secas ou excessos hídricos, surtindo efeitos concretos pelos tomadores de decisão. A Paraíba especialmente apresenta uma das maiores variabilidades espaciais nas chuvas, uma vez que o agreste/litoral apresenta precipitação média anual acima de 1083,4 mm/ano, seguido do sertão com valores médios de 821,9 mm/ano, e pôr fim a região do Cariri/Curimataú com média alcançando até 516,1 mm/ano (ARAÚJO et al., 2008).

A chuva na região Nordeste do Brasil é predominantemente de natureza convectiva e a ocorrência de episódios extremos está associada com o desenvolvimento da convecção profunda (CORREIA et al., 2012). Desta forma apesar da maioria do território paraibano está sob condições de clima do tipo semiárido (BSh), todas as mesorregiões do estado já sofreram com eventos extremos de precipitação, a exemplo do município de Cabaceiras que é conhecido popularmente como a cidade mais seca do Brasil, entretanto em março de 2008, as chuvas intensas ocorridas superaram a média mensal em apenas um dia, aproximando-se da média anual de longo prazo (ADRIANO et al., 2008) a maior parte da zona urbana de Cabaceiras ficou totalmente inundada.

Na capital do estado, João Pessoa, entre os dias 16 e 17 de abril de 2016 quase toda média mensal em apenas dois dias, o que na pesquisa de Pereira (2016), se caracterizou como

uma situação especial, pois a ocorrência de dois eventos extremos consecutivos em um mesmo mês ainda não havia sido registrada na série investigada. Eventos extremos também geram preocupação da Mesorregião do Sertão paraibano, demonstrado por Oliveira (2020) são um problema que vem se agravando, e a irregularidade do regime pluviométrico na região do Alto Sertão paraibano preocupa ainda mais no tocante aos impactos provocados.

Desse modo, a proposta justifica-se pelas condições naturais em que se encontra a área de estudo, ou seja, as mesorregiões da Paraíba. Analisar a variabilidade e dependência espacial e temporal da precipitação pluvial e quantificar os limiares de eventos extremos de precipitação em regiões diferentes torna-se essencial a partir de uma série histórica partindo da seguinte indagação: Quais áreas do estado possuem dependência espacial e homogeneidade? O que vem ocorrendo no período entre 1994 e 2022, aumento ou diminuição das precipitações para às áreas homogêneas da Paraíba? Qual a frequência e tempo de retorno dos eventos pluviais extremos? Quais os efeitos para a sociedade de modo geral? Como amenizar esses efeitos a partir da utilização de gestão de recursos hídricos e políticas públicas?

Com essas indagações, a dissertação busca analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial e quantificar os limiares de eventos extremos de precipitação em localidades diferentes do Estado da Paraíba e seus impactos na sociedade. Levantando uma reflexão sobre os resultados obtidos para a população e os órgãos responsáveis pelos gerenciamento dos recursos hídricos.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial e quantificar os limiares de eventos extremos de precipitação em localidades diferentes no Estado da Paraíba.

3.2 Específicos

- Determinar localidades de áreas homogêneas de precipitação pluvial no estado da Paraíba;
- Verificar a dependência espacial dos dados de precipitação pluvial no estado da Paraíba;
- Analisar as séries temporais de precipitação pluvial das localidades homogêneas mediante aplicação de testes não-paramétricos;
- Identificar os limiares e período de retorno de eventos extremos de precipitação pluvial em localidades das regiões homogêneas;
- Refletir o impacto dos resultados na gestão da água como recurso natural.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Variabilidade e Mudanças Climáticas na Precipitação Pluvial

A temática eventos extremos de precipitação está diretamente relacionada com as variabilidades e mudanças climáticas. As mudanças climáticas permeiam a sociedade contemporânea por todo mundo, os possíveis efeitos da interferência do homem no meio ambiente começam a ser pesquisados e simulados nas condições das chuvas, temperaturas, concentração de gases na atmosfera e outras variáveis, dentre os quais ainda destaca a temperatura atmosférica global, a temperatura dos oceanos, o aumento do nível do mar, o derretimento da neve e do gelo e a intensificação dos perigos naturais (AVEN, 2015).

À medida que o clima esquenta, mudanças nas características da precipitação, como frequência, intensidade e duração, pode ocorrer (SUN, 2007) entretanto já no final da década de 1980 a pesquisa realizada por Rind (1989) já indicavam que as simulações modeladas é muitas vezes maior do que a observada sendo necessário mais tempo de dados e observações das variáveis para diferenciar uma mudança climática de uma variabilidade climática, desta forma conforme relata Almeida e Porto (2021) atualmente é comum atribuir qualquer flutuação de um elemento, como chuva e temperatura do ar como sendo uma mudança climática, quando na realidade se trata de uma variabilidade natural.

Variabilidades climáticas se refere a flutuações temporais das condições meteorológicas (ANGELOCCI e SENTELHAS 2010) essas variações vêm sendo observada ao longo das eras forçados por fenômenos de escalas de tempo década até milenar (MOLION, 2007). No semiárido brasileiro as variabilidades temporal e espacial do regime pluvial são características marcantes, não somente nos totais anuais, mas na quantidade e distribuição nas quatro estações do ano, especialmente, nas latitudes médias (ALMEIDA e CABRAL JÚNIOR, 2015).

As secas são fenômenos naturais complexos que provocam deficiência e/ou ineficiência de água a uma região durante um determinado período de tempo (YE, et al., 2016). A região Nordeste do Brasil sofre com sucessivos episódios de secas, uma das mais longas ocorreu entre o período de 2012 a 2017, sendo esta alvo de vários estudos (ESPINOZA et al., 2021). A grande variabilidade de precipitação no Nordeste é o motivo pelo qual se faz necessário o monitoramento de períodos secos e úmidos (NASCIMENTO, ALMEIRDA e ARAUJO, 2020).

Dentre os principais fatores que ocasionam as variabilidades da precipitação no semiárido brasileiro são as temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico contribuído com anos

mais ou menos chuvosos que perturbam a circulação dos ventos em escala global; alterando o clima, e, por consequência alterando a precipitação do modo geral, que levam as variabilidades climáticas e, essas podem estar relacionadas a eventos extremos ‘El Niño, La Niña’ que tem sido fonte de trabalhos e pesquisas para a comunidade científica (VICENT, et al., 2005).

O ENOS pode ser quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália), valores negativos e positivos elevados do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño (EN) e La Niña (LN), respectivamente. O aquecimento das temperaturas do oceano pacífico equatorial modifica o ramo ascendente da célula de Walker na qual origina-se dois ramos descendentes, um deles localiza-se sobre o Brasil incluindo o nordeste brasileiro desfavorecendo as chuvas (FREIRE, LIMA e CAVALCANTI, 2011).

Não somente o Pacífico, mas principalmente o oceano Atlântico está associado aos excessos ou escassez das chuvas sobre o Brasil, desta forma é verificado que a variabilidade climática pode ocorrer impulsionada pelas condições da TSM do Pacífico e Atlântico (SILVA et al., 2017). O Dipolo do Atlântico é denominado negativo quando as anomalias das temperaturas da superfície do mar estão mais aquecidas no hemisfério sul em relação ao hemisfério norte, o contrário deste cenário é denominado de dipolo positivo, essas fases interferem significativamente nas condições atmosféricas sobre os trópicos, atuando de forma direta na posição da ZCIT e na frequência dos VCAN e das Ondas de Leste (MENDES e MENDES, 2023).

4.2 Sistemas indutores de chuvas no semiárido brasileiro

4.2.1 Zona de Convergência Intertropical

Além de fenômenos oceânicos, o principal sistema meteorológico indutor de chuvas no norte do nordeste brasileiro é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que localiza-se em torno da linha do Equador. Trata-se de um sistema sinótico, antissimétrico de baixa pressão, convecção profunda e com fortes precipitações e nebulosidade propagando-se de leste para oeste (SANTORO, 2022).

A ZCIT é uma extensa faixa de nebulosidade formada pela convergência em baixos níveis dos ventos alísios de nordeste e sudeste. Esse sistema, produtor de chuvas, oscila sazonalmente entre os Hemisférios Norte e Sul da Terra em função da temperatura dos oceanos e das estações do ano (FRANCA, 2011) tem uma atuação na porção norte do nordeste mais frequente entre os meses de janeiro a maio, o pico da atuação no nordeste ocorre no mês de março em média.

Outro fator observado que aumenta a precipitação na região é o aparecimento de uma banda dupla de nebulosidade na ZCIT (COELHO et al, 2004) tornando-se um sistema semipermanente facilmente discernível em imagens de satélite como uma banda de maior nebulosidade sobre as regiões equatoriais nos Oceanos Pacífico e Atlântico principalmente ao penetrar o continente e o nordeste brasileiro, este sistema tende a se desorganizar, pois interage com a intensa convecção tropical nos meses de verão sobre as grandes fontes de liberação de calor latente tropicais (ROSA e SILVA, 2016). A ZCIT também segue o movimento aparente do sol anual que conseqüentemente molda o deslocamento das águas com temperaturas mais aquecidas da superfície do mar.

4.2.2 Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) é uma baixa pressão em altos níveis da atmosfera, esse fenômeno é capaz de causar tempo estável no centro e chuva na borda (REIS, 2018). Após um longo período de estiagem, as chuvas associadas ao VCAN podem contribuir, por exemplo, para a recarga de mananciais e açudes que abastecem a população dessas áreas (FERREIRA e SOUZA, 2019). Os VCAN que geralmente penetram na região Nordeste do Brasil formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro com duração média entre 7 e 10 dias (FERREIRA e MELLO, 2005).

Ao VCAN também é atribuído eventos extremos de chuvas, Germano (2016) em sua pesquisa concluiu que eventos de chuvas extremas ocorridos em Recife-PE em fevereiro de 2011, Maceió-AL em Janeiro de 2012, e Aracajú-SE em novembro de 2013 estiveram associados aos VCANs, tornando-se um sistema que também traz grandes impactos no regime pluvial e causam prejuízos materiais e humanos.

O VCAN também pode interagir com outros sistemas indutores de chuvas, Alves et al. (2006) analisando as precipitações ocorridas em janeiro de 2004 em todos os estados do nordeste constatou que os principais sistemas sinóticos responsáveis pelas precipitações foram: três episódios de ZCAS, associados à presença de VCAN e a incursão da ZCIT para posições mais próximas à costa norte do NEB. O VCAN, portanto, potencializou as precipitações que fizeram aquele ser um dos janeiros mais chuvosos dos registros climatológicos do NEB. Também é observado que na maioria das vezes em que há registro de chuvas de granizo no NEB está associado a presença do VCAN.

4.2.3 Distúrbios Ondulatórios de Leste

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) são sistemas que atuam desde o norte do Rio Grande do Norte até a Bahia, no período de maio a agosto. Seu deslocamento é de leste para oeste até atingir o continente adentro. São comuns na maioria dos anos, só que sua intensidade depende da temperatura da superfície do Mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação de brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam esse tipo de sistema (ARAÚJO et al., 2008).

Os DOL provocam chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas, quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado (FERREIRA e MELLO, 2005).

Além de fatores dinâmicos, no estudo de caso realizado por Paiva Neto (2003) sobre os DOL que ocorreram em junho de 1995 no estado da Paraíba foi constatado que a Alta Subtropical do Atlântico Sul mais intensa do que a média associado a anomalia de TSM positivas podem ter contribuído para precipitações acima de média naquele mês, deixando os alísios mais intensos e conseqüentemente levando mais umidade para o NEB.

4.3 Ferramentas de análises de precipitação pluvial

4.3.1 Análises de Séries temporais

As séries temporais são um dos principais mecanismos utilizado para realizar análises de precipitação. O objetivo da análise de séries temporais consiste em identificar padrões na série temporal e, desta maneira, através do comportamento passado realizar previsões para, no futuro, dar apoio à tomada de decisões (PONTES et al., 2022).

Pinheiro et al. (2013) em sua pesquisa utilizou uma série de 50 anos ou mais para 18 localidades da região sul do Brasil, a fim de verificar se há tendências de aumento, diminuição ou estacionariedade ao longo dos anos, ciclos, degraus ou picos das precipitações pluviais.

Dourado et al. (2013) também utilizou séries temporais para verificar se há ou quais são as zonas pluviometricamente homogêneas no estado da Bahia entre 1981 e 2010, e Andrade et al. (2018), utilizou uma série de 33 anos de 6 microrregiões do agreste pernambucano para verificar a variabilidade espacial e os padrões da séries. É imprescindível que em análises de precipitação se tenha uma série confiável e organizada para resultados satisfatórios.

4.3.2 Testes aplicáveis a séries temporais

Os principais teste aplicáveis em análises de séries temporais mais utilizados são os de homogeneidade, principalmente através dos métodos de Mann Kendall (MK) e Pettitt, O teste de Mann-Kendall não paramétrico foi adotado na pesquisa de Pinheiro et al. (2013) para verificar se houve quebra na série, ou seja, é contado o número de vezes que os termos da série são maiores que o valor analisado em ordem sequencial, o teste demonstrou mudanças estatisticamente significativas, ao nível de 95%, em 16 das 18 estações pluviométricas analisadas.

Semelhante a Mann-Kendall, o teste de Pettitt busca localizar se ouve quebra da série, mas especifica o local mais aproximado onde ocorreu a mudança e conseqüentemente mostra se há tendências positivas ou negativas. O teste de Pettitt permite confirmar a estacionariedade da série histórica, ou seja, excetuando as flutuações aleatórias, as observações são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências (RODRIGUES et al., 2023).

Santos et al. (2023) utilizou os testes de Pettitt e Mann-Kendall para analisar o comportamento da estação chuvosa de Palmas, capital do estado de Tocantins, em escala diária e o resultado mostrou que a estação está se encurtando, iniciando mais tarde, finalizando mais cedo e apresentando um decréscimo no acumulado de diário. Portanto, os teste de homogeneidade são ideais para análises em escalas diferentes.

4.3.3 Clusterização

A clusterização, ou agrupamento é o mecanismo que permite verificar as regiões que são estatisticamente homogêneas, existindo dois tipos de classificação de grupos, o primeiro é o método hierárquico, em que a partição dos grupos se dá a partir de um mínimo de grupos não definidos inicialmente, o segundo são grupos majoritários divididos em sub-grupos minoritários agrupando aqueles indivíduos que apresentam características semelhantes (GUEDES et al., 2012).

O método de Ward se destaca, sendo um dos mais utilizados para o agrupamento, especialmente com a variável precipitação. O método de Ward tem por objetivo minimizar o quadrado da distância euclidiana às médias do conglomerado, sendo a distância euclidiana a soma dos quadrados das diferenças de valores para cada variável (FECHINE et al., 2008).

O Índice local de Moran também é um caminho utilizado para estimar o nível de autocorrelação espacial entre áreas, o I de Moran calcula a autocorrelação espacial global de cada variável (ARAÚJO et al., 2014).

4.3.4 Eventos extremos de precipitação pluvial

Dentre as formas de se analisar os eventos extremos, muitas pesquisas pelo mundo buscam selecionar os valores da máxima precipitação acumulada diária, avaliação de imagens de satélite e reanálise de eventos através de modelos ou programas.

No Brasil, diversos estudos são realizados sobre eventos extremos de precipitação. Na cidade de Juiz de Fora- MG, Oliveira et al. (2019) aplicou a técnica de identificação dos extremos do percentil 99, a partir dos dados diários de precipitação, servindo como base para a identificação dos eventos ao longo da série, os resultados demonstraram uma leve diminuição de eventos extremos.

Com os mesmos objetivos de estudar os casos de eventos extremos em Jaboatão dos Guararapes-PE, Aragão e Duarte (2023) utilizaram a aplicação da técnica dos Quantis e aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Para Recife-PE, Silva et al. (2021) aplicaram o teste de Mann-Kendall (Mann,1945; Kendall,1975) para identificar uma tendência pluviométrica da série histórica.

Silva et al. (2020) utilizou a Teoria do Valor Extremo (TVE), que é o ramo da probabilidade estocástica que estuda o comportamento de extremos associados a uma função de distribuição F normalmente desconhecida para relacionar a erosividade do solo com a ocorrência das precipitações. Desta forma os métodos utilizados no Brasil e no mundo são múltiplos em análises de eventos extremos de precipitação pluvial.

5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi elaborada em forma de capítulos da seguinte ordem: O **Capítulo 1** apresenta a introdução, justificativa, revisão de literatura e objetivos. O **Capítulo 2** apresenta uma determinação de áreas homogêneas na precipitação pluvial no estado da Paraíba caracterizadas em 7 Grupos homogêneos, a dependência espacial e a aplicação de testes de tendências (Pettitt e Mann-Kendall) em cada um dos Grupos mediante dados mensais e anuais extraídos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) de 124 municípios entre os anos de 1994 a 2022. O **Capítulo 3** analisa as características dos eventos extremos de precipitação em 7 localidades diferentes do estado da Paraíba e o **Capítulo 4** apresenta-se as considerações finais dos resultados e como podem contribuir para a gestão da água como recurso natural.



Figura 1. Fluxograma da dissertação.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A. Climatologia aplicada à geografia. Livro eletrônico, Campina Grande: **EDUEPB**, 2016, 317p.
- ALMEIDA, H. A.; PÔRTO, J. C. G. OSCILAÇÕES TEMPORAIS NO REGIME PLUVIAL NO CURIMATÁU PARAIBANO: VARIABILIDADE, EXTREMO OU MUDANÇA CLIMÁTICA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.l.], v. 11, n. 5, p. 262-270, dec. 2021. ISSN 2237-2202. Available at: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/252156>>. Date accessed: 12 apr. 2023. doi:<https://doi.org/10.29150/2237-2202.2021.252156>.
- ALMEIDA, H. A.; BEZERRA JÚNIOR, Jório. Variabilidades Sazonais e Interdecadais da Chuva nas Microrregiões Geográficas do Estado da Paraíba (Seasonal Variability and Inter Decadal of the Rainfall in the Micro Regions of the State of Paraíba). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 7, n. 5, p. 846-858, jan. 2015. ISSN 1984-2295.
- ALVES, J. M. B et al. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004. 2006.
- ANDRADE, A. R. S, NETO, A. H. G., CRUZ, A. F. S, ANDRADE, E. K.P, SANTOS, V. F., & SILVA, T. N.P. (2018). Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 3(1), 126–145. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126-145>
- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática. **Material didático de uso na disciplina LCE**, v. 30, 2010.
- ARAÚJO, E. C. de; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná. *Engenharia Agrícola*, v. 34, p. 286-299, 2014.
- ARAÚJO, J. M. S; MAIA, A. G; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. 2015.
- ARAÚJO, L. E; SOUSA, F. A. S; RIBEIRO, M. A. F. M; SANTOS, A, S; MEDEIOS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 162-169, 2008.
- AYADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 12 ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007.

- AVEN, T; RENN, O. An evaluation of the treatment of risk and uncertainties in the IPCC reports on climate change. **Risk Analysis**, v. 35, n. 4, p. 701-712, 2015.
- BARRETO, A. B; MEDEIROS, B. C. Investigação da variabilidade da precipitação em João Pessoa e os eventos extremos de chuva. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013.
- BRITO, C. S; et al. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. **Atmospheric Research**, v. 250, p. 105380, 2021.
- CÂNDIDO, L. A et al. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 44-47, 2007.
- COELHO, M. S; GAN, M. A.; CONFORTE, J. C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34, 2004.
- CORREIA, M. F. et al. Mudanças na Estrutura Termodinâmica da Atmosfera na Presença de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis: Um Episódio de Precipitação Extrema no Semiárido Brasileiro (Changes in the Atmospheric Thermodynamic Structure in the Presence of Upper Level...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 877-889, nov. 2012. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/232865>>. Acesso em: 13 abr. 2023. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i4.232865>.
- CUNHA, A.P.M.A et al. Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, v. 19, n. 10, p. e855, 2018.
- DOURADO, C. S; OLIVEIRA, S. R. M; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Bragantia**, v. 72, p. 192-198, 2013.
- ESPINOZA, N.S, SANTOS, C. A. C; SILVA, M. T; GOMES, H. B, FERREIRA, R.R; SILVA, M. L; SANTOS, S. C. M; OLIVEIRA, C.P; MEDEIROS, J; GIOVANNETTONE, J; AMARO, V.E; SANTOS, C.A.G; MISHRA, M. Landslides Triggered by the May 2017 Extreme Rainfall Event in the East Coast Northeast of Brazil. *Atmosphere*. 2021; 12(10):1261. <https://doi.org/10.3390/atmos12101261>
- FECHINE, J. A. L; GALVÍNCIO, J. D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do Rio Brigida-PE, através da multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 39-46, 2008.

- FERREIRA, R. R; SOUZA, E. P. Aspectos termodinâmicos de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre a região nordeste do Brasil: um Estudo de Caso. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 504-513, 2019.
- FERREIRA, A. G; SILVA, M. N. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.
- FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia–período 1981-2011. **Revista Geografias**, p. 44-58, 2015.
- FREIRE, J. L. M; LIMA, J. R. A; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 429-444, 2011.
- GERMANO, A. S; AMORIM, R. F. C; DELGADO; J. R; SANTOS, J. B. Aspectos sinóticos de vórtices ciclônicos em altos níveis que provocaram precipitações externas nas cidades de Recife, Maceió e Aracaju no período de 2011 à 2015: estudo de casos. 2016.
- GUEDES, R. V. S; MACEDO, M. J. H; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 23, p. 55-65, 2012.
- MARENGO, J. A; ALVES, L. M; BESERRA, E. A; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, 2011.
- MEDEIROS, E. A. Variabilidade espaço-temporal da chuva na cidade de Campina Grande, PB. 2018. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.
- MENDES, M. C. D; MENDES, D. INDICADORES DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA: MAPEAMENTOS DE RISCO EM ÁREA DE ENCOSTA E EM ESTADO DE DESERTIFICAÇÃO. 2023. https://www.researchgate.net/profile/Monica-Mendes-4/publication/369693189_projeto_risco_2023/links/64283d1666f8522c38ed2cad/projet-o-risco-2023.pdf
- MELO, A. B. C. et al. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2000. p. 1142-1145.
- MOLION, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2007.

- NASCIMENTO, M. B; ALMEIDA, N. V; ARAUJO, L. E. Análise da variabilidade da precipitação pluviométrica na microrregião de Umbuzeiro, Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.
- NÓBREGA, J. N. da et al. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 197-208, 2014.
- OLIVERA, J. V. P; LUCENA, D. B; LIMA, P. R. C. Avaliação dos eventos extremos de chuva na região pluviometricamente homogênea do Alto Sertão da Paraíba entre 1994-2016. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e102-e102, 2020.
- OLIVEIRA, T. A. et al. Eventos Extremos no Município de Juiz de Fora: Análise das características e da espacialidade do evento de 12/11/2016. XIII Encontro nacional de pós-graduação e pesquisa em geografia, 2019.
- PAIVA, A. C. Distúrbios de leste: diagnóstico e relação com a precipitação no Estado da Paraíba em períodos de contraste. 2003. 127f. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2003. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/8493>
- PEREIRA, M. D. B. Eventos pluviométricos extremos na cidade de João Pessoa: análise dos eventos dos dias 16 e 17 de Abril de 2016. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 575-584, 2016.
- PINHEIRO, A; GRACIANO, R. L. G; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 281-290, 2013.
- PONTES, M S; ESMERALDO, G. Á R. M; OLIVEIRA, C. C. F. Construção de um sistema na web para análise de séries temporais. Anais do IV WCEA, p. 16.
- RIND, D.; GOLDBERG, R.; RUEDY, R. Change in climate variability in the 21st century. **Climatic change**, v. 14, n. 1, p. 5-37, 1989.
- RODRIGUES, A, C; SILVA, L.L; ROCHA, M.C; DIAS, T.B; ARAÚJO, A. S; LOURENZO G. E. Avaliação da variabilidade da precipitação pluviométrica na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas, sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, p. 98-123, 2023.
- ROSA, M. B; SILVA, L. T. Alguns Aspectos Climatológicos da ZCIT sobre o Atlântico. **Climanálise Edição comemorativa de**, v. 30.

- SANTORO, F. P. Análise de variabilidade da Zona de Convergência Intertropical através de dados de satélites. 2022. 38 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar) - Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2022.
- SANTOS, V. C; SILVA, R. A; MACIEL, G.F. Avaliação de tendência do início, fim, duração e total de precipitação da estação chuvosa de Palmas-TO. **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 1, 2023.
- SALGUEIRO, João HPB; MONTENEGRO, Suzana MGL. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 2, 2008.
- SILVA, B.K.N; SILVA, M.T; BARBOSA, E; SILVA, F.D.S; JÚNIOR, R. L.R; SERRÃO, E.A.O; SILVA, V.P.R; SILVA, C.M.S. Avaliação de Extremos de Erosividade pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, p. 871-879. 2020.
- SILVA, M.T; ALCÂNTARA, C. R, SOUZA. E. P; OLINDA, R. A; GONÇALVES, W. A. Influência da Temperatura da Superfície do Mar na Ocorrência de Linhas de Instabilidade na Costa Norte e Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia** [Internet]. 2017Apr;32(Rev. bras. meteorol., 2017 32(2)):260–8. Available from: <https://doi.org/10.1590/0102-77863220003>
- SILVA, M. L. A; DUARTE, C. C. Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 818-836, abr. 2023. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254963>>. Acesso em: 25 abr. 2023. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p818-836>.
- SILVA, E. A et al. CLIMATE AND ANALYSIS OF THE EXTREME PRECIPITATION TRENDS IN RECIFE-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 317-327. 2021.
- SUN, Y et al. How often will it rain?. **Journal of Climate**, v. 20, n. 19, p. 4801-4818, 2007.
- SCOFIELD, R. A; KULIGOWSKI, R. J. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. **Weather and forecasting**, v. 18, n. 6, p. 1037-1051, 2003.
- TAVARES, C. M. G; FERREIRA, C. C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petropolis-RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

- TORRES, F. T.; MACHADO, P. J. O. **Introdução a climatologia**. São Paulo. Cengage Learning, 2011.
- VICENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M. MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNIL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA J.; SOARES, J. L.; BAEL, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in índices of daily temperature extremes in South American 1960-2000. **Jornal of climate**, 18: 5011-5023; 2005.
- WANDERLEY, L, S. A et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA PARAÍBA E SUAS TENDÊNCIAS

RESUMO: A precipitação pluvial é o elemento essencial para a vida, atividades sociais e desenvolvimento dos municípios paraibanos, especialmente os do semiárido. Uma das características da estação chuvosa nas localidades da Paraíba é a elevada irregularidade e frequências de local para local, se fazendo necessários pesquisas que indiquem às áreas do estado que possuem semelhanças em meio a uma distribuição irregular. O capítulo tem objetivo de identificar e caracterizar áreas homogêneas de precipitação no estado da Paraíba e suas tendências, contribuindo com a difusão do conhecimento e planejamento dos recursos hídricos no tocante as precipitações. Para a realização da pesquisa utilizou-se 124 postos pluviômetros distribuídos por todas as localidades do estado com série de dados iniciados em janeiro de 1994 até dezembro 2022. Os dados foram submetidos a equação do Índice Local de Moran e ao método de Ward localizando 7 Grupos homogêneos com dependência espacial. Os Grupos foram submetidos a testes de homogeneidade através do método de Mann-Kendall e Pettitt indicando discrepantes variabilidades interanuais, entretanto a hipótese nula é aceita.

Palavras-chave: Variabilidade interanual; climatologia; recursos hídricos.

CHARACTERIZATION OF HOMOGENEOUS AREAS OF RAINFALL IN PARAÍBA AND ITS TRENDS

ABSTRACT: Rainfall is an essential element for life, social activities and development in municipalities in Paraíba, especially those in the semi-arid region. One of the characteristics of the rainy season in the localities of Paraíba is the high irregularity and frequency from place to place, making research necessary to indicate the areas of the state that have similarities amid an irregular distribution. The chapter aims to identify and characterize homogeneous areas of precipitation in the state of Paraíba and their trends, contributing to the dissemination of knowledge and planning of water resources regarding precipitation. To carry out the research, 124 rain gauge stations were used distributed throughout all locations in the state with a data series starting in January 1994 until December 2022. The data was submitted to the Moran Local Index equation and Ward's method, locating 7 Groups homogeneous with spatial dependence. The Groups were subjected to homogeneity tests using the Mann-Kendall and Pettitt method, indicating discrepant interannual variability, however the null hypothesis is accepted.

Keywords: Interannual variability; climatology; water resources.

1. INTRODUÇÃO

O estado da Paraíba apresenta uma grande variabilidade natural caracterizado por uma pré-disposição do ambiente frente a fatores naturais como clima, geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação (MACIEL, 2021). O estado da Paraíba encontra-se na delimitação do polígono das secas por apresentar regime de chuva bastante irregular (SOUZA, 2022). Devido esse fator, as características do clima e especialmente a distribuição da precipitação na Paraíba varia substancialmente de localidade para localidade.

A compreensão da distribuição e quantidades médias das precipitações é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de recursos hídricos que não coloquem em risco a disponibilidade hídrica que é vital para garantir um gerenciamento sustentável, pois a água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida (ATAIDE, 2022), e se tratando de semiárido a precipitação é uma variável determinante das condições do clima semiárido brasileiro, bem como da sua variabilidade e mudança a longo prazo (SANTOS, 2009).

Além desses fatores, o estudo da distribuição das variáveis climáticas são um meio de compreender fenômenos meteorológicos que determinam padrões de ocorrência de chuvas, permitindo uma previsibilidade do comportamento climático de uma região, especialmente a precipitação, que se torna ferramenta para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas (BARRETO, 2012).

Amorim et al. (2020) em sua pesquisa buscou verificar as áreas homogêneas de precipitação no estado do Rio Grande do Norte com a intenção de servir de subsídio no gerenciamento dos recursos hídricos. Portanto é essencial para áreas de grandes irregularidades, semelhante a Araújo et al. (2015) que realizou o agrupamento com objetivos de contribuir nas atividades econômicas sobretudo da atividade agrícola.

Ciente da importância das chuvas para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos mediante a necessidade que tem a área de estudo, este capítulo visa caracterizar as áreas com precipitações homogêneas no estado da Paraíba, verificando as maiores variabilidades e suas tendências por cada área homogênea.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Paraíba está localizada no Nordeste Brasileiro, possui uma área aproximada de 56.372km² grande diversidade climática faunística, estando posicionada entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18" S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Limita-se entre o estado do Rio Grande do Norte, ao norte do estado, de Pernambuco, ao sul, e do Ceará ao oeste (Figura 1).

A Paraíba possui 223 municípios e uma população de 3.974.495 habitantes segundo o censo do IBGE 2022 distribuídas entre as mesorregiões, Zona da Mata, Agreste, Borborema e Sertão, João Pessoa é a capital. Os municípios de João Pessoa (Zona da Mata), Campina Grande (Agreste), Santa Rita (Zona da Mata), e Patos (Sertão), são os municípios com maior número de habitantes respectivamente.

Na Paraíba, grande parte de seu território está dentro do polígono das secas do Brasil, onde a irregularidade das chuvas e as temperaturas relativamente elevadas são características climáticas que afetam partes de oito estados do nordeste, além de partes de Minas Gerais (RAMALHO, 2013).

2.2 Banco de dados

Para a determinação das áreas homogêneas da precipitação no estado da Paraíba, foram utilizados dados dos acumulados anuais de 124 postos pluviométricos em 124 localidades distribuídos por toda extensão territorial do estado (Figura 1). A série de dados utilizados compreende ao período de janeiro de 1994 até dezembro de 2022, cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A).

Dentre as distribuições dos postos pluviométricos, 7 estão na Mata paraibana, 35 no Agreste, 31 na Borborema e 51 no sertão (Figura 1).

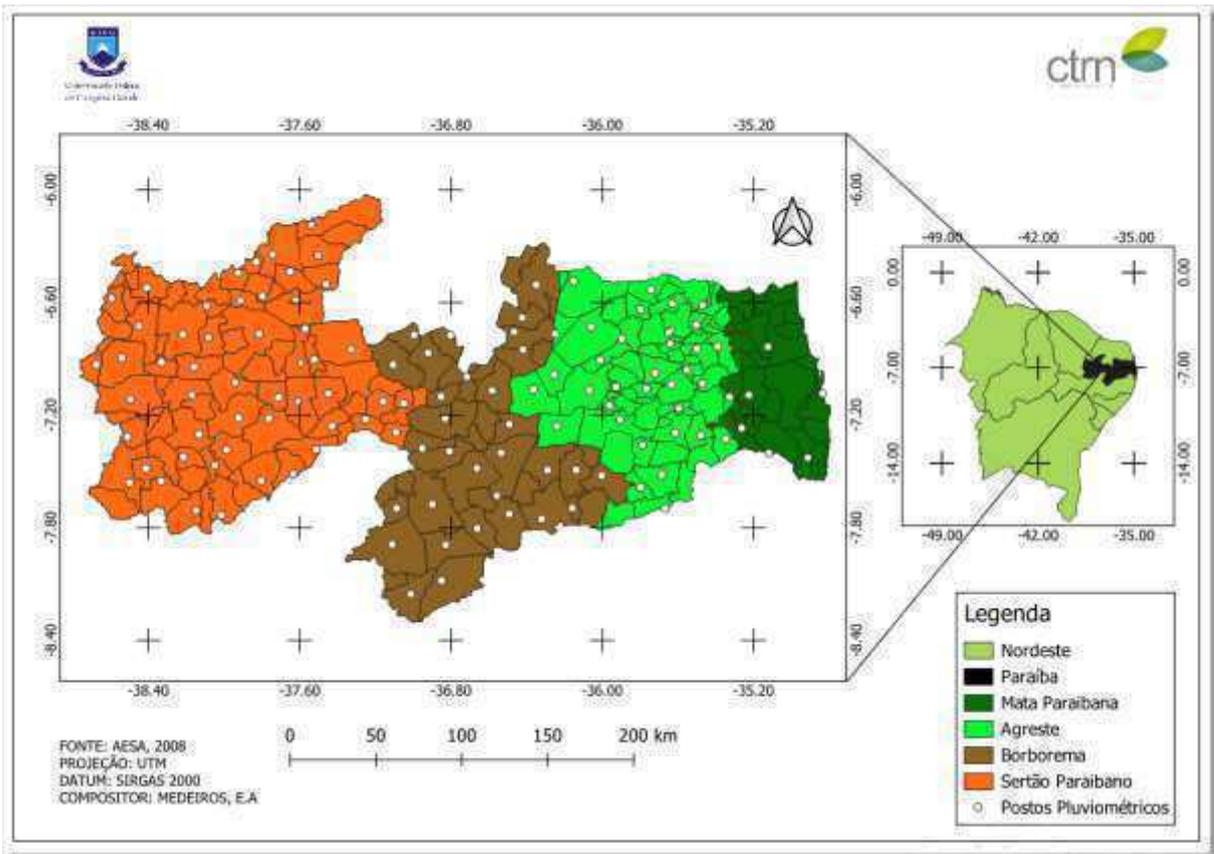


Figura 1. Localização do estado da Paraíba, mesorregiões e postos pluviométricos.

2.3 Métodos

2.3.1 Índice Global de Moran

Para realização da dependência espacial da precipitação foi-se aplicado o teste do Índice global de Moran (I Moran) estimados pela equação: (1)

$$(1) \quad I = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

em que n é o número de observações; w_{ij} é o elemento na matriz de vizinhança para o par i e j ; W é a soma dos pesos da matriz; y_i e y_j são desvios da média; \bar{y} é a média.

Esse índice mede a autocorrelação espacial com base no produto dos desvios da média, é uma medida global de autocorrelação espacial, pois indica o grau de associação espacial presente em um dado conjunto de dados. Os valores do índice variam de -1 a 1. O valor é zero (0); indica ausência de dependência espacial; valores positivos (entre 0 e +1) indicam a existência de correlação direta, ou seja, associação perfeita com dependência espacial; e valores negativos (entre 0 e -1) indicam correlação inversa, ou seja, dispersão perfeita.

2.3.2 Método de Ward

Procurou-se agrupar os acessos por meio do Método de Ward (WARD, 1963) que constitui um método de agrupamento de dados que forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Isto equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. No método de Ward, os grupos de dados são formados em etapas. No princípio, têm-se n grupos, ou seja, um grupo para cada vetor componente da base de dados. Neste estágio inicial o erro interno é nulo para todos os grupos, pois cada vetor que compõe cada grupo é o próprio vetor médio do grupo. Igualmente o desvio padrão para cada grupo é nulo. Na etapa subsequente, cada possibilidade de aglutinação entre os grupos 2 a 2 é verificada, e é escolhido o agrupamento que causa o menor aumento no erro interno do grupo. São $m \times m$ verificações, e a cada iteração tem-se $m - i$ grupos (i = número de interações).

O método de Ward é expresso na equação (2):

$$SQDT = \frac{1}{g} \sum_{i < j}^g \sum_i^g d_{ij}^2$$

2.4 Análise de séries temporais

2.4.1 Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK), é um teste não-paramétrico utilizado para avaliar tendências em séries temporais (Yue et al., 2002). Esse teste foi desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975), pode ser obtido através das Equações: (3)-(4):

(3)

$$s = \sum_{t=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

em que: o sinal $(x_j - x_i)$ é obtido pela a Equação. (4):

(4)

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que a estatística S é normalmente distribuída com média e variância dadas pelas Equações. (5)-(6), respectivamente:

(5)

$$E[S] = 0$$

$$(6)$$

$$Var [S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n ti(ti-1)(2ti+5)}{18}$$

O valor da estatística Z é dado pela Equação (7):

$$Zmk \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var[S]}} & \text{if } S > 0 \end{cases}$$

A hipótese nula de ausência de tendência (H_0), é rejeitada sempre que $|Z| > Z\alpha/2$, em que α é o nível de significância adotado e $Z\alpha/2$ é o valor crítico de Z a partir da tabela padrão normal. Para o nível de significância de 5% o valor de $Z\alpha/2$ é 1,96. Os valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

2.4.2 Pettitt

O teste estatístico não-paramétrico de Pettitt realiza a verificação de duas amostras x_1, x_2, \dots, x_t e $x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_T$, provenientes de populações iguais. Esta metodologia é capaz de localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média da série temporal, além de fornecer informações acerca da homogeneidade dos dados da série analisada (PETTITT, 1979).

O termo estatístico $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita através da equação (1):

$$(8)$$

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j) \quad ; \text{ Para } t = 2, \dots, T$$

em que: $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 \leq t \leq T$ e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma quebra da série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela Equação. (9):

$$(9)$$

$$P \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6k(t^2)}{T^3 + T^2} \right\}$$

em que: p é o nível de significância, K_T é o valor crítico e T é o número de anos da série histórica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de possíveis regiões homogêneas de precipitação pluvial

Aplicado o Índice Local de Moran e o método de Ward, os resultados indicaram grupos hierárquicos que foram subdivididos em 7 Grupos homogêneos, o Grupo 1 engloba áreas do Agreste e parte oeste da Borborema com 22 postos, o Grupo 2 abrange a maioria do Sertão paraibano com 43 postos, o Grupo 3 engloba boa parte do Agreste com 14 postos, o Grupo 4 engloba toda porção centro leste da Borborema com 28 postos, o Grupo 5 abrange áreas da Mata paraibana e Agreste com 7 postos, o Grupo 6 engloba a parte centro oeste do Sertão com 8 postos e o Grupo 7 se restringe ao leste da Mata paraibana com 2 postos (Figura 3).

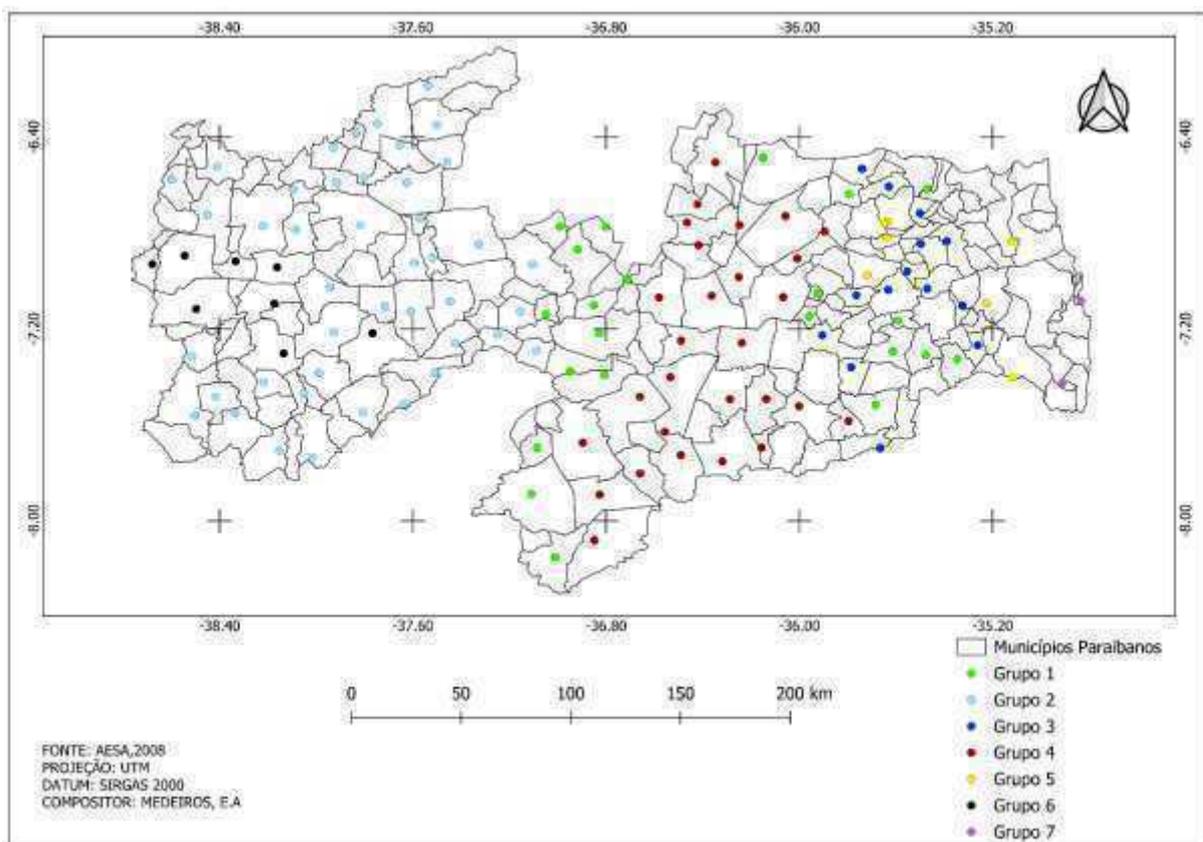


Figura 2. Possíveis Grupos homogêneos de precipitação pluvial anual no estado da Paraíba.

O Grupo 1 é peculiar devido seus postos se localizarem em mesorregiões diferentes (Agreste e oeste da Borborema) tornando-se áreas de transições entre os Grupos 2,3,4 e 5. Apesar das médias dos postos do grupo 1 serem semelhantes, Medeiros, Francisco, Matos, Santos e Saboya (2015) identificaram que no Agreste o período de chuvas inicia-se em março estendendo-se até junho, semelhante à Zona da Mata que se inicia em abril e segue até julho

tendo como principal sistema atuante no período os DOL. Xavier (2016) ao realizar a análise espacial da chuva na bacia do rio Taperoá, localizada na mesorregião da Borborema, concluiu que a estação chuvosa concentra-se no trimestre fevereiro-março-abril com mais de 60% da chuva anual, o trimestre chuvoso da Borborema é caracterizado pelo período de atuação do VCAN e da ZCIT divergindo do período chuvoso do Agreste. Conclui-se que as estações do Grupo 1 são áreas homogêneas com acumulados anuais semelhantes, porém com estação chuvosa em trimestres diferentes.

O Grupo 2 é o maior Grupo com dependência espacial e abrange uma grande parte do sertão paraibano, região que inclui os maiores açudes do estado. O complexo Coremas-Mãe D'água são 2 açudes que juntos beneficiam 112 municípios, tem importância estratégica para o desenvolvimento do estado, pois é um manancial vital para inúmeras atividades socioeconômicas realizadas ao longo do seu curso (MOURA, 2007). Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água foram construídos com proximidade suficiente para formar um lago único, com superfície líquida máxima de $115,6 \times 10^6 \text{ m}^2$ juntos somam uma capacidade máxima de acumulação de 1,358 bilhões de metros cúbicos formando a maior reserva hídrica do Estado da Paraíba (RODRIGUES, 2009) recebendo água das chuvas de vários municípios do Grupo 2.

A grande dependência espacial do Grupo 2 também foi encontrada por Gomes (2014) quando em sua pesquisa utilizando a modelagem estocástica da variação espacial da precipitação na Paraíba verificou que há uma maior dependência espacial em direção à mesorregião do sertão paraibano no período de outubro a abril, e o fator que pode explicar essa dependência é a atuação dos sistemas meteorológicos que ocasiona o mesmo regime de precipitações influenciados pelos mesmos sistemas ZCIT e VCAN, e dentre eles principalmente a ZCIT (ARAÚJO et al., 2017).

O Grupo 3 abrange boa parte do Agreste incluindo o município de Campina Grande, a diferença do Grupo 3 para os Grupos 1 e 5 que também possui estações no Agreste, se dá exclusivamente pelas diferenças das médias anuais (Figura 2). Silva (2021) em sua análise da variabilidade sobre a microrregião de Campina Grande, constatou que o período chuvoso segue de março a agosto, tendo junho como o mês mais significativo, condizendo com o período de atuação dos DOL, desta forma pode-se constatar que o sistema meteorológico é o mesmo atuante no Grupo 5 e nas estações do Agreste do Grupo 1, é possível observar que o Grupo 3 possui médias um pouco acima dos 800mm, sendo médias superiores às do Grupo 1 e inferiores às do Grupo 5 (Figura 4).

O Grupo 4 possui a maioria das estações na delimitação sul da mesorregião da Borborema até a divisa com Pernambuco, abrange grande parte da microrregião do Curimataú,

Cariri ocidental e oriental, incluindo municípios importantes para a afluência de águas das chuvas nos rios que desembocam no açude Epitácio Pessoa, é uma região alvo de muitas pesquisas, este grupo possui a média mais baixa entre todos os grupos (Figura 2). As médias baixas do Grupo 4 são confirmadas na pesquisa realizada por Almeida e Farias (2015) que investigaram as potencialidades de captação de águas de chuvas nas áreas mais secas da Paraíba, os autores constataram que os maiores volumes potenciais de captação de água de chuva nas condições da pesquisa estão no município de Nova Palmeira, e os menores estão no município de Algodão de Jandaíra e no perímetro onde se encontra o município de Cabaceiras.

Nascimento e Alves (2008) em suas pesquisas sobre a ecoclimatologia do Cariri paraibano chegaram à conclusão que o Cariri encontra-se localizado no fim do percurso dos fluxos úmidos vindos do litoral que se direcionam para o semiárido nordestino e em situação de sotavento, além disso, a região do Cariri Ocidental apresentou-se numa escala global, de forma privilegiada em relação ao Cariri Oriental, com regime de precipitação pluvial bem maior. Os resultados de Nascimento e Alves podem possivelmente explicar uma das causas da diferença entre o Grupo 1 e 4.

O Grupo 5 localizou-se em áreas úmidas entre o Agreste e a Mata paraibana, especialmente a microrregião do Brejo Paraibano, Chagas Neto (2016) ao analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação na microrregião do brejo paraibano constatou que o período úmido do Brejo vai de fevereiro a agosto, com o mês de junho sendo o mais representativo, portanto possui uma estação chuvosa com uma duração de 7 meses. Chagas Neto também identificou que a climatologia espacial identifica uma melhor distribuição da chuva na microrregião do Brejo na região Oeste/Noroeste, resultados semelhantes onde estão localizadas todas as estações do Grupo 5 na porção do Agreste paraibano.

O Grupo 6 é uma porção menor dentro da mesorregião do sertão, possivelmente a diferença desse grupo para o Grupo 2 está apenas nos valores médios das precipitações, que são mais altas em relação as localidades vizinhas, conforme apontou Oliveira (2020), ao analisar os eventos de chuvas em áreas homogêneas do Alto Sertão da Paraíba, é destacado os municípios de São José de Piranhas, Aguiar, Itaporanga, Sousa e Cajazeiras como sendo os mais chuvosos, desses apontados, apenas Sousa não está inserido no Grupo 6.

O Grupo 7 é extremamente úmido, abrange os municípios de João Pessoa e Alhandra com média superando os 1800 mm anuais de chuva, devido esse fato, é uma área com facilidade para ocorrências de eventos extremos de precipitação pluvial em 24 horas. Medeiros (2018) verificou em sua pesquisa que de 1961 até 2017 apenas em 3 anos não houve registros de

eventos extremos acima de 60mm/dia na cidade de João Pessoa, o que demonstra que tais eventos possuem uma certa normalidade de ocorrência para o Grupo 7.

Quando analisados as médias gerais anuais de cada grupo, observa-se que o Grupo 7 é o mais chuvoso, enquanto o grupo 4 possui os valores mais baixos (Figura 3).

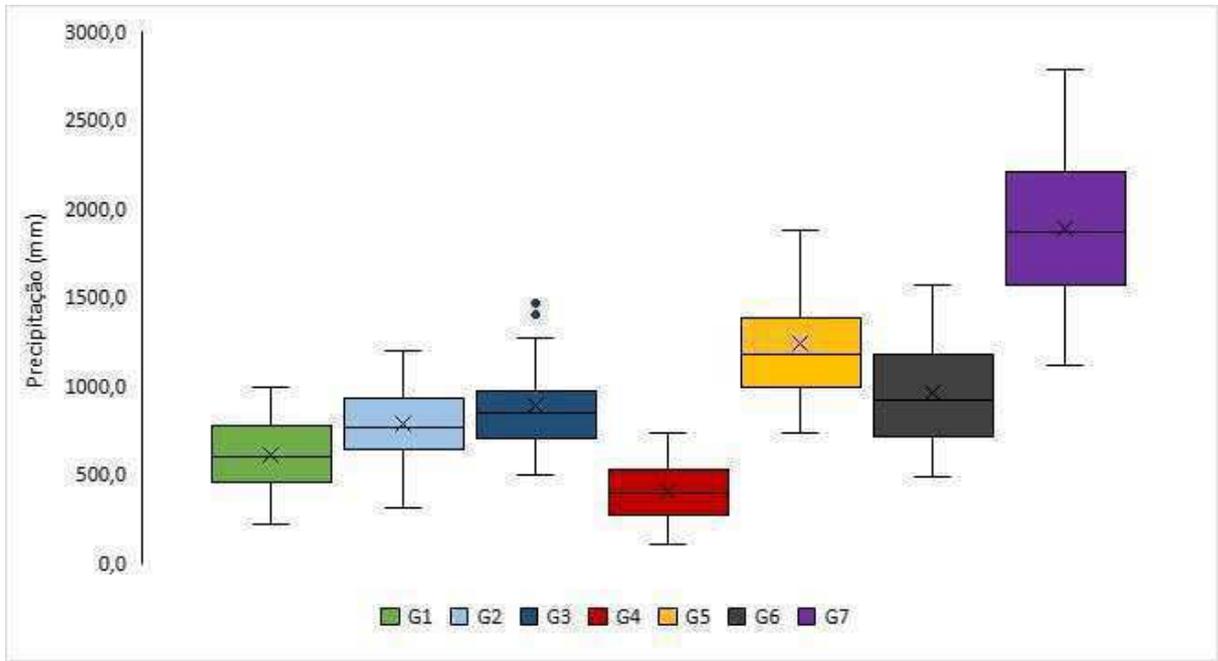


Figura 3. Médias, medianas e outliers dos acumulados anuais de precipitação para os 7 Grupos homogêneos (em que o primeiro quartil representa do menor valor a 25% < 1º Q, o segundo quartil representa a linha da mediana, o X representa a média, o terceiro quartil representa de 25% > 3º Q até o valor maior, os outliers representam pontos fora da curva). Fonte: Autor da pesquisa.

As médias dos Grupos confirmam a elevada irregularidade na distribuição das precipitações médias anuais no estado da Paraíba. Souza (2022) e Santos (2009) constataram em suas pesquisas, observa-se que em uma distância de aproximadamente 200km entre os Grupos 7 e 4 à uma diferença de aproximadamente 1400 mm de variação em média.

3.2 Análise de séries temporais de precipitação pluvial

Os resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall apontam que apesar do experimento ter sido realizado com 7 grupos diferentes e cada um deles ter suas próprias variações e peculiaridades, nenhum deles apresentaram tendências. O teste aplicado com um

nível de significância de 95%, mostra que a hipótese nula é aceita para todos os 7 grupos homogêneos (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados do teste de Mann-Kendall para os 7 Grupos homogêneos.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
Kendall's tau	0,02463	0,03941	-0,09360	-0,07389	-0,04433	-0,07389	0,01478
S	10	16	-38	-30	-18	-30	6
Var(S)	2842	2842	2842	2842	2842	2842	2842
p-value	0,866	0,778	0,488	0,586	0,750	0,586	0,925
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Fonte: Autor da pesquisa (2023).

Os resultados corroboram com os que foram encontrados por Amorin et al. (2020) que fez uma aplicação semelhante com teste de Mann-Kendall para o estado do Rio Grande do Norte (estado vizinho a Paraíba que contém semelhanças climáticas) em 3 áreas homogêneas, e apenas à área do litoral do estado apresentou tendência positiva, ou seja, toda parte da porção semiárida não teve valores estatisticamente significativos, semelhantes a toda porção semiárida paraibana verificada na tabela 1.

Resultados Semelhantes também aos dados encontrados na tabela 1, Santana (2019) ao aplicar o teste de Mann-Kendall para 4 municípios do cariri cearense com um banco de dados de 100 anos de precipitação pluvial, verificou que em nenhuma das cidades houve mudanças significativas, ou seja, a hipótese nula foi aceita.

Embora os resultados mostrem que a hipótese nula predomina, é possível observar que o Grupo 3 está no limite de obter uma tendência negativa (decréscimo da média), algo que não aconteceu possivelmente devido ao ano de 2022 ser chuvoso. Em contrapartida, o Grupo 2 foi o que mais se aproximou de obter uma tendência positiva (acréscimo na média).

A aplicação do teste de Pettitt mostrou semelhanças ao teste de Mann-Kendall que também demonstra que não há tendências significativas, nem tão pouco quebra na média para os 7 grupos, entretanto existe uma grande variabilidade interanual em todos os grupos (Figura 4).

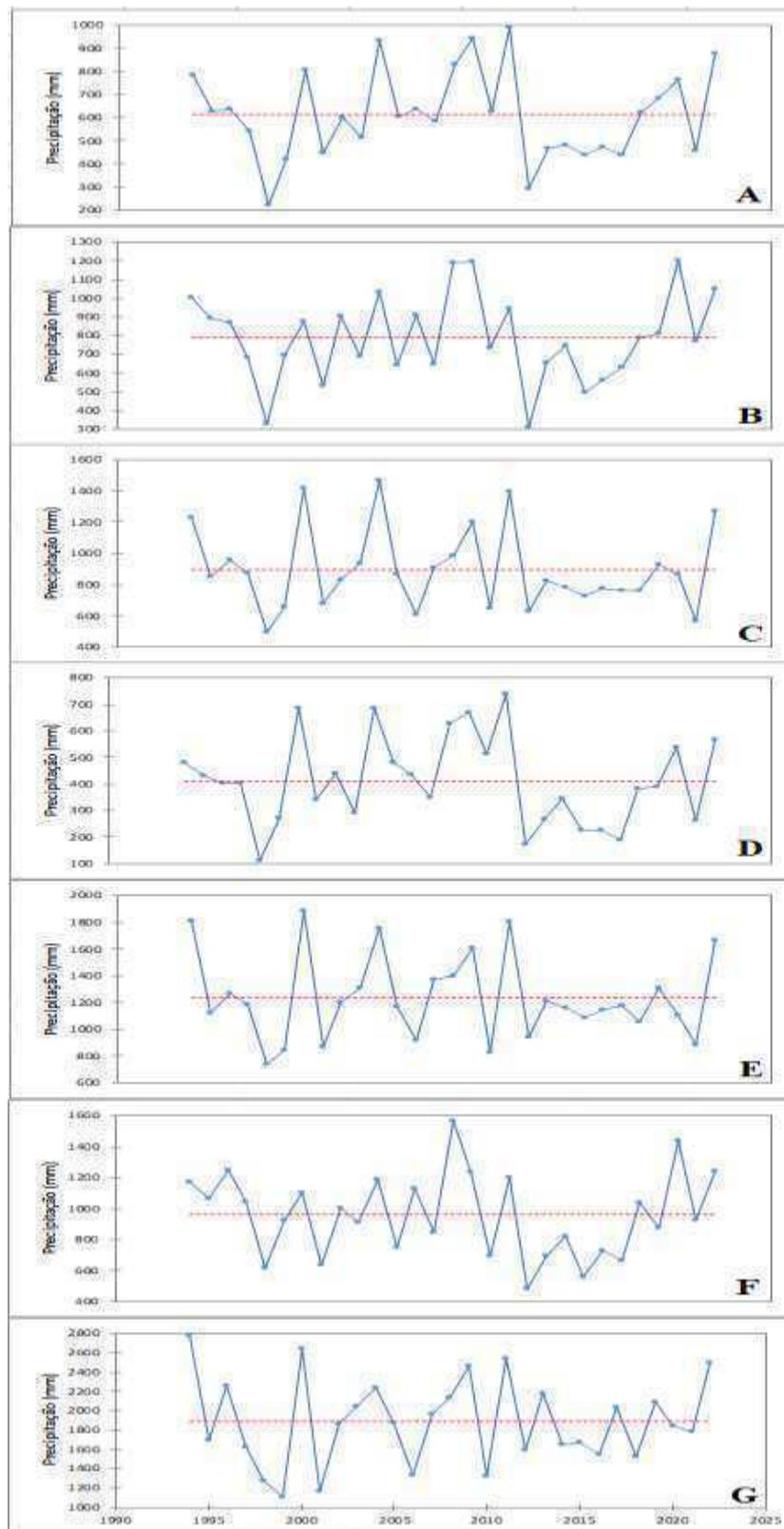


Figura 5. Análises de séries temporais com aplicação do teste de homogeneidade pelo método de Pettitt e médias (linhas vermelhas) para os Grupos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E), 6 (F) e 7 (G).

Os resultados do teste de Pettitt e Mann-Kendall são semelhantes aos encontrados por Costa, Becker e Brito (2013) que analisaram as séries temporais da precipitação em 4 municípios paraibanos de duas mesorregiões, foi possível observar um ligeiro aumento, mas nada que ainda fosse estatisticamente significativo.

Observa-se também que no período de 2012 a 2017, todos os Grupos ficaram abaixo da média, possivelmente reflexo da longa estiagem constatada por Espinoza et al. (2021) quando ele classifica como uma das mais longas que já ocorreu, nesse período também foi constatado por Santana (2020) uma queda de produtividade na grande maioria dos cultivos característicos de práticas agrícolas familiares na Paraíba e nos demais estados nordestinos.

Oposto ao período mais seco, nos anos de 2008 e 2009 observaram-se precipitações acima da média para todos os grupos, reflexo de condições oceânicas e atmosféricas favoráveis constatadas no relatório do INPE-CPTEC elaborado por Alves, Coelho, Melo e Pesquero (2010) relatam que a partir de janeiro de 2009 houve a formação do dipolo negativo do atlântico que persistiu até junho, favorecendo a atividade convectiva associadas a ZCIT, como resultado verificou-se o excesso de chuvas sobre o norte das Regiões Norte e Nordeste do Brasil principalmente nos meses de abril e maio.

3.2.1 Variabilidades interanuais

A variabilidade interanual no Grupo 1 é acentuada, sendo a maior registrada entre 2011 e 2012, choveu 61,8% acima do esperado em 2011, enquanto 2012 choveu apenas 47,7% do esperado para o grupo, causando uma variação de 114,0% de um ano para outro. Entretanto o ano mais seco ocorreu em 1998 quando choveu apenas 36,1% da média, e o mais chuvoso ocorreu no ano 2011 gerando uma variação entre ambos de 125,7%.

A variabilidade interanual no Grupo 2 também é bastante elevada, com a maior registrada entre 2011 e 2012, choveu 20,0% acima da média em 2011, enquanto 2012 choveu apenas 39,4% do esperado para o grupo, causando uma variação de 80,6% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 2012 e o mais chuvoso ocorreu em 2020 com 53,0% acima da média, gerando uma variação entre ambos de 113,6%.

A maior variabilidade interanual no Grupo 3 ocorreu entre 2011 e 2012, choveu 56,7% acima da média em 2011, enquanto 2012 choveu 70,6% do esperado para o grupo, causando uma variação de 86,1% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 1998, quando choveu apenas 55,3% do esperado, e o mais chuvoso ocorreu em 2000 gerando uma variação entre ambos de 103,5%.

A variabilidade interanual no Grupo 4 demonstrou ser a maior entre os Grupos, sendo entre 2011 e 2012 a maior, choveu 79,6% acima da média em 2011, enquanto 2012 choveu apenas 42,3% do esperado para o grupo, causando uma variação de 137,3% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 1998 com 26,9% do esperado, e o mais chuvoso ocorreu em 2011, gerando também a maior variação entre os Grupos de anos extremos com 152,7%.

A maior variabilidade interanual no Grupo 5 ocorreu entre 1999 e 2000, choveu 68,2% do esperado em 1999, enquanto 2000 choveu 52,5% acima do esperado para o grupo, causando uma variação de 84,2% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 1998 com 60,0% do esperado, e o mais chuvoso ocorreu em 2000, gerando uma variação entre ambos de 92,7%, se tornando também a variação mais baixa entre os extremos dos grupos.

A variabilidade interanual no Grupo 6 também é elevada, a maior variabilidade registrada ocorreu entre 2011 e 2012, choveu 74,7% acima da média em 2011, enquanto 2012 choveu apenas 50,5% do esperado para o grupo, causando uma variação de 74,6% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 2012, e o mais chuvoso ocorreu em 2008 com 63,6% acima do esperado, gerando uma variação entre ambos de 112,7%.

A variabilidade interanual no Grupo 7 demonstrou ser a mais baixa entre os grupos, sendo a maior variabilidade registrada entre 1999 e 2000, choveu 58,9% do esperado em 1999, enquanto 2000 choveu 40,0% acima do esperado para o grupo, causando uma variação de 81,1% de um ano para outro. O ano mais seco da série ocorreu em 1999 e o mais chuvoso em 2000, se tornando também o Grupo com a menor variação entre extremos dos Grupos.

Apesar das diferenças e peculiaridades nos regimes de chuva de cada grupo, e observados semelhanças em alguns anos com picos positivos e negativos, sendo 1998 e 2012 secos nos 7 Grupos, e 2000 e 2011 chuvosos em todos os Grupos. Esse fato demonstra que também é possível que haver anos em que todas as mesorregiões do Estado sofram com os mesmos problemas de excessos ou escassez de chuvas, na tabela 2 verifica-se que a maior diferença em milímetros ocorreu no grupo 7.

Tabela 2. Máxima variabilidade interanual e variabilidade extrema em porcentagem e em milímetros para os 7 possíveis Grupos homogêneos.

Grupos	Interanual	Variação (%)	Variação (mm)	Variabilidade Extrema	Variação (%)	Variação (mm)
G1	2011-2012	114	698,8	1998 e 2011	125,7	770,1
G2	2011-2012	80,6	633,8	2012 e 2020	113,6	893,8
G3	2011-2012	70,6	770,2	1998 e 2000	103,5	925,8
G4	2011-2012	137,3	564,8	1998 e 2011	152,7	628
G5	1999-2000	84,2	861,1	1998 e 2000	92,7	1142,9
G6	2011-2012	74,6	716,4	2012 e 2008	112,7	1082,4
G7	1999-2000	81,1	1531,7	1999 e 2000	81,1	1531,7

Fonte: Autor.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa identificou 7 grupos homogêneos do estado da Paraíba, onde o maior Grupo com dependência espacial está localizado no Sertão paraibano, enquanto o Agreste foi a localidade que apresentou a maior variabilidade de áreas homogêneas com presença de 3 Grupos diferentes.

A variabilidade é extrema, é possível perceber uma presença de 5 Grupos diferentes em menos de 200km entre a Zona da Mata e a Borborema, com médias variando de 1800 a 400 mm por Grupos. Os Grupos da Mata paraibana são os mais chuvosos e os Grupos da Borborema mais secos.

Os testes de homogeneidade mostraram que não há mudanças estatisticamente significativas para os 7 Grupos, mesmo com as diferenças discrepantes entre eles. A variabilidade interanual é bastante elevada em todos os 7 Grupos, entretanto as regiões com maiores médias são um pouco menos variáveis em relação aos Grupos com médias mais baixas. Constata-se também que existem anos em que todos os Grupos podem ter excessos de chuvas ou escassez, e anos com excessos de chuvas em apenas alguns Grupos, enquanto outros podem ter chuvas abaixo da média ou na média, a exemplo de 2020.

Os Grupos presentes na parte leste do Estado (Mata Paraibana e Agreste) têm a influência maior de sistemas meteorológicos atuantes no período do Outono e Inverno, é o caso dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, enquanto os grupos das partes centro oeste (Borborema e Sertão paraibano) tem influências de fenômenos atuantes no Verão e Outono, caso dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis e da Zona de Convergência Intertropical.

A compreensão das áreas homogêneas é uma importante ferramenta difusora do conhecimento para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos do Estado por parte dos órgãos responsáveis. Saber que cada grupo possui demandas específicas ajudam os tomadores de decisões a estarem mais preparados para responderem à sociedade com respostas mais eficazes em questões distintas, entre áreas com excesso de chuvas ou de longas estiagens. A difusão desse conhecimento em meio a sociedade civil contribui para enfatizar a importância da conscientização individual na captação, manejo e uso da água, de modo que todos possam ser beneficiados com responsabilidade.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.S.D.; MEDRONHO, R.D.A.; VALENCIA, L.I.O. Análise espacial da dengue e o contexto socioeconômico no município do Rio de Janeiro, RJ. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, p. 666-673, 2009.
- ALMEIDA, H. A; FARIAS, M. P. Regime pluvial e potencial de captação de água para as microrregiões mais secas da Paraíba. 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. 2015.
- ALVES, L. M; COELHO, C.A.S; MELO, A. B. C; PESQUERO, J.F. Condições climáticas observadas no Brasil em 2009. **Cachoeira Paulista: INPE**, 2010.
- AMORIM, A. C. B. et al. Regionalização e análise da tendência da precipitação do Rio Grande do Norte associados a padrões de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 269-280, 2020.
- ARAÚJO, I. G. D; DINIZ, M.T.M; DANTAS, F.L; SILVA, F.E.B. Climatologia do Sertão da Paraíba, Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2439-2448, 2017.
- ARAÚJO, J. M. S; MAIA, A. G; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. 2015. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/30227>
- ATAIDE, L. C. P; SILVA, M. T; SERRÃO, E. A. O; DANTAS, L.G; ALMEIDA, G.S.S; CAMPOS, J.H.B.C; SILVA, V.P.R; SILVA, F.D.S. Aplicação da Análise Fatorial para Determinação da Vulnerabilidade Hidrometeorológica para o Sub Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 3, p. 1-13, 2022.
- BARRETO, H. B. F; SANTOS, W. O; CRUZ, C. M. Análise da distribuição da precipitação pluviométrica média anual no estado do Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 17, 2012.
- COSTA, M. N. M; BECKER, C. T; BRITO, J. I. B. Análise das séries temporais de precipitação do Semiárido Paraibano em um período de 100 Anos-1911 A 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 04, p. 680-696, 2013.
- CHAGAS P. N. Avaliação espaço-temporal da precipitação da microrregião do brejo paraibano. 2016. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/3964>
- ESPINOZA, N.S, SANTOS, C. A. C; SILVA, M. T; GOMES, H. B, FERREIRA, R.R; SILVA, M. L; SANTOS, S. C. M; OLIVEIRA, C.P; MEDEIROS, J; GIOVANNETTONE, J; AMARO, V.E; SANTOS, C.A.G; MISHRA, M. Landslides Triggered by the May 2017

- Extreme Rainfall Event in the East Coast Northeast of Brazil. **Atmosphere**. 2021; 12(10):1261. <https://doi.org/10.3390/atmos12101261>
- GOMES, Oseas Machado. Modelagem estocástica da variação espacial sob a precipitação pluvial do estado da Paraíba. 2014. <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html?localidade=BR>
- KENDALL, M. R. Correlation Measures. Charles Griffin: London, p. 220, 1975.
- MANN H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society** v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.
- MACIEL, J. S; SILVA, M. T. Mapeamento da vulnerabilidade natural aos processos erosivos na microrregião do Cariri Oriental Paraibano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 582-596, 2021.
- MEDEIROS, S. A. Caracterização das chuvas de João Pessoa e os padrões de circulação atmosférica associados a eventos extremos. 2018. 51f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Engenharia de Biosistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4027>
- MEDEIROS, R. M; FRANCISCO, P.R.M; MATOS, R.M; SABOYA, L.A.F. Diagnósticos das flutuações pluviométricas no Estado da Paraíba. **Revista brasileira de geografia física**, v. 8, n. 04, p. 1017-1027, 2015.
- MOURA, E. M. Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- NASCIMENTO, S. S; ALVES, J. J. A. Ecoclimatologia do Cariri paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 3, 2008.
- OLIVERA, J. V. P; LUCENA, D, B; LIMA, P. R, C. Avaliação dos eventos extremos de chuva na região pluviometricamente homogênea do Alto Sertão da Paraíba entre 1994-2016. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e102-e102, 2020.
- RAMALHO, M. F. J. L. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 104–115, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3629>. Acesso em: 22 jun. 2023.

- RODRIGUES, A. C. L; CELESTE, A.B; BARBOSA, R.L; CURI, W.F; CURI, R.C. Influência dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'água no processo de outorga na bacia hidrográfica do Rio Piancó-PB. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.
- SANTANA, A. S; SANTOS, G. R.. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. 2020. <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10392>
- SANTANA, J. M. R. Cem anos de chuva no Cariri cearense: análise sobre a influência das teleconexões ENOS e ODP de 1912 a 2016. 2019. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.
- SANTOS, C.A.C; BRITO, J.I.B; RAO, T.V.R; MENEZES, H. E. A.. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 39-47, 2009.
- SOUZA, B. S; CANTALICE, W.L.B.C; BRAGA, C.C; SILVA, M.T; SILVA.E.A et al. Response of the EVI Vegetation Index to precipitation anomalies in the State of Paraíba. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v, v. 12, n. 1, p. 10-19, 2022.
- WARD JR, Joe H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American statistical association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.
- XAVIER, R. A; MACIEL, J, S; SILVA, V. M. A. Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 05, p. 1357-1369, 2016.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DIÁRIOS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DA PARAÍBA

RESUMO: A variabilidade da precipitação pluvial é uma característica comum em todo estado da Paraíba, até mesmo nas áreas de clima semiárido. Eventos extremos de precipitação costumam causar problemas, principalmente em áreas urbanas, este capítulo visa realizar uma análise dos eventos extremos diários no período de 1994 a 2022 em localidades diferentes do estado da Paraíba e seus respectivos tempos de retorno em anos. Para chegar aos resultados foram utilizados dados de estatísticas descritivas (Médias, Frequências, distribuições), Teoria dos Valores Extremos (TVE), testes de independência de dados (Chorrilho) e método de estimação e de parâmetros dos dados (Máxima Verossimilhança e Komogorov-Smirnov). Os resultados mostraram que há um retorno de precipitações acima de 50 mm/dia a cada 2 anos em todas as localidades estudadas e de até 170 mm em até 10 anos em alguns locais, e quando comparadas com outras pesquisas, os eventos estão se tornando cada vez mais extremos.

Palavras-chave: Recursos hídricos; climatologia; chuva.

ANALYSIS OF DAILY EXTREME EVENTS RAINFALL IN THE STATE OF PARAÍBA

ABSTRACT The variability of rainfall is a common characteristic throughout the state of Paraíba, even in areas with a semi-arid climate. Extreme precipitation events tend to cause problems, especially in urban areas. This chapter aims to carry out an analysis of daily extreme events in the period from 1994 to 2022 in different locations in the state of Paraíba and their respective return times in years. To reach the results, data from descriptive statistics (Averages, Frequencies, distributions), Theory of Extreme Values (TVE), data independence tests (Chorilho) and estimation method and data parameters (Maximum Likelihood and Komogorov-Smirnov) were used.). The results showed that there is a return of precipitation above 50 mm/day every 2 years in all studied locations and up to 170 mm in up to 10 years in some locations, and when compared with other research, the events are becoming increasingly increasingly extreme.

Keywords: Water resources; climatology; rain.

1 INTRODUÇÃO

Os eventos de secas e inundações são cada vez mais frequentes no mundo e tornam os ambientes urbanos mais vulneráveis às suas consequências, reforçando assim, a importância da adaptação da gestão das águas para atender continuamente às necessidades das cidades (BEZERRA, 2023). O estado da Paraíba é caracterizado por possuir a maior parte da extensão territorial localizado no polígono das secas, as áreas do Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão já sofrem, historicamente, com a escassez de água resultante dos longos períodos de estiagem e seca. Contudo, as chuvas intensas e extremas causam grandes impactos, que serão fortemente sentidos pela sociedade que não está preparada para lidar com tal situação (SOUZA e LUCENA, 2023), as cidades paraibanas também costumam enfrentar problemas relacionados a excessos de chuvas.

Estudos científicos priorizam na temática da variabilidade do regime pluvial e aos impactos de alguns eventos extremos, por afetar diretamente o meio ambiente e a sociedade humana (ALMEIDA e GALVANI, 2021). Além dos eventos extremos estarem cada vez mais frequentes, as mudanças no espaço geográfico nas cidades têm crescido exponencialmente devido ao crescimento populacional, surgindo formas inadequadas de ocupação que, submetidas a severos eventos hidrológicos, têm contribuído para transformar áreas em setores de alto risco de inundações. (ESPINOZA, 2017).

Esses extremos climáticos que também ocasionam as variabilidades interanuais estão associados aos principais sistemas produtores de precipitação na região nordeste do Brasil (NEB): Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios (POAS), Linhas de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Brisas marítimas e terrestres (MOLION e BERNARDO, 2002).

Avaliar o comportamento dos eventos extremos e o tempo de retorno é de suma importância para o conhecimento público dos municípios. Para análises das distribuições de probabilidades em uma série temporal alguns métodos estatísticos podem ser utilizados, dentre os principais destaca-se Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) e o Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) (CUNHA FILHO et al, 2022, TAVARES e SANTOS, 2022).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de Estudo

O estado da Paraíba está localizada na região Nordeste do Brasil, possui, uma área aproximada de 56.372km² grande diversidade climática faunística, estando posicionada entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18" S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Limita-se entre o estado do Rio Grande do Norte, ao norte do estado, de Pernambuco, ao sul, e do Ceará ao oeste (Figura 1).

As localidades selecionadas fazem parte dos 7 Grupos homogêneo, encontrados no capítulo 2.

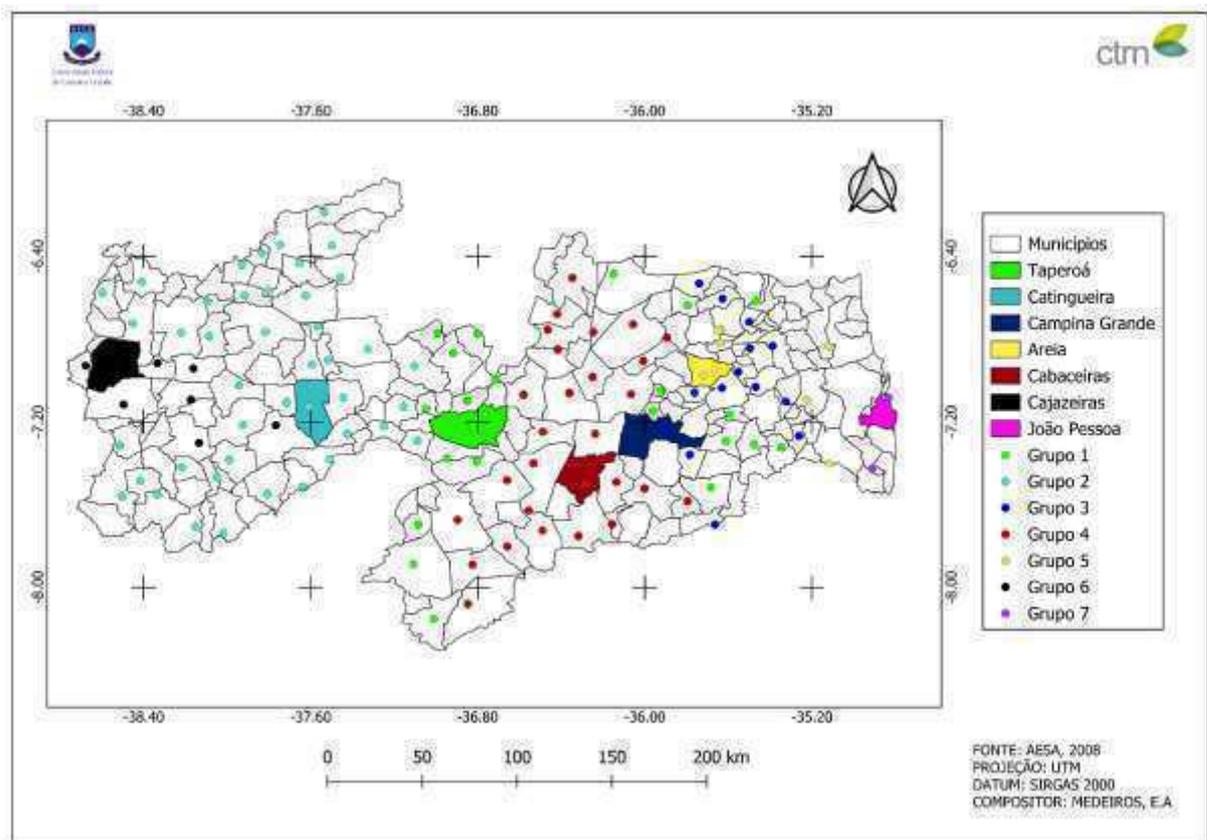


Figura 1. Localização dos municípios selecionados e dos 7 Grupos homogêneos encontrados no capítulo 2.

2.2 Análise climatológica e descritiva da precipitação pluvial

A partir dos dados disponibilizados pela AESA foi analisado o comportamento da precipitação, para um período de 29 anos, compreendido entre 1994 e 2022. Após verificar o comportamento climatológico da precipitação pluvial diária, para área de estudo, foram obtidas

as principais características da precipitação diária, para o período. Foram obtidas as variabilidades mensais e anuais para os municípios de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa.

Para buscar uma melhor compreensão sobre precipitações extremas, foi obtida, também, a variabilidade da máxima precipitação diária anual, ou seja, o valor máximo diário da precipitação, para cada ano analisado, e para cada localidade estudada.

Neste estudo, a estatística descritiva da precipitação foi calculada a partir dos dados disponíveis de precipitação diária utilizada 1994-2022, sendo assim, foram obtidas as Medidas de Posição (ou Tendência Central), Dispersão, Assimetria e de Achatamento (Curtose) para a máxima precipitação diária anual, bem como sua frequência absoluta.

2.3 Modelagem estatística para a ocorrência de precipitação extrema a partir da Teoria de Valores Extremos (TVE)

Na Probabilidade e Estatística, a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) (Figura 2) é uma família de distribuições de probabilidade que faz parte da Teoria de Valores Extremos, apresentando ampla aplicação em diversas áreas, como Hidrologia, Engenharias, dentre outras.

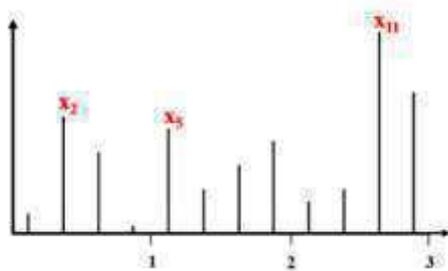


Figura 2. Representação dos eventos extremos para distribuição GVE (Fonte: SANTOS, 2015).

A distribuição GVE foi proposta por Jenkinson (1955), que indicou que os três tipos de distribuição de valores extremos (Gumbel, Fréchet e Weibull) poderiam ser representados em uma única forma paramétrica, cuja função é denotada por F , e distribuição obtida a partir das Equações (1) e (2)

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - \xi \frac{x - \mu \left(\frac{1}{\xi} \right)}{\sigma} \right) \right], \text{ para } \xi \neq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right], \text{ para } \xi = 0 \quad (2)$$

Em que, μ é o parâmetro de locação com $-\infty < \mu < \infty$; σ é o parâmetro de escala com $0 < \sigma < \infty$, e ξ é o parâmetro de forma com $-\infty < \xi < \infty$. As distribuições de valores extremos de Weibull e de Fréchet correspondem aos casos particulares de (1) em que $\xi < 0$ e $\xi > 0$, respectivamente. Quando $\xi = 0$, a função assume a forma de (2), que representa a distribuição Gumbel.

Para o quantil X_p da distribuição GVE, com período de retorno T , a probabilidade acumulada é dada por $F(X_p) = 1 - (1/T)$, que resulta nas Equações (3) e (4) (PALUTIKOF et al. 1999):

$$X_p = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^\xi \right\}, \text{ para } \xi \neq 0 \quad (3)$$

$$X_p = \mu - \sigma \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right], \text{ para } \xi = 0 \quad (4)$$

Na distribuição GVE, o banco de dados utilizado é modelado pela metodologia *Block Máxima*, onde o conjunto de dados é dividido em períodos de mesmo tamanho (blocos) que podem ser mensais, sazonais, anuais, dentre outros. E a partir de cada bloco é escolhido o valor máximo (ou mínimo) para formar um novo conjunto, logo este novo conjunto de dados inclui os valores extremos.

2.4 Teste de independência

Uma das hipóteses fundamentais da TVE é que os dados que compõem a amostra sejam independentes e identicamente distribuídos. Para verificar a hipótese de independência dos dados, foi utilizado o teste não paramétrico de Chorrilho que verifica se os elementos da série são mutuamente independentes. Foi utilizado o nível de 5% de significância estatística.

2.5 Estimação dos parâmetros das Distribuições GVE

Para a análise e descrição da distribuição dos extremos, foram utilizados três parâmetros: locação (μ), escala (σ^2) e forma (ξ). O parâmetro de locação descreve o deslocamento da distribuição em uma determinada direção no eixo horizontal; o parâmetro de

escala descreve a extensão da distribuição, sendo que, conforme o parâmetro de escala aumenta, a distribuição se tornará mais espalhada; o parâmetro de forma representa onde a maioria dos dados está concentrada, esse parâmetro afeta estritamente a forma da distribuição, e determina a cauda de cada distribuição (MILLINGTON et al. 2011).

O parâmetro de forma é uma ferramenta útil para verificar se a distribuição escolhida é adequada ou não. Os valores desses parâmetros podem ser obtidos, usando métodos estatísticos, como o de Mínimos Quadrados, método da Máxima Verossimilhança (MLE), e o método Bayesiano. O MLE é um método frequentemente utilizado devido aos seus resultados confiáveis e à sua simplicidade.

Para a estimação dos parâmetros das distribuições GVE (ξ, μ, σ^2) utilizou-se, nesta pesquisa, o método de Máxima Verossimilhança (Smith, 1985). O MLE consiste em maximizar a probabilidade, ou a densidade de probabilidade de ser encontrada a amostra observada. Sendo assim, este método pressupõe que a função de verossimilhança seja conhecida ou pressuposta, e a interpretação dessa função reflete a probabilidade máxima da amostra ter sido retirada da população da qual foi verdadeiramente retirada (BEIJO, 2002).

Sejam X_1, X_2, \dots, X_n uma amostra aleatória de tamanho n da variável aleatória X com função de densidade $f(x|\theta)$, com $\theta \in \Theta$, em que Θ é o espaço paramétrico. A função de verossimilhança de θ correspondente à amostra aleatória observada é dada por:

$$L(\theta|x) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta) \quad (5)$$

A estimativa de máxima verossimilhança de θ é o valor $\hat{\theta} \in \Theta$ que maximiza a função de verossimilhança $L(\theta)$.

A função utilizada para se encontrar a estimativa de máxima verossimilhança de θ é chamada de estimador de máxima verossimilhança de θ

Assim, $l(\theta) = \ln (L(\theta))$ é o logaritmo natural da função de verossimilhança de θ .

$$L((\theta|x) \frac{1}{\sigma^n} = \prod_{i=1}^n \left\{ \left[1 + \varepsilon \left(\frac{X_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon} \right)} \right\} \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ - \left[1 + \varepsilon \left(\frac{X_i + \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\varepsilon}} \right\} \right\} \quad (5)$$

Em que, $\theta = (\mu, \sigma, \xi)$

2.6 Teste de Kolmogorov Smirnov (KS)

O teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste das distribuições GVE e DGP. Foi adotado 5% como nível de significância para o teste. KS é utilizado para testar se as distribuições GVE e DGP podem caracterizar, ou não, o comportamento de precipitações extremas.

Foram consideradas as hipóteses:

$$H_0 : F(x) = G(x) \text{ (nula);}$$

$$H_1 : F(x) \neq G(x) \text{ (alternativa)}$$

A estatística do teste é obtida por $D_n = \sup_x |F(x) - G_n(x)|$, que representa o limite superior extremo das diferenças entre os valores absolutos da distribuição acumulada empírica e teórica consideradas no teste. Onde, $F(x)$ é a função de distribuição acumulada teórica, e $G(x)$ é a função de distribuição acumulada empírica, para n observações aleatórias com uma função de distribuição acumulada. A hipótese nula é rejeitada se o valor de D_n for maior que o valor tabelado. Isso equivale a considerar que a probabilidade exata do teste é menor que o nível de significância (SANTOS, 2015). Ressalta-se que este teste consiste em rejeitar a hipótese de adequação do ajuste se a diferença máxima entre os valores observados e ajustados for superior ao crítico, para o nível de significância especificado (BEIJO, 2002).

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.1 Climatológica da precipitação

A descrição da climatologia indica que João Pessoa possui os meses de maio, junho e julho mais chuvosos no ano com variabilidade de até 700 mm no mês de junho, em Areia a climatologia é semelhante a João Pessoa com os meses mais chuvosos em maio, junho e julho, com uma variabilidade maior em junho que supera os 400mm, apesar disto, janeiro apresentou o maior outlir da série. Em Campina Grande, maio, junho e julho mostram-se como os meses mais chuvosos, com maior variabilidade em junho, entretanto março destaca-se por ter uma variabilidade semelhante a junho beirando os 250 mm (Figura 3).

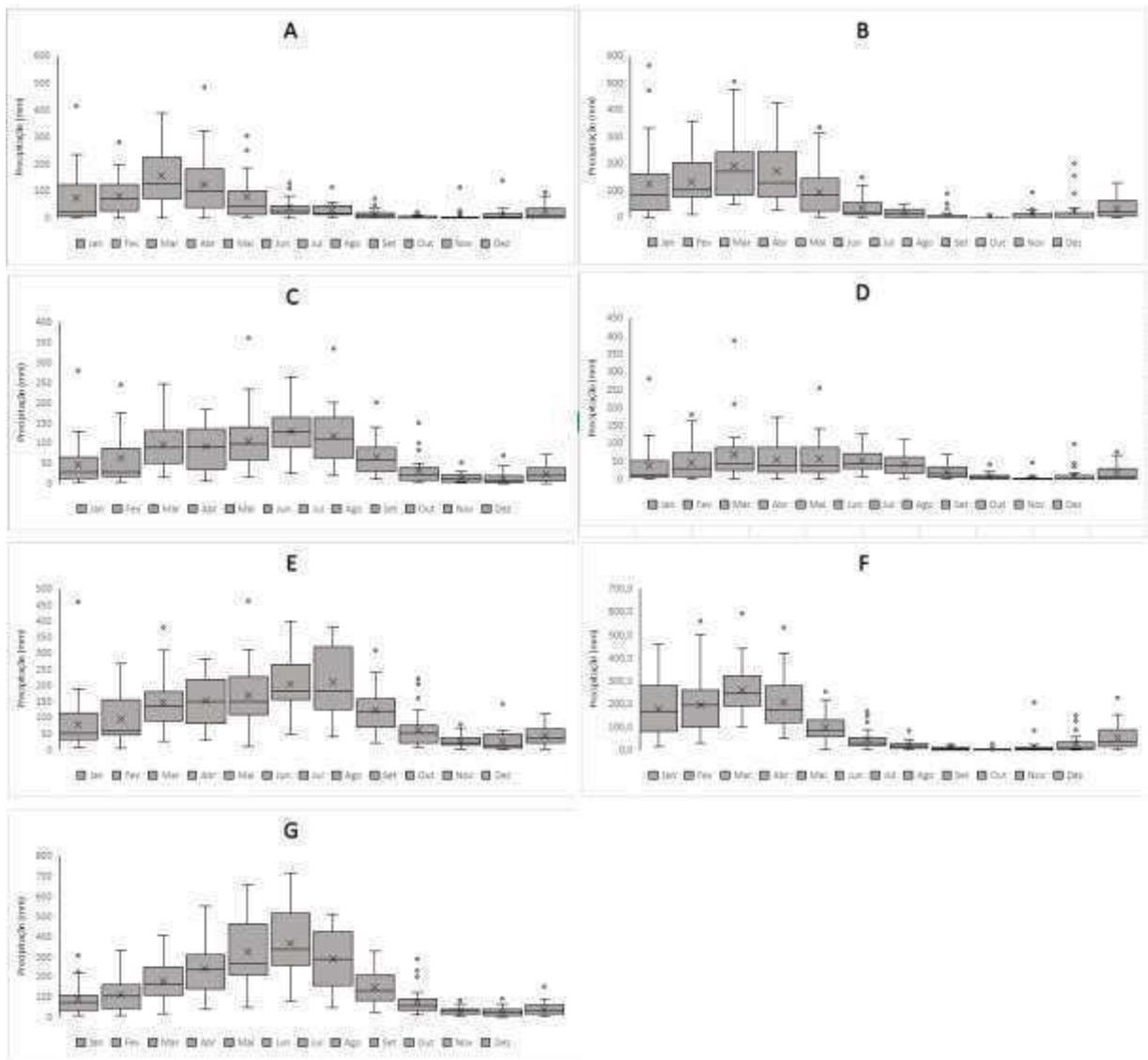


Figura 3. Variabilidade mensal dos municípios selecionados para as localidades de Taperoá (A), Catingueira (B), Campina Grande (C), Cabaceiras (D), Areia (E) e Cajazeiras (F) e João Pessoa (G) entre 1994 e 2022.

Cabaceiras foi cidade da pesquisa que apresentou as médias mais baixas, sendo os meses mais chuvosos março, abril e maio, entretanto a variabilidade de abril e fevereiro são semelhantes com 150 mm, para Taperoá, os meses mais chuvosos é fevereiro, março e abril com maior variabilidade no mês de março próximos dos 400 mm (Figura 3).

Na mesorregião do sertão, o município de Catingueira possui os meses de fevereiro, março e abril os mais chuvosos, sendo março o mês com variabilidade em torno de 500mm, resultados semelhantes à pesquisa de Pereira et al. (2017). Cajazeiras possui seus meses mais

chuvosos em janeiro, fevereiro e março, com uma variabilidade superando os 500 mm em fevereiro. (Figura 1).

O resultado da variabilidade no estado da Paraíba mostra que o início do trimestre mais chuvoso varia conforme o município, com Cajazeiras iniciando já em janeiro, outros em março e outro só em maio, entretanto para todos os municípios os meses mais secos ocorrem de setembro a novembro (Figura 3).

Quando analisamos variabilidade da maior chuva anual nos municípios selecionados, verifica-se que João Pessoa possui o maior número de ocorrências de eventos extremos em valores acima de 100mm/dia, seguido de Cajazeiras e Taperoá, porém o município de Cabaceiras é destaque registrar o evento mais extremo nesta pesquisa com 218mm/ dia, fato que ocorreu entre 17 e 18 de março de 2008. Gerando o maior outlier da pesquisa (Figura 4).

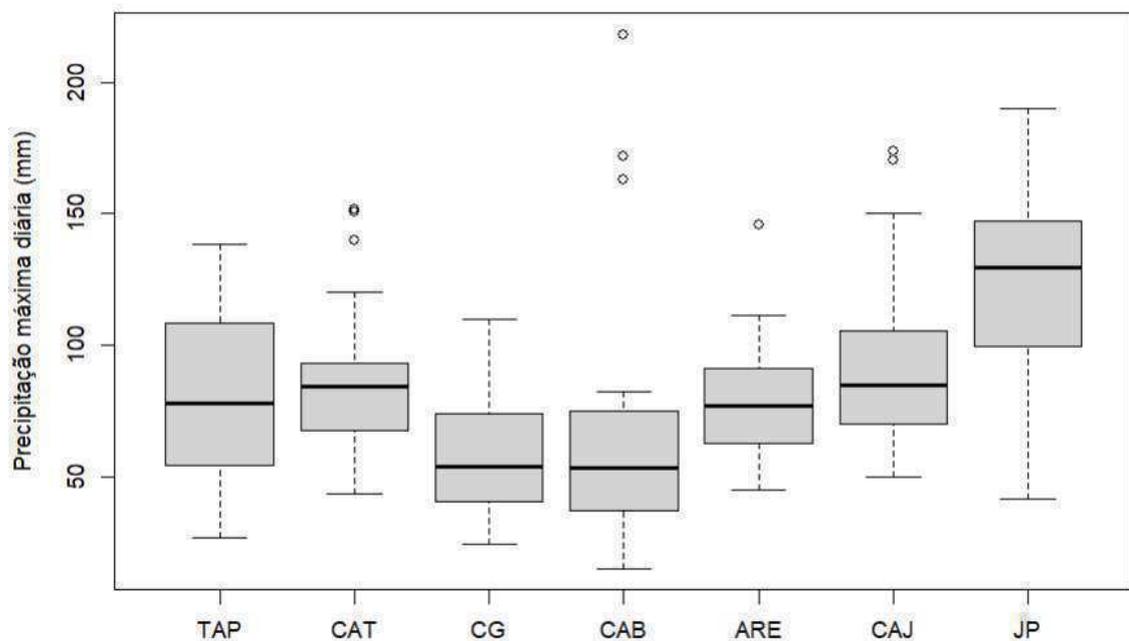


Figura 4. Variabilidades das chuvas máximas anuais para as localidades de Taperoá (TAP), Catingueira (CAT), Campina Grande (CG), Cabaceiras (CAB), Areia (ARE), Cajazeiras (CAJ) e João Pessoa (JP).

Rabelo et al. (2008) em sua pesquisa comprovou que as chuvas ocorridas no mês de março na estação meteorológica automática instalada em Cabaceiras-PB pelo INMET foi de 370,8mm, sendo 210.0 mm (17.03.2008), registrados 333.0mm do dia 17 a 20 de março de 2008, portanto, um evento extremo e raro. Além da impressionante chuva ocorrida em março de 2008. Cabaceiras também já teve registro de 172 mm em 15 de fevereiro de 2002 e

recentemente um evento semelhante voltou a ocorrer em 20 de maio de 2022, quando segundo INMET choveu 132 mm em apenas uma e totalizando 163mm/dia.

Quando analisados as maiores chuvas anuais da série nos municípios da pesquisa, destacam-se os anos 2008, 2009 e 2011 como sendo de uma forma geral os que registraram os maiores eventos mais extremos, enquanto 1998 foi o ano de eventos extremos de menores proporções. (Figura 5). Esses anos de maiores e menores frequências coincidem com a pesquisa de Sena et al. (2016) que classificam 2009 e 2009 como anos extremamente chuvosos e 2012 e 1998 como extremamente secos.

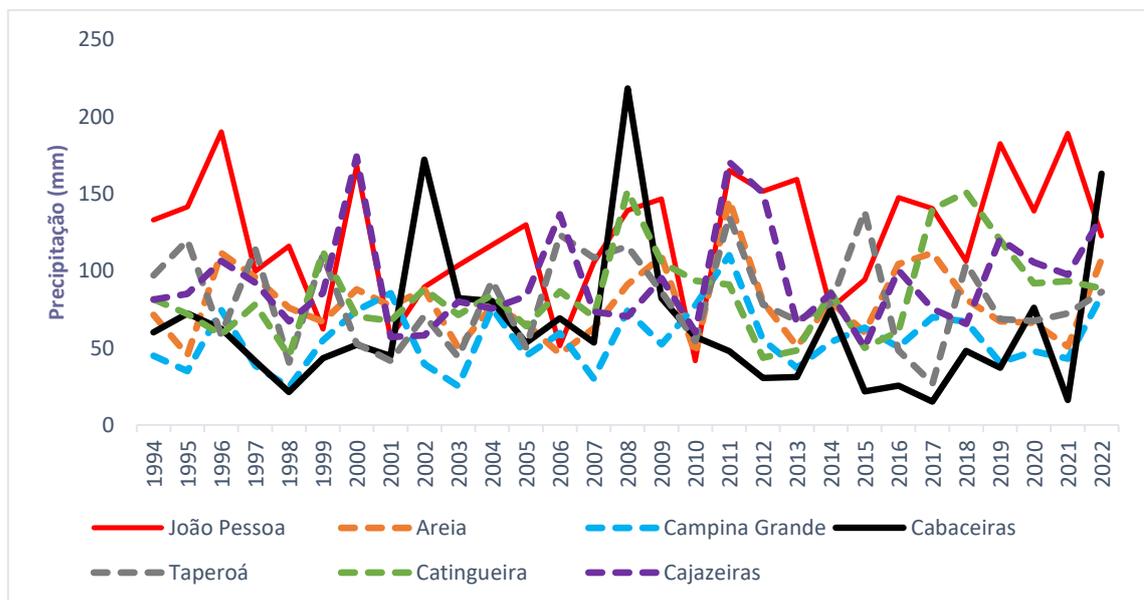


Figura 5. Maiores precipitações pluviométricas anuais para as localidades de João Pessoa, Areia, Campina Grande, Cabaceiras, Taperoá, Catingueira e Cajazeiras entre 1994 a 2022.

Destaca-se novamente Cabaceiras que apesar de ter registrado o evento mais extremo da pesquisa, na maioria dos anos é o município com a menor chuva máxima anual. Quando analisado o número de eventos acima de 50mm/dia por ano, João Pessoa e Cajazeiras são destaques, enquanto Cabaceiras e Campina Grande são as cidades onde menos ocorrem eventos superior a 50mm/dia (Figura 6). Os anos de 1994, 2008, 2009, 2011, 2020 e 2022 foram os de maiores ocorrências, enquanto 1998, 2001, 2010 e 2015 os de menores ocorrências.

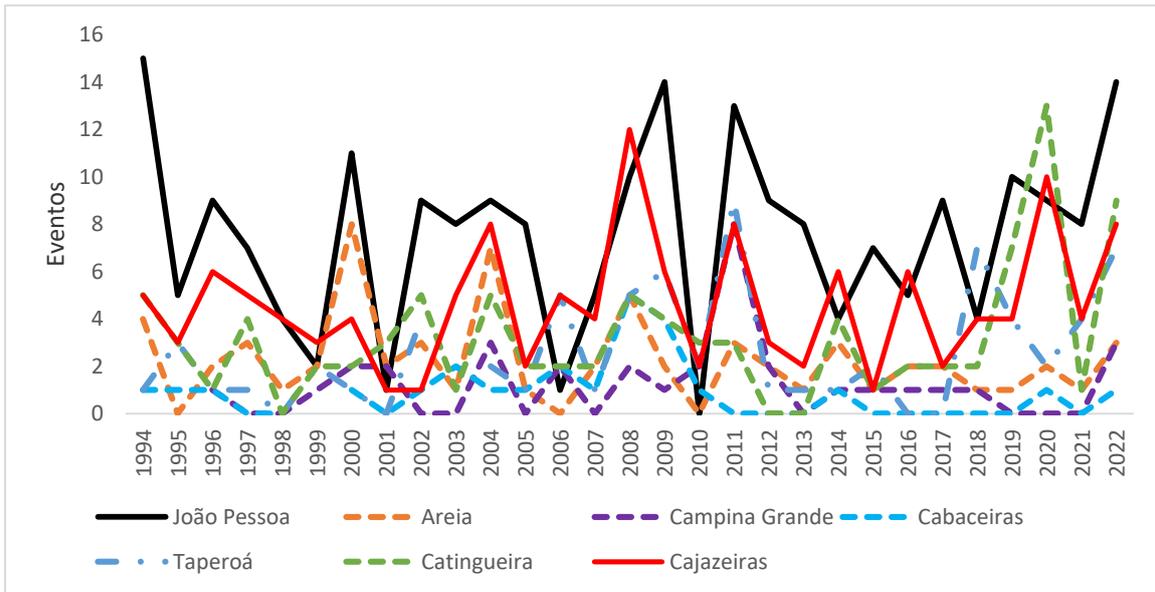


Figura 6. Ocorrências de chuvas \geq de 50mm/dia para as localidades de João Pessoa, Areia, Campina Grande, Cabaceiras, Taperoá, Catingueira e Cajazeiras no período de 1994 a 2022.

.....

Na Figura 7 é possível verificar a frequência absoluta da precipitação máxima diária anual, em Taperoá a frequência maior de chuvas máximas anuais ocorre entre 50 e 80mm, em Catingueira entre 70 e 90mm, em Campina Grande entre 40 e 60mm, em Cabaceiras entre 30 e 50mm, em Areia entre 70 e 80mm, em Cajazeiras entre 80 e 90mm, e em João Pessoa entre 140 e 160 mm. Catingueira e Cajazeiras e João Pessoa apresentaram precipitações acima de 150mm, enquanto Cabaceiras foi a única localidade a apresentar precipitação acima de 200mm, embora João Pessoa também registrou valores muito próximos.

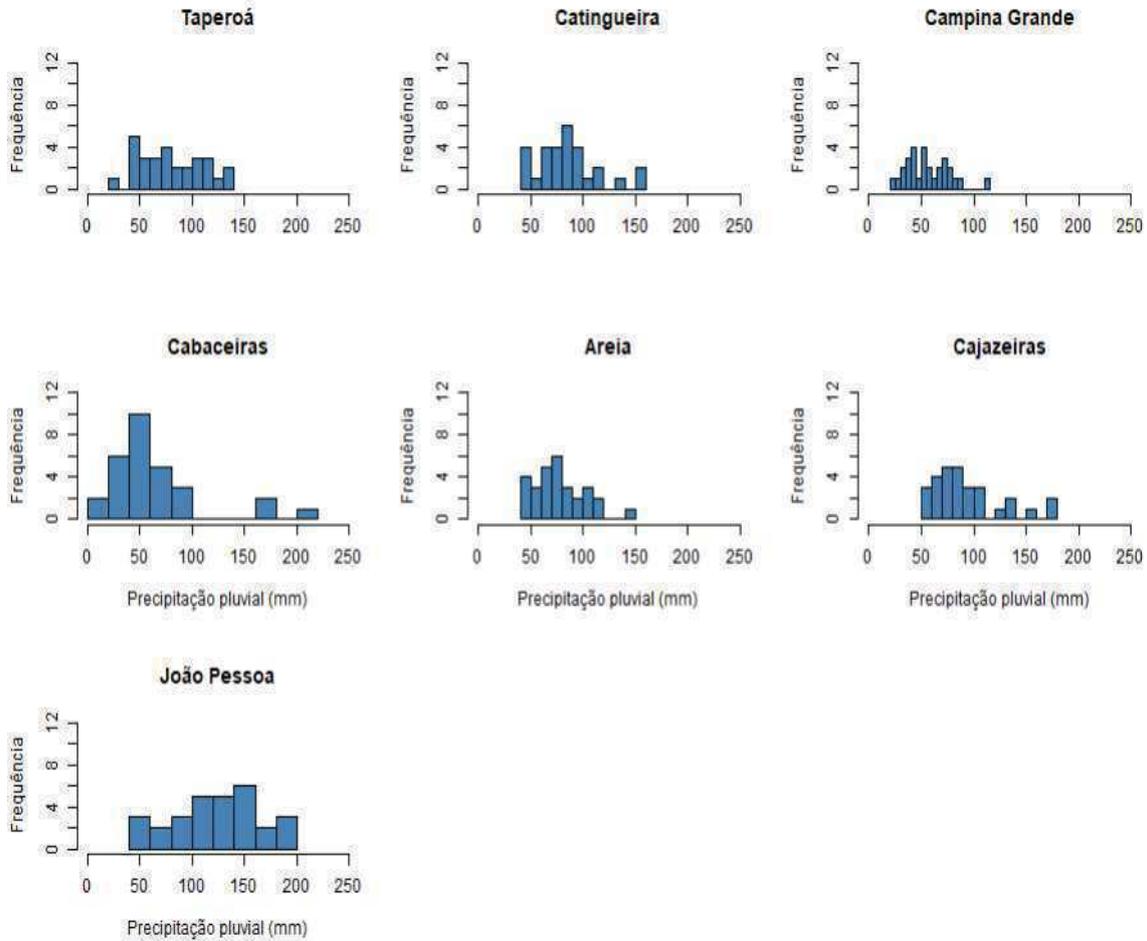


Figura 7. Frequência absoluta da precipitação diária máxima anual para: Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período entre 1994 e 2022.

A partir da Tabela 1 tem-se uma análise exploratória dos dados, a partir da estatística descritiva para a precipitação diária máxima anual para a região de estudo, a partir de Medidas de Posição (ou Tendência Central), Dispersão, Assimetria e de Achatamento. Ao se analisar a Tabela 2, temos que João Pessoa e Cajazeiras apresentaram, em média, os valores mais altos de precipitação máxima, enquanto em Campina Grande e Cabaceiras, os valores mais baixos. Observou-se que o maior desvio padrão encontrado foram em Cabaceiras e João Pessoa, desviando em torno de 46 mm em Cabaceiras e 40 mm em João Pessoa, e menor em Campina Grande (20,3 mm), e Areia (24,3 mm), o Coeficiente de Variação (C.V.) foi maior em Cabaceiras, com um desvio de aproximadamente 88,12%, em relação à média confirmado pelo desvio padrão, entretendo a menor variação foi observada em João Pessoa (31,3%).

Analisando a assimetria dos dados, verificou-se que Cabaceiras e Cajazeiras apresentaram-se com curvas assimétricas positivas e as demais localidades, variando dentro do valor da simetria.

Tabela 1. Estatística descritiva da precipitação diária máxima anual para os municípios da pesquisa, no período de 1994 a 2022.

Localidades	Média	Mediana	Variância	DP	C.V. (%)	C.A.
Taperoá	81,2	78,2	955,0	30,9	39,51	0,17
Catingueira	84,9	84,3	830,9	28,8	34,1	0,77
Campina Grande	56,2	53,7	414,4	20,3	37,9	0,5
Cabaceiras	63,8	53,2	2197,8	46,8	88,12	1,79
Areia	78,3	77	593,8	24,3	31,6	0,66
Cajazeiras	93,1	85	1086,5	32,9	38,7	1,01
João Pessoa	122,8	129,8	1658,4	40,7	31,3	-0,26

DP: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação, C.A.: Coeficiente de Assimetria.

3.2. Modelagem estatística da máxima precipitação pluvial utilizando a Teoria de Valores Extremos

Para a obtenção da modelagem estatística a partir da distribuição GVE, utilizou-se a metodologia *Block Máxima*, onde o conjunto de dados é dividido em períodos de mesmo tamanho (blocos) que podem ser mensais, sazonais, anuais, dentre outros. A partir de cada bloco é escolhido o valor máximo (ou mínimo) para formar um novo conjunto, logo este novo conjunto de dados inclui os valores extremos. Para esta pesquisa, foram utilizadas as máximas precipitações anuais, sendo assim o valor máximo diário de precipitação para cada ano estudado é um bloco.

Utilizou-se o teste de Chorrilho para avaliar a pressuposição de independência entre os dados de precipitação pluvial máxima, ao nível de 0,05 de significância, para a região de estudo, para o período compreendido entre 1994 e 2022.

A partir da Tabela 2, observa-se que, para todas as localidades pesquisadas, não houve rejeição da hipótese nula, ou seja, a hipótese de independência não foi rejeitada ao nível de 0,05, podendo as séries de precipitação utilizadas nesse estudo serem modeladas a partir da GVE.

Tabela 2. Teste de Chorrilho para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período compreendido entre 1994 e 2022.

Localidades	Valor-P
Taperoá	0,241
Catingueira	0,088
Campina Grande	0,993
Cabaceiras	0,764
Areia	0,377
Cajazeiras	0,788
João Pessoa	0,576

Podemos observar a independência dos dados através da Função de autocorrelação (FAC), que detecta a presença de autocorrelação (dependência) da variável aleatória. A Figura 8 apresenta a FAC da precipitação pluvial, para o período compreendido entre 1994 e 2022, para a região de estudo.

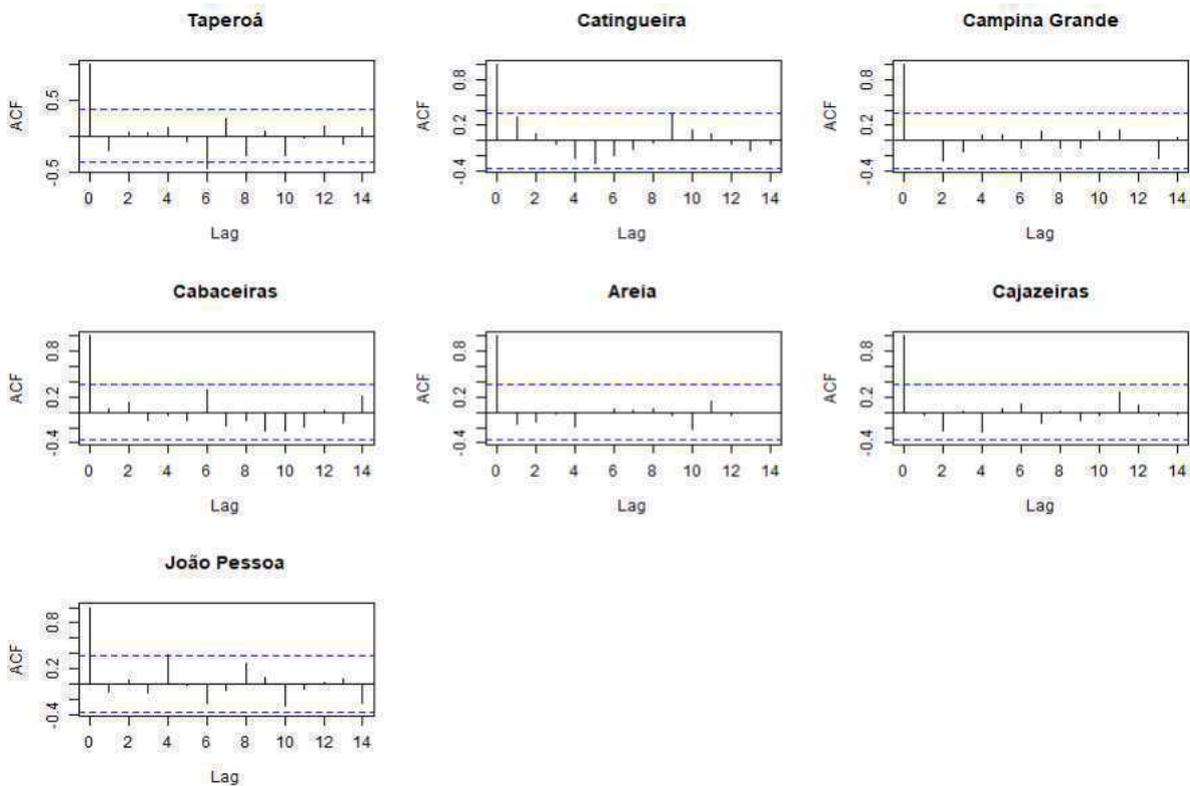


Figura 8. Função de autocorrelação (FAC) da precipitação para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João, para o período compreendido entre 1994 e 2022.

Na Figura 8 verifica-se a independência dos dados de precipitação, pois a autocorrelação pode ser definida como sendo uma observação em um determinado instante que está relacionada às observações passadas. Observa-se que não se verifica dependência entre um máximo anual e outro, e que as localidades apresentam autocorrelação no lag 0 pois está sendo correlacionado o primeiro valor com ele mesmo. No R, a autocorrelação no lag 0 é sempre igual a 1, por *default*.

Os resultados dos modelos foram semelhantes ao de Melo (2021), em que a distribuição GVE nos dados modelados se ajustaram aos dados empíricos, mas o modelo superestimou a frequência das ocorrências em que a densidade de dados é maior.

Tabela 3. Parâmetros das distribuições GVE.

Parâmetros	Taperoá	Catingueira	Campina Grande	Cabaceiras	Areia	Cajazeiras	João Pessoa
Localização μ	5743	6267	4039	3153	5919	6780	9490
IC	7000;8257	7204;8140	4758;5477	4165;5177	6748;7577	7674;8568	112,3;129,7
Escala σ	1938	1566	1201	1575	1343	1402	2940
IC	2904;3870	2251;2935	1726;2251	2409;3242	1960;2578	2113;2824	4287;5633
Forma ξ	-0,64	-0,30	-0,39	-0,06	-0,35	-0,16	-0,76
IC	-0,25;0,13	-0,00;0,29	-0,09;0,21	0,26;0,60	-0,02;0,29	0,18;0,52	-0,46; -0,16

Outra maneira de verificar o ajuste dos dados modelados é através do gráfico da função e densidade de probabilidade. A Figura 9 apresenta os gráficos da função densidade de probabilidade estimados pela distribuição GVE, dos máximos anuais da precipitação diária, para as localidades no período compreendido entre 1994 e 2022. Nota-se que, de maneira geral, os dados modelados se ajustam bem aos dados empíricos, porém observa-se, ainda, que o modelo superestima a frequência de ocorrências onde a densidade de dados é maior.

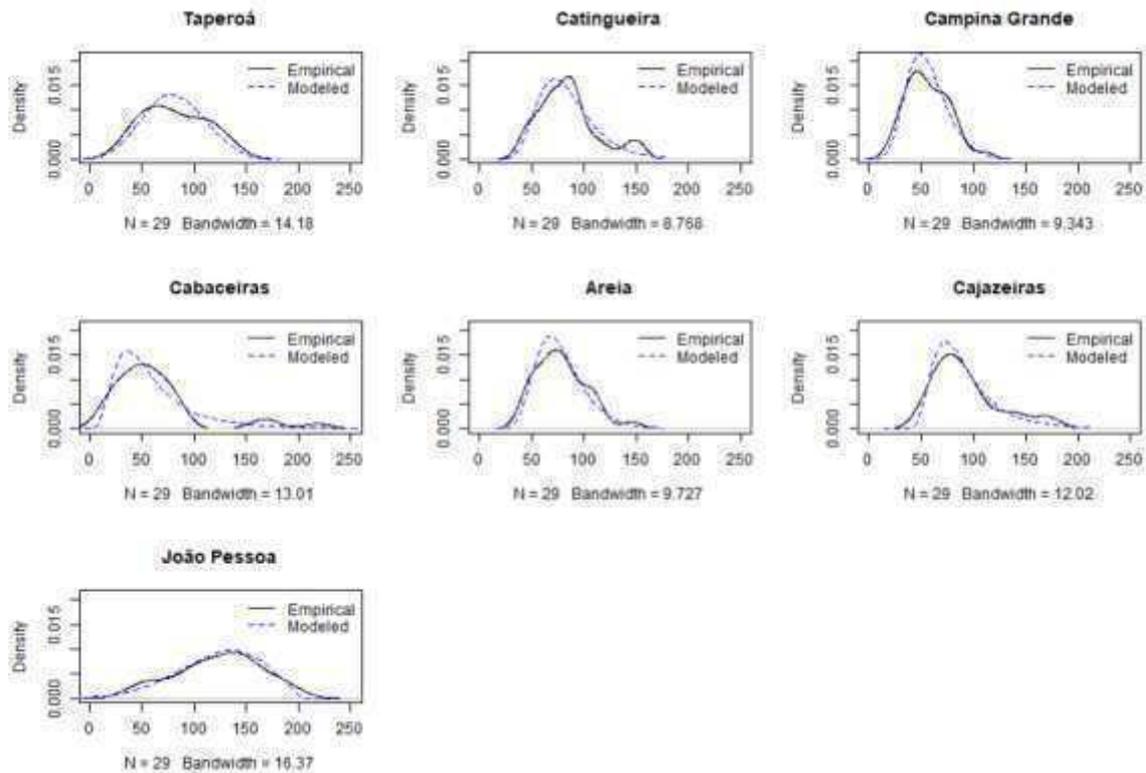


Figura 9. Distribuição da função densidade de probabilidade estimada pela distribuição GVE para as máximas precipitações diárias, para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa para o período compreendido entre 1994 e 2022.

A qualidade do ajuste das distribuições foi avaliada graficamente através das distribuições quantil-quantil e de densidade de probabilidade. No entanto, os métodos gráficos estão sujeitos a erros, uma vez que dependem de interpretação visual. Segundo Santos et al. (2016), a análise visual da distribuição quantil-quantil tem a desvantagem de ser subjetiva. Sendo assim, o teste não paramétrico Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste das estimativas da distribuição GVE, ao nível de significância de 5%, para a precipitação diária máxima anual, e seus resultados apresentados na Tabela 6.

A pesquisa de Souza (2022) também utilizou o teste K-S para verificar a aderência dos modelos na análise do tempo de retorno das chuvas máximas mensais na cidade de João Pessoa, o valor da estatística D foi inferior a 0,26 sendo adequados para amostra de dados pluviométricos.

Neste estudo, tem-se 29 observações de máximos anuais de precipitação, considerando o nível de significância de 5%, o valor crítico da estatística Dn utilizado foi de 0,22. A partir da Tabela 4, verifica-se que, de maneira geral, todas as localidades apresentaram bom desempenho

no teste KS, sendo Areia, Taperoá e Catingueira as localidades que apresentaram a melhor aderência ao teste. Sendo assim, verifica-se que é possível modelar as precipitações anuais aqui estudadas a partir da Teoria de Valores Extremos.

Tabela 4. Teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para o período compreendido entre 1994 e 2022. Em que, D_n é o limite superior extremo das diferenças entre os valores absolutos da distribuição acumulada empírica e teórica consideradas no teste.

Localidades	D_n	Valor-P
Taperoá	0,586	0,866
Catingueira	0,586	0,866
Campina Grande	0,62	0,8
Cabaceiras	0,689	0,666
Areia	0,586	0,866
Cajazeiras	0,62	0,8
João Pessoa	0,827	0,4

3.3 Período de retorno e probabilidades de ocorrência de precipitação

A partir da Figura 10, nota-se que Cabaceiras apresenta maior distância entre os intervalos de confiança inferior e superior, seguido por Cajazeiras e Catingueira. A distância entre os limites inferiores e superiores observada pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a distância dos dados de referência (1994-2022) menos confiança tem a estimativa do modelo.

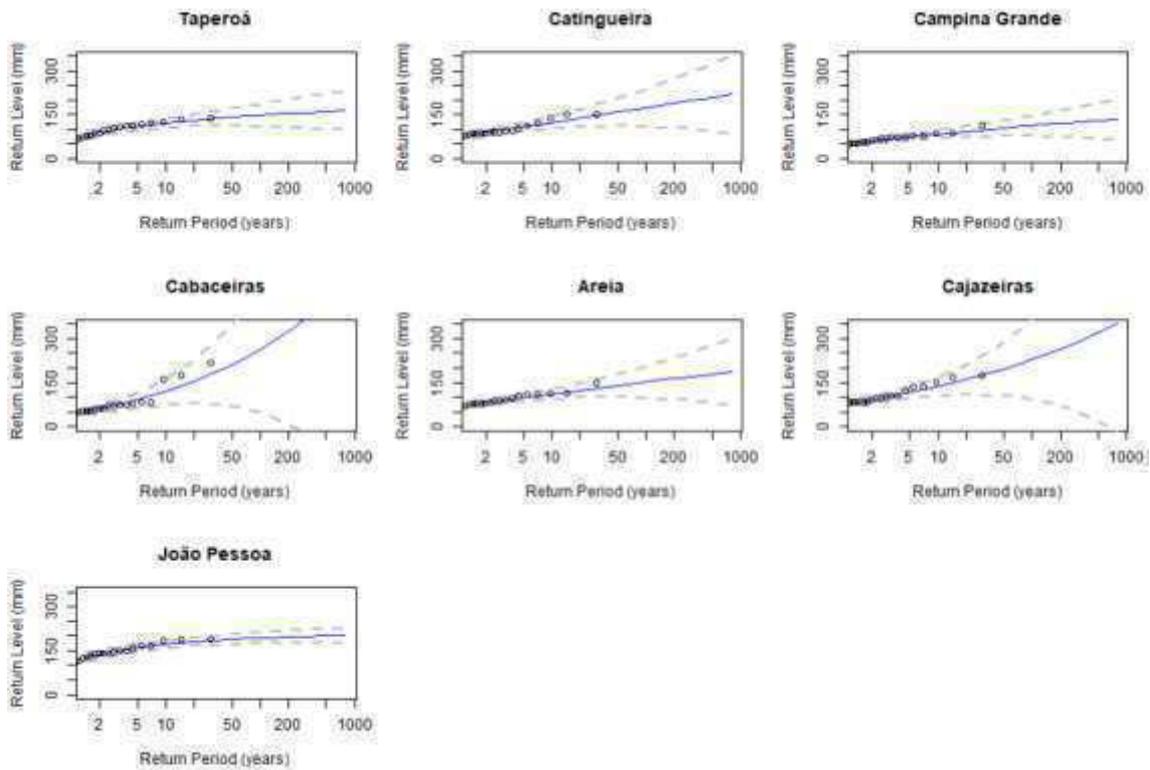


Figura 10. Período de retorno da precipitação máxima diária para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa, para o período compreendido entre 1994 e 2022. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança ano nível de 95% para o modelo estimado.

A partir da Tabela 5 observa-se o período de retorno (mm/dia) para eventos extremos (precipitações diárias máximas) nos municípios estudados, para o período compreendido entre 1994 e 2022. Os resultados obtidos indicam que, espera-se em média, pelo menos uma vez a cada dois anos, eventos extremos diários de precipitação de 80,1 mm em Taperoá, 80,2 mm em Catingueira, 53,8 mm em Campina Grande, 50,9 mm em Cabaceiras, 74,6 mm em Areia, 84,7 mm em Cajazeiras e 126,7 mm para João Pessoa. A cada cinco anos, eventos extremos diários de 106,2 mm são esperados para Taperoá, 105,5 mm para Catingueira, 71,8 mm para Campina Grande, 96,2 mm para Areia, 113,1 mm para Cajazeiras e 158,6mm para João Pessoa.

E para 10 anos, os valores de precipitação diária extrema esperados, são de 119,7 mm para Taperoá, 122,1 mm para Catingueira, 82,7 mm para Campina Grande, 116,1 mm para Cabaceiras, 110,1 mm para Areia, 135,2 mm para Cajazeiras, 172,1 mm para João Pessoa.

Tabela 5. Período de retorno estimado da precipitação diária extrema (mm/dia), para as localidades de Taperoá, Catingueira, Campina Grande, Cabaceiras, Areia, Cajazeiras e João Pessoa, para o período compreendido entre 1994 e 2022.

Localidade/Anos	2	5	10	25	50	100
Taperoá	80,1	106,2	119,7	133,5	141,8	148,7
Catingueira	80,2	105,5	122,1	143	158,3	173,4
Campina Grande	53,8	71,8	82,7	95,5	104,3	112,5
Cabaceiras	50,9	86,1	116,1	163,8	208	260,8
Areia	74,6	96,2	110,1	127,3	139,7	151,8
Cajazeiras	84,7	113,1	135,2	168,4	196,8	228,8
João Pessoa	126,7	158,6	172,1	183,6	189,4	193,6

Wanderley et al. (2012) constatou que apesar de Taperoá ter uma média anual inferior a 600mm, grandes volumes de chuvas diários fazem parte da climatologia local, no qual que em 33 anos foram registrados 7 eventos acima de 100mm/dia, equivalente a um episódio a cada 4,7 anos, semelhante ao período de retorno da tabela 5.

Chaves et al. (2021) em sua pesquisa sobre erosividade no estado da Paraíba, indicou que o município de Catingueira e Nova Olinda apresentam os núcleos mais erosivos do estado, indicando que há predomínio de chuvas intensas de verão e outono.

Medeiros et al. (2023) identificou que a probabilidade de retorno de uma chuva acima de 50mm/dia para Campina Grande é de aproximadamente 1,5 anos, e uma chuva de 80mm/dia a cada 9,5 anos, demonstrando valores muito próximos dos encontrados na tabela 5.

Araújo et al. (2021) investigando os extremos pluviais em Cabaceiras por um período de 41 anos, identificou que ocorreram 25 anos ocorreram eventos acima de 50mm/dia gerando um retorno de 1,6 anos, resultado semelhante aos registrados na Tabela 5 para 2 anos.

Na pesquisa realizada por Medeiros et al. (2012) Areia foi considerada um município de alta a intensa erosividade, principalmente no mês de junho, e relacionou os resultados a dependência das ocorrências de precipitação.

Santos (2015) analisando o período de retorno de eventos pluviais extremos para Cajazeiras através do método de isozonas identificou que para um período de 5 anos são esperados precipitações variando entre 176,2 mm a 193,7 valores muito superior aos encontrados na tabela 5.

Melo (2021) analisando período de retorno das chuvas extremas para João Pessoa no período de 1986 a 2020 constatou que se espera um valor de 123,6 mm a cada 2 anos, 155,4 mm a cada 4 anos e 169,8 mm a cada 10 anos, portanto em comparação com a tabela 5 houve um aumento do esperado de 3,1 mm para 2 anos, 3,2 mm para 5 anos e para 10 anos 2,2 mm.

5. CONCLUSÕES

A variabilidade mensal da precipitação na Paraíba indica estação chuvosa em meses diferentes entre as localidades do leste e oeste, entretanto é constatado que o período mais seco (setembro, outubro e novembro) abrange ambas as áreas da pesquisa. A pesquisa indicou também que todas as localidades estão sujeitas a outlier na maioria dos meses do ano.

A frequência de chuvas máximas anuais mostrou-se maior em João Pessoa e Cajazeiras, algo que reflete no número de eventos de acima de 50mm/ano, os anos de 1994, 2008, 2009, 2011 e 2020 e 2022 foram os de maiores números de eventos e 1998, 2001, 2010 e 2015 os de menores números.

A função de autocorrelação indica que os eventos extremos são independentes e os resultados dos modelos do GEV se ajustaram aos dados empíricos. Esperam-se períodos de retorno de eventos acima de 50mm/dia no mínimo uma vez a cada 2 anos para todas as localidades da pesquisa, resultados que quando comparados a outras pesquisas anteriores demonstram um aumento na intensidade e frequência ou estabilidade desses eventos.

De uma forma geral as estimativas do tempo de retorno das maiores chuvas diárias estão concentradas mais nas cidades analisadas nos extremos leste e oeste da Paraíba, os resultados corroboram com a pesquisa de Souza et al. (2022) no qual constaram que o retorno das maiores chuvas entre 5 e 50 anos evidenciam que as mesorregiões da Mata Paraibana e Sertão apresentaram os maiores registros de precipitação máxima diária.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A; GALVANI, E. Climatologia do regime de chuvas em Campina Grande, PB: modelos e variabilidades. **ENTRE-LUGAR**, v. 12, n. 24, p. 147-169, 2021.
- ARAÚJO, W. R; MEDEIROS, R. M; FRANÇA, M. V. Ocorrência de precipitação extremas em Cabaceiras - PB. in: anais do simpósio em clima, água, energia e alimentos - 2021, 2021, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/simclea-2021/trabalhos/ocorrencia-de-precipitacao-extremas-em-cabaceiras-pb?lang=pt-br>>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- BEIJO, L. A. **Distribuição de Gumbel: Estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras, MG. 2002. 91f.** 2002. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica)- Universidade Federal de Lavras.
- BEZERRA, A. P; MEDEIROS, L. R. A; CINHA, A. L. X; SILVA, M. T; SANTANA, C. F. D. Modelagem preditiva da precipitação para análise das inundações e suas consequências no município de Natal-RN. **Revista Geama**, v. 9, n. 1, p. 29-41, 2023.
- CHAVES, I. B; FRANCISCO, P. R. M; MACÊDO, M. L. A. Precipitação e erosividade das chuvas do estado da Paraíba. CONTECC 2021.
- CUNHA FILHO, M; OLIVEIRA, F. H. P. C; SHINOHARA, N. K S; PISCOYA, V. C; MEDEIROS, R, M; FRANÇA, M. V; MOREIRA, G. R; HOLANDA, R. M.. A modelagem em séries temporais para estimativa de precipitação máxima diária no município de Santo Bento do Una (Pernambuco-Brasil). **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 2, p. e321164-e321164, 2022.
- ESPINOZA, Nikolai S; SANTOS, C. A. C; SILVA, M. T et al.. Landslides triggered by the may 2017 extreme rainfall event in the east coast northeast of Brazil. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1261, 2021.
- JENKINSON, Arthur F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 81, n. 348, p. 158-171, 1955.
- MEDEIROS, E. A; ARAÚJO, H. M. C; MARTINS, M. F; PRADO JÚNIOR, L. S. Panorama de problemas relacionados a chuvas em Campina Grande como um novo indicador de desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira De Filosofia E História**, 12(1), 630 – 649, 2023. Recuperado de <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBFH/article/view/9788>

- MEDEIROS, R. M; FRANCISCO, P. R. M; VIEIRA, L. S. M; BANDEIRA, M. M. Avaliação do índice da erosividade da chuva no município de Areia-PB no período de 1910–2010. 2012.
- MELO, Maria Monalisa Mayara Silva. Eventos extremos de precipitação diária e desastres socioambientais nas capitais dos estados da costa leste do Nordeste do Brasil. 2021. 152 fl. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29250>
- MILLINGTON, Nick; DAS, Samiran; SIMONOVIC, Slobodan P. The comparison of GEV, log-Pearson type 3 and Gumbel distributions in the Upper Thames River watershed under global climate models. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario – Canada, report n. 77, set 2011. 2011.
- MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, S. de O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- SANTOS, Robson Arruda; DE LUCENA, Pedro Gomes; DA SILVA CARVALHO, Rafaela. Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1334-1343, 2015.
- PALUTIKOF, J.; BRABSON, B.; LISTER, D.; ADCOCK, S. A review of methods to calculate extreme wind speeds. **Meteorological Applications**, v. 6, n. 2, p. 119-132. 1999.
- PEREIRA¹, L. B. S; FIRMINO, L. Q; SOUSA, P. T. P; LOURENÇO, R. L. G; LOURENÇO, M. J. G. Análise da variação pluviométrica do município de catingueira/pb: a partir da série histórica de 1934 á 2016. Anais II CONIDIS. Campina Grande: **Realize Editora**, 2017. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/33110>>. Acesso em: 13/01/2024 11:16.
- SANTOS, E. B; LUCIO, P. S; SILVA, C. M. S. Seasonal analysis of return periods for maximum daily precipitation in the Brazilian Amazon. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, n. 3, p. 973-984, 2015.
- SENA, J.P.O; LUCENA, D.B; RIBEIRO, G.N; FRANCISCO, P.M; MORAIS, J.M. Estudo de caso: Análise dos anos extremamente chuvosos ou secos na região do sertão paraibano Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016.
- RABELLO, E. R. G; DINIZ, F. A; SILVA, J. F; SALES, N. D; NASCIMENTO, F. A; RAPOSO, K. L; ADRIANO, D. A; LEANDROT, I. V. Ocorrência de Chuvas Máximas

em CABACEIRAS-PB (Cidade mais SECA do Brasil) e os Eventos de Chuvas Máximas em 24 Horas Ocorridos em Março de 2008.

- SOUZA, L. S; MEDEIROS, E. S; GALBETTI, M. V; BICALHO, C. C; SANTOS, C. A. C; SHINNA, T, A; SILVA, A. Q; OLIVEIRA, L. A. Modelagem Espacial de Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 373-383, 2022.
- SOUZA, N. D, Lucena, D. B. (2023). Espacialização dos eventos extremos positivos de chuva no estado da Paraíba (1994 a 2018). **Revista De Geografia**, 40(1), 86–104. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.254761>
- SOUZA, L. S.; MEDEIROS, E. S; SILVA, A. Q; OLIVEIRA, L. A. Modeling the maximum daily rainfall in the municipality of João Pessoa-PB, Brazil, using the Extreme Value Theory. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 30, n. 18, p. 488–503, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.14886. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14886>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- SMITH, R. L. Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. **Biometrika**, London, 72, 67–90, doi:10.1093/biomet/72.1.67, 1985.
- TAVARES, M. G; SANTOS, E. B. Período de retorno das precipitações máximas diárias no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 274-290, 2022.
- WANDERLEY, L S. A; MORETTI, R. C. Variabilidade pluviométrica e as lavouras sazonais no município de Taperoá, Paraíba. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 9, p. 1181–1190-1181–1190, 2012.

CAPITULO 4

1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa, identificou 7 Grupos homogêneos de precipitação no estado da Paraíba, o maior deles se encontra no sertão paraibano englobando 43 localidades, as médias pluviométricas desses Grupos variam de 400 a 1800 mm, demonstrando uma intensa variabilidade.

Os testes de estacionariedade aplicados indicam que não há tendências positivas nem negativas para todos os Grupos, demonstrando que a gestão dos recursos hídricos relacionados a precipitação para a atualidade e para o futuro precisam ser estruturada baseados nesses resultados.

Os 7 Grupos homogêneos possuem variabilidades interanuais, onde é possível verificar no mesmo ano, Grupos com chuvas acima da média e Grupos com chuvas abaixo da média, indicando que o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos pluviais precisam ser pensados também em escala micro, devido as suas particularidades.

As variabilidades interanuais podem ser extremamente diferentes, a exemplo dos anos 2011-2012, em que a variação ultrapassou os 70% em todos os Grupos. Em 2011 o açude Epitácio Pessoa localizado no município de Boqueirão responsável pelo abastecimento da cidade de Campina Grande e outros 18 municípios verteu durante mais de 6 meses (março a setembro), o que fez a gestão responsável deixar a tubulação vertendo água para perenizar o Rio Paraíba durante todo ano de 2011, 2012 e 2013, entretanto a redução de 137,4% das chuvas em 2012 no Grupo 4 não ocasionou o fechamento da tubulação, mais apenas em 2013 quando houve mais um ano irregular de chuvas, foi que a tubulação vertedora foi fechada, houve muito descarte de água de forma e em níveis desnecessários, o que incrementou no quase colapso de abastecimento de Campina Grande no auge da crise hídrica em 2017. Esse fato demonstra a falta de conhecimento dessas discrepantes variabilidades interanuais.

Eventos extremos de precipitação pluvial em um período de 24 horas foram identificados em todas as áreas do estado da Paraíba, variando de 50 a 200 mm/dia. João Pessoa possui a média mais alta nesses eventos superando os 100 mm, entretanto Cabaceiras registrou o maior eventos das localidades estudadas com 218,2mm.

Em frequência anuais, destacaram-se os anos de 1996, 2000, 2008, 2009, 2011 e 2022 como os que ocorreram mais eventos acima de 50mm/dia nas localidades estudadas, João Pessoa, Cajazeiras e Catingueira foram as localidades que apresentaram os maiores números de eventos por ano.

Em frequência absoluta, João Pessoa possui os maiores valores entre 140 a 160mm, enquanto Cabaceiras possui os menores entre 40 a 60mm, apesar de ter sido a localidade que obteve o maior evento extremo da pesquisa, Cabaceiras demonstra mais uma vez que existe uma grande variabilidade até nos eventos extremos na mesma localidade. A gestão de recursos hídricos e outros responsáveis precisam ter o conhecimento dessas variabilidades para o preparo das áreas urbanas sujeitas a receber grandes volumes.

Todas as localidades demonstraram uma boa adesão ao modelo da Teoria dos Valores Extremos apresentando uma independência dos dados, o gráfico da função, densidade e probabilidade confirmou o ajuste do modelo, houve apenas uma superestimação na frequência de ocorrências onde a densidade de dados é maior.

O período de retorno desses eventos extremos indicam que se espera uma chuva de 50 mm/dia a cada 2 anos e eventos de 80 a 170 mm/dia para cada 10 anos em todas as localidades estudadas, esses resultados evidenciam que apesar de existirem anos consecutivos de chuvas abaixo da média, os eventos extremos podem acontecer, sendo mais uma característica da variabilidade pluvial do estado da Paraíba.

Os resultados obtidos nessa pesquisa fornece subsidio para o conhecimento dos períodos cíclicos das variabilidades que cada região do estado da Paraíba enfrenta, através dos respectivos valores de chuvas esperados pode-se estimar as recargas que os principais reservatórios e açudes podem obter em anos de chuvas abaixo da média, deixando margem para os órgãos de gestão do estado antever possíveis problemáticas hídricas que podem acontecer, com deficiente ou excesso hídrico, garantindo uma gestão eficiente.