

Pluviometric variability in the Santa Cruz do Capibaribe city, Pernambuco

Maria Eduarda Rodrigues da Silva*, Débora Emmanuele de Sousa Oliveira**, Leidjane Maria Maciel de Oliveira***, Sylvana Melo dos Santos****, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva*****

* Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru-PE, Pernambuco, Brasil, eduarda.rodrigues@ufpe.br;

** Mestranda do PPGECAM/UFPE, Caruaru-PE, Brasil, debora.emmanuele@ufpe.br;

*** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), UFPE, Recife-PE, Brasil, leidjane.oliveira@ufpe.br;

**** DECIV / UFPE, Recife-PE, Brasil, sylvana.santos@ufpe.br;

***** DECIV / UFPE, Recife-PE, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br

Received 30 November; accepted 05 December.

Abstract

The northeastern region of Brazil has always struggled with water scarcity and lack of rainfall. Human interventions are increasingly evident, affecting and causing environmental changes, altering the ecosystem, and modifying the climatic configuration and hydrographic regimes. Therefore, this study aims to analyze the pluviometric behavior in Santa Cruz do Capibaribe city, in the Agreste region of Pernambuco, over 35 years. A descriptive data analysis was carried out, including annual total precipitation (ATP), monthly and annual average rainfall, and monthly and annual maximum daily precipitation data. The Mann-Kendall tests, Sen's Slope estimator (β), and ANOVA were performed to identify trends and similarities in the data. For the analysis of variance, the study period (1988-2022) was subdivided into five groups, with seven years of data each, revealing that the mean ATP values for each seven years are similar. Regarding applying the Mann-Kendall test and Sen's Slope, no analyzed data showed a significant trend at the 5% level. However, a variation rate of $-1.25 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ was identified in accumulated precipitation for April. The data for maximum daily precipitation also did not show a significant trend at the 5% level. Some months exhibited a negative trend, while others showed a positive one, but no significant trend was identified. Regarding PTA, it was identified that the rainy season of the municipality goes from February to July and concentrates more than 75% of the total annual rainfall.

Keywords: Precipitation; Pluviometric variability; Analysis of variance (ANOVA); Trend analysis.

Variabilidade pluviométrica no município de Santa Cruz do Capibaribe - PE

Resumo

A região do nordeste brasileiro sempre sofreu com a escassez de água e falta de chuvas. As intervenções humanas estão cada vez mais em evidência afetando e causando transformações ambientais alterando o ecossistema, bem como modificando a configuração climática e nos regimes hidrográficos. Dessa forma, este estudo busca analisar o comportamento pluviométrico na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, no Agreste pernambucano, ao longo de um período de 35 anos. Realizou-se uma análise descritiva dos dados através da precipitação total anual (PTA), da chuva média mensal e média anual, além dos dados de precipitação máxima diária mensal e anual. Foram realizados os testes Mann-Kendall, estimador Sen's Slope (β) e ANOVA a fim de identificar a existência de tendência e similaridade nos dados. Para a análise de variância o período de estudo (1988-2022) foi subdividido em cinco grupos, com sete anos de dados, onde foi possível perceber que as médias de PTA dos setênios são similares. No tocante a aplicação do teste de Mann-Kendall e Sen's Slope, nenhum dado analisado apresentou tendência significativa ao nível de 5%, no entanto, foi identificado uma taxa de variação de $-1,25 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ na precipitação acumulada para o mês de abril. Os dados de precipitação máxima diária também não apresentaram tendência significativa ao nível de 5%. Assim, alguns meses obtiveram uma tendência negativa e outros positiva, porém nenhuma tendência significativa foi identificada. No que se refere a PTA, foi identificado que o período chuvoso concentra mais 75% das chuvas e vai de fevereiro a julho.

Palavras-chave: Precipitação; Variabilidade pluviométrica; Análise de variância (ANOVA); Análise de tendência.

1. Introdução

O aquecimento do sistema climático é inequívoco e, desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas não têm precedentes. As diversas esferas da sociedade têm identificado que a quantidade de desastres naturais está aumentando consideravelmente em decorrência das variações dos

parâmetros meteorológicos, em particular o regime pluviométrico. Indubitavelmente, a variabilidade climática e o aumento dos eventos meteorológicos, com ênfase nos parâmetros de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, tem alertado tanto as autoridades governamentais quanto os responsáveis por tomar decisões, em todos os segmentos da sociedade. Inegavelmente, todos os anos, milhões de

pessoas no mundo são afetadas pelos desastres naturais e mudanças climáticas, em particular os eventos extremos hidro climáticos, que acarretam grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais.

Dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) preveem que a temperatura da superfície da Terra aumente ao longo do século XXI. É presumível que as ondas de calor ocorram com mais frequência e durem mais tempo, e que os eventos extremos de precipitação se tornem mais intensos e frequentes em muitas regiões (IPCC, 2014). Incontestavelmente os eventos extremos como secas, enchentes, furacões e tempestades têm afetado diferentes partes do planeta e têm produzido enormes perdas econômicas e de vidas. Outrossim, Marengo (2007) enfatiza outros danos e impactos relacionados como alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar, e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica.

Compreende-se como eventos extremos valores anormais, ou seja, fora dos padrões de ocorrência, de uma variável em relação ao seu estado climático médio observado ao longo do tempo. É válido salientar que o evento extremo denominado como seca é caracterizado por longos períodos sem chuva que resultam em escassez hídrica. Segundo Araújo, Belchior e Viegas (2016), historicamente o nordeste brasileiro sempre foi afetado por grandes secas ou grandes cheias ao longo dos anos. Os períodos de seca prolongados produzem consequências severas para o semiárido nordestino e afetam muitos municípios pernambucanos, matando animais e ameaçando a sobrevivência de milhares de famílias, ocasionando um problema muito grave para o abastecimento urbano e para a geração de energia elétrica. Outrossim, as vazões de rios também são afetadas, pois resultam de uma complexa interação dos diversos processos de armazenamento e transporte do ciclo hidrológico, dependendo da capacidade de infiltração do solo e da chuva. Adicionalmente acarreta a modificação dos elementos naturais bióticos e abióticos da região, prejudicando diferentes elementos climáticos (Ramos, 2010).

No que diz respeito às chuvas intensas, estas ocasionam inundações, alagamentos, escorregamento das áreas susceptíveis, intensificam a erosão do solo e o transporte de sedimentos que assoreiam os leitos dos reservatórios de água e dos rios (Buriol et al., 2006). Moraes e Coutinho (2019) analisaram o evento climatológico ocorridos em 15 e 16 de abril de 2018 na Região Metropolitana de Fortaleza - CE (RMF). Segundos os Autores, durante o evento a RMF registrou uma precipitação acumulada de 182,5 mm, no período de 24 horas, a qual correspondeu a aproximadamente 51% da climatologia mensal de abril daquele ano, como consequência: alagamentos e transtornos em diversos bairros da capital; a água

atingiu níveis preocupantes invadindo casas e ocorreram também explosões em virtude de danos em fios de alta-tensão.

No Nordeste do Brasil, as atividades agrícolas, sobretudo no que se refere agricultura familiar, quase que em sua totalidade, são baseadas na precipitação e o conhecimento de sua variabilidade é de extrema importância (Santos et al., 2009). Embora o Brasil seja um país com alta concentração de terra, os pequenos agricultores são responsáveis por grande parte da produção para consumo nacional e são os mais vulneráveis às mudanças climáticas (Machado Filho et al., 2016). Logo a importância do estudo do regime da precipitação pluviométrica para mesorregião do Agreste do Estado de Pernambuco, no que concerne a severidade e os efeitos das vulnerabilidades, vem no intuito de ajudar os tomadores de decisão e as autoridades na prevenção dos desastres naturais, no planejamento das ações de defesa civil e nos recursos hídricos, podendo assim, evitar danos por inundações, enchentes e secas em áreas urbanas e rurais. Modelos matemáticos e/ou estatísticos podem ser usados para descrever e interpretar dados específicos de várias áreas, auxiliando substancialmente em tomadas de decisões.

À vista disso, o estudo dos eventos extremos tem sua relevância uma vez que viabiliza a implementação de medidas preventivas, resultando na redução de potenciais danos, por meio de um planejamento embasado em estudos anteriores.

Evidentemente, algumas técnicas ou estatísticas são usadas para diagnosticar tendências e/ou variações meteorológicas, especialmente de temperatura e precipitação. Dessa forma, o interesse pelas técnicas estatísticas tem aumentado consideravelmente, entre elas o teste estatístico de Mann-Kendall, Tau de Kendall, Sen's Slope, ANOVA e Teste de Normalidade. Tendência em uma série temporal é como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas (Back, 2001).

Os estudos que investigam tendências em séries pluviométricas têm ganhado importância devido aos benefícios causados pelos resultados podendo assim aplicá-los de modo confiável.

Atualmente, entre os diversos esforços realizados sobre o tema de aquecimento global, destaca-se a detecção com base em métodos estatísticos de indícios de mudanças climáticas em longas séries meteorológicas, por estes aspectos, optou-se por estudar as séries temporais e espaciais de precipitações do Agreste do Estado de Pernambuco. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é analisar a variabilidade pluviométrica no município de Santa Cruz do Capibaribe – PE, através da análise da tendência da precipitação acumulada e da precipitação

máxima diária, por meio dos testes de Mann-Kendall, Sen's Slope e ANOVA.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

O Agreste é uma sub-região geográfica de transição entre a Zona da Mata e o Sertão do Nordeste. Caracteriza-se pelo clima semiárido e pela vegetação de Caatinga. O Agreste é uma zona geográfica de transição situada na região Nordeste brasileira. A região possui uma população de quase dois milhões de pessoas distribuídas em uma área de mais de 24 mil quilômetros, o que representa quase um quarto do território do Estado (Yamaguchi et al., 2009). Para estruturar uma análise representativa dessa mesorregião o estado de Pernambuco, efetuou-se uma triagem qualitativa de postos pluviométricos contidos no Agreste, a fim de selecionar o mais adequado no quesito assiduidade de dados. Portanto, os critérios de

seleção envolveram a ausência de falhas de dados no período analisado.

Por conseguinte, o posto selecionado está alocado no município de Santa Cruz do Capibaribe, conforme apresentado na Figura 1, cujo território municipal, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), é de 385,55 km². Situa-se a 07°57'27" de latitude Sul e 36°12'17" de longitude Oeste, estando a cerca de 190,7 km da capital estadual, cujo acesso é feito pela BR-232/104 e PE-160. Os municípios limítrofes são Jataúba, a Oeste; Caraúbas (Paraíba) e Barra de São Miguel (Paraíba), a Norte; Alcantil (Paraíba) e Taquaritinga do Norte, a Leste; e Brejo da Madre de Deus e Toritama, a Sul. A cidade de Santa Cruz do Capibaribe está inserida na bacia do Rio Capibaribe, e está localizado na Unidade Geoambiental do Planalto da Borborema, a sua vegetação é composta pela caatinga hiperxerófila, e com trechos de mata atlântica. O clima é do tipo Tropical Semiárido (CPRM, 2005; CPRM, 2017).

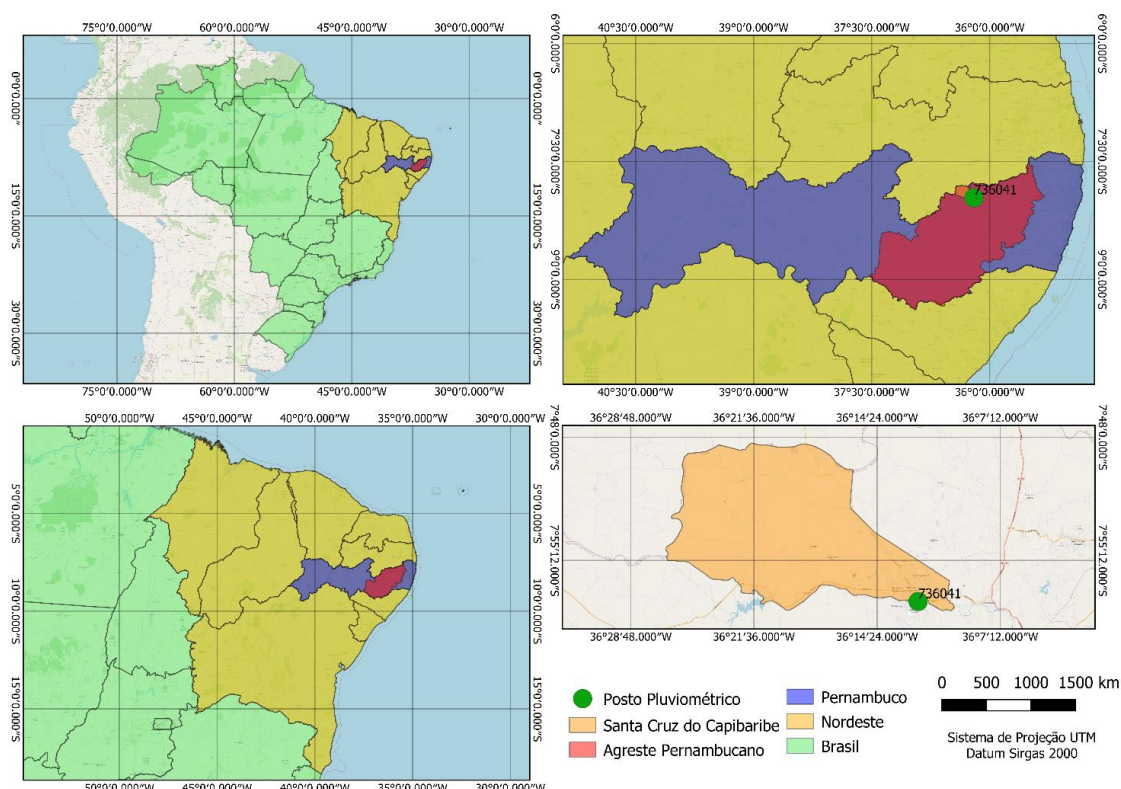


Figura 1 - Localização do Posto pluviométrico 736041, em Santa Cruz do Capibaribe, Pernambuco.

2.2 Dados pluviométricos

Foram utilizados dados diários de precipitação pluvial do posto de Código 736041, obtidos junto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). O período escolhido para análise foi de 1988 a 2022,

totalizando 35 anos de dados para o município de Santa Cruz do Capibaribe no Agreste pernambucano.

2.3 Teste de Normalidade

De maneira abstrata, o teste de normalidade é uma técnica estatística empregada para avaliar se uma amostra de dados específica segue uma distribuição normal ou gaussiana. A distribuição normal é

conhecida por apresentar uma curva simétrica em formato de sino, na qual a média, a mediana e a moda são idênticas.

Uma técnica comumente usada para verificar a normalidade dos dados é o gráfico de probabilidade normal (Souza, 2019). Esta consiste em ordenar os dados em ordem crescente, em seguida, calcula-se a esperança matemática. Após isso, faz-se o cálculo da função inversa da distribuição normal. Por fim, plota-se o gráfico X_i versus $\varphi^{-1}[\frac{i}{n+1}]$.

Supondo que tenhamos uma amostra aleatória $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ de uma variável aleatória Y com distribuição Normal $(0, 1)$, e que realizemos a ordenação $Y_1 \leq Y_2 \leq \dots \leq Y_n$, onde Y_i representa a i -ésima estatística de ordem ($i = 1, 2, \dots, n$). Denotando por $E\{Y_i\}$ a esperança matemática de Y_i , pode ser demonstrado que, para todo i , a seguinte aproximação é válida, conforme Equação (1):

$$\varphi[E\{Y_i\}] \approx \frac{i}{n+1} \rightarrow E\{Y_i\} \approx \varphi^{-1}\left[\frac{i}{n+1}\right] \quad (1)$$

No presente trabalho o teste de normalidade foi realizado do através do software PAST 3 (Paleontological Statistics) (Hammer et al., 2001).

2.4 Análise de Variância

A Análise de Variância (ANOVA) é um conjunto de situações experimentais e procedimentos estatísticos que visam analisar de forma abrangente as respostas quantitativas das unidades experimentais (Devore, 2006). Na área de precipitações, alguns estudos têm empregado essa técnica para realizar comparações entre médias de dados pluviométricos de séries temporais, tanto de um ou mais locais, quanto de dados obtidos por diferentes metodologias.

Para esse trabalho, a ANOVA foi aplicada em cinco grupos onde cada um teve exatamente sete anos de dados, sendo estes: setênio_1 (1988 a 1994), setênio_2 (1995 a 2001), setênio_3 (2002 a 2009) e, assim, sucessivamente, considerando o período de 1988 a 2022. Nesta análise qualitativa, utiliza-se a ANOVA de fator único para realizar o teste F de Fisher-Snedecor. O objetivo é verificar a hipótese nula de que as médias populacionais ou de tratamento são idênticas. O teste foi realizado através do software PAST 3 (Paleontological Statistics) (Hammer et al., 2001) e da ferramenta Excel.

2.5 Metodologia Mann-Kendall

Em viés conceitual, evidencia-se que Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se a série analisada de dados possui uma tendência temporal de alteração

estatisticamente significativa. Em virtude do fato de tratar-se de um método não paramétrico, este não requer distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas. Todavia, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios. Em suma, o método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula (H_0), de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância (α). O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira.

A variável estatística S , por sua vez, para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall é calculada a partir da somatória dos sinais (sgn) da diferença, par a par, de todos os valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j), expressa nas Equações (2) e (3):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (3)$$

Evidencia-se, portanto, que tem sido documentado para observações maiores que 10 anos ($n > 10$) que a estatística ‘ S ’ é aproximadamente normal com média e esperança $E(S)$ iguais à zero (Kendall, 1975). Neste caso, a variância é dada por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n ti(i-1)(2i+5)}{18} \quad (4)$$

O índice Z_{MK} segue a distribuição normal, na qual a sua média é igual a zero, valores positivos indicam uma tendência crescente e negativos tendências decrescentes. De acordo com o sinal de S , o índice Z_{MK} da distribuição normal é calculado a partir da Equação 5.

$$Z_{MK} = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S > 0 \quad (5)$$

$$Z_{MK} = 0; \text{ para } S = 0$$

$$Z_{MK} = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S < 0$$

Além disso, por se tratar de um teste bicaudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Neste caso, foi adotado $\alpha = 5\%$, logo, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$. Portanto, será

considerada que a série tenha uma tendência significativa ao nível de 5% caso $Z_{MK} > 1,96$.

O coeficiente τ mede a magnitude da relação entre x e y (Bari et al., 2016). O coeficiente é utilizado para avaliar a relação da tendência ao longo do tempo. A correlação de Tau de Kendall (τ) pode ser obtida pela Equação 6.

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (6)$$

2.6 Estimador Sen's Slope

Em diretrizes conceituais, salienta-se que esse teste Sen's Slope é uma alternativa não paramétrica para estimar uma inclinação para uma série temporal univariada, ou seja, a taxa de variação de parâmetros. Essa abordagem envolve a computação de declives para todos os pares de pontos de tempo ordinais e, em seguida, usando a mediana desses declives como uma estimativa da inclinação geral (β) (Sen, 1968). O teste é insensível a outliers e pode ser usada para detectar se há uma tendência nos dados, obtido pela Equação 7.

$$\beta = \text{Mediana}\left(\frac{X_i - X_j}{j - i}\right) \quad (7)$$

onde X = precipitação correspondente ao ano j e i , sendo j sempre menor que i .

As análises de tendência (teste de Mann-Kendall e estimador Sen's Slope) foram conduzidas utilizando a linguagem de programação Python (Hussain e Mahmud, 2019). Todos os testes abordados no presente estudo foram realizados ao nível de significância de 5%.

3. Resultados e discussão

3.1 Análise descritiva da precipitação

A evolução da precipitação total anual (PTA) no período analisado é apresentada na Figura 2. A

PTA média encontrada nesse período foi 454,95 mm. Evidencia-se o ano de 2004 que apresentou a maior PTA da série histórica. Nesse ano foi registrado 793,6 mm de chuva, valor que corresponde a 174,4% do valor médio, indicando um ano de chuvas intensas no município. Andrade et al. (2018), que analisaram variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano, exploraram a série histórica de 1985 a 2017, onde 2004 apresentou uma precipitação média de 683,9 mm, sendo a maior do período. Dessa forma, o ano de 2004 apresentou chuvas intensas não só para o município de Santa Cruz do Capibaribe, mas para todo Agreste pernambucano.

Verifica-se, ainda, que os menores valores de PTA ocorreram em 1993 (125,8 mm) e 1998 (192,9 mm), quando choveu menos da metade do valor médio e em 2012 (247,6 mm). Pereira et al. (2017), que analisaram a variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos, explorando a série histórica de 1963 a 2013, realizaram o levantamento dos documentos emitidos oficialmente através dos registros disponíveis no Ministério da Integração Nacional a respeito dos desastres naturais nos três anos mais secos (1993, 1998 e 2012) para a região do Agreste Central de Pernambuco. Os Autores identificaram que em 1993 foram emitidas 14 portarias decretando estado de calamidade pública, ocasionada pela seca, e uma pela estiagem, associadas aos baixos índices pluviométricos registrados na região. Em 1998 foram identificados 11 documentos oficiais em decretando estado de emergência ocasionado pela estiagem. Em 2012 foram identificados 15 registros, seis através de Portarias e nove em Avadan (Formulário de Avaliação de Danos e Necessidades Após Desastre). É válido enfatizar que os períodos de seca no Nordeste brasileiro são responsáveis por causar impactos econômicos e perdas expressivas na agricultura e pecuária, além de acarretar a indisponibilidade hídrica para o consumo humano (Wanderley et al., 2013).

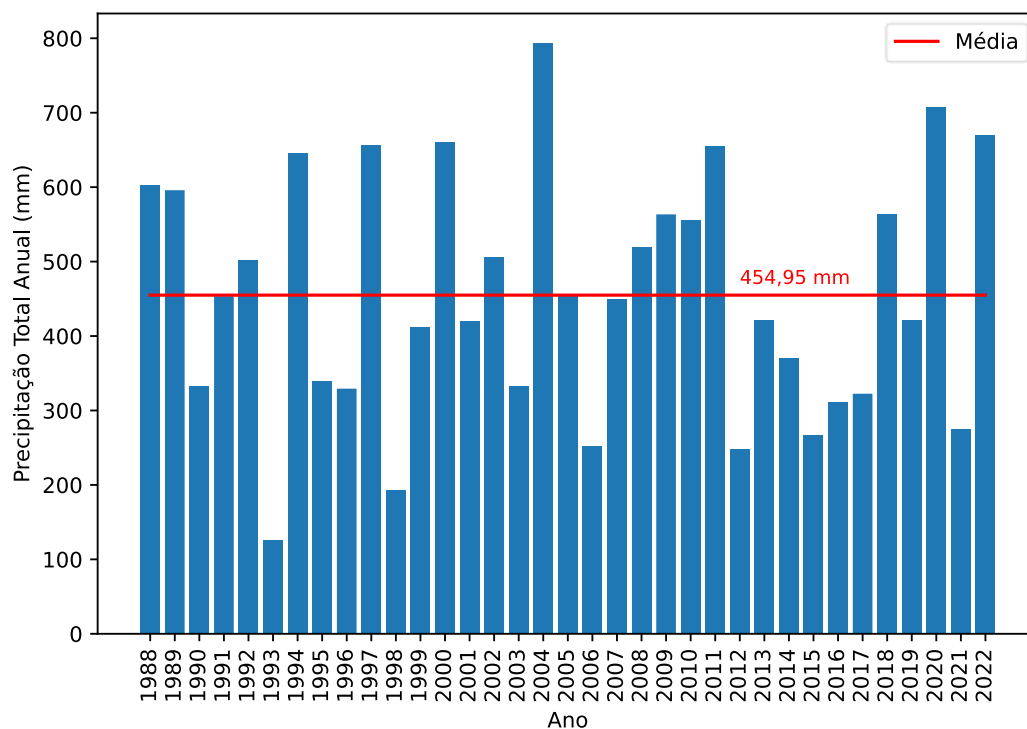


Figura 2 - Precipitação Total Anual (PTA) de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Na Figura 3 consta expressa a distribuição das chuvas ao longo do ano. Verifica-se que o período chuvoso vai de fevereiro a julho, apresentando precipitações superiores à média mensal que corresponde a 37,91 mm. Destaca-se, ainda, que o acumulado para esse período (343,03 mm) corresponde a 75,4% da chuva anual média (454,95

mm), indicando que as chuvas locais são extremamente concentradas nesse período. O mês que apresentou a maior precipitação média foi abril, com 67,19 mm. Possuindo uma média de 5,58 mm, o mês de outubro apresentou os menores valores de precipitação.

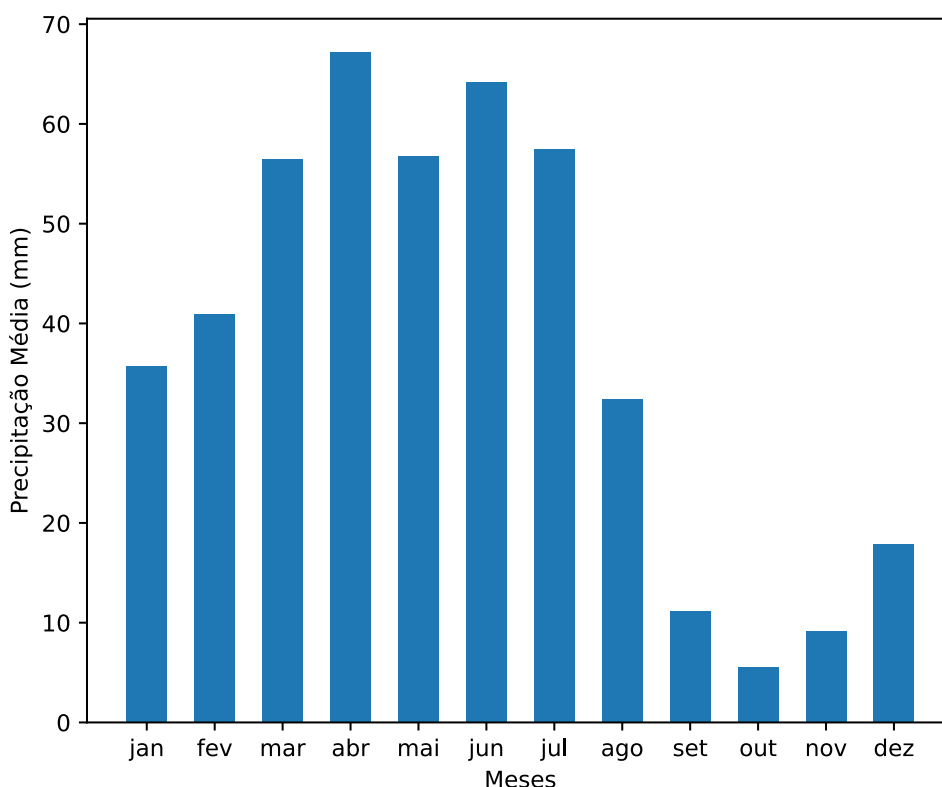


Figura 3 - Média das precipitações mensais do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, todos os meses apresentaram valores de precipitação muito dispersos, possuindo coeficiente de variação superior a 50%. Isto posto, pode-se afirmar que os valores de média mensal não são representativos, uma vez que a região possui uma alta variabilidade dos dados pluviométricos, podendo apresentar anos de seca extrema ou de chuvas intensas. Grande parte do

território brasileiro, exceto a região Nordeste, apresenta um regime pluviométrico regular, de acordo com Nery, Martins e Sant'ana (2002). Ledru et al. (2020) e Araújo, Belchior e Viegas (2016) evidenciam que o Nordeste do Brasil não só é a região semiárida mais densamente povoada e biodiversa do planeta, como também é uma das mais vulneráveis às alterações climáticas.

Tabela 1 - Medidas descritivas da precipitação média mensal e total anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Mês	Média	S	Cv	Mediana	Máximo	Mínimo
Jan	35,73	48,88	136,78	17,90	231,20	0,00
Fev	40,93	34,99	85,48	36,80	130,20	0,00
Mar	56,46	59,25	104,93	34,90	289,60	0,00
Abr	67,19	57,10	84,98	65,30	307,30	0,00
Mai	56,78	39,64	69,81	51,20	160,80	1,40
Jun	64,20	45,54	70,93	57,30	231,80	9,30
Jul	57,47	31,07	54,07	57,40	130,80	9,90
Ago	32,43	24,26	74,79	24,50	101,60	1,70
Set	11,21	14,25	127,08	4,60	63,80	0,00
Out	5,58	8,74	156,64	2,30	39,70	0,00
Nov	9,11	19,27	211,51	2,00	105,40	0,00
Dez	17,86	29,25	163,82	1,80	139,80	0,00
Anual	454,95	163,30	35,89	448,70	793,60	125,80

S: Desvio-padrão; Cv: Coeficiente de variação.

As medidas descritivas da série de dados de precipitação acumulada são apresentadas na Figura 4. No que diz respeito a dispersão dos dados, é possível identificar que o período chuvoso tem uma variabilidade maior, porém, com exceção de julho,

todos os meses apresentaram outliers. Destaca-se o máximo outlier, que corresponde a 307,3 mm e refere-se à precipitação de abril de 2018. A precipitação acumulada em abril desse ano representa 54,0% da PTA, cujo valor é de 564,0 mm.

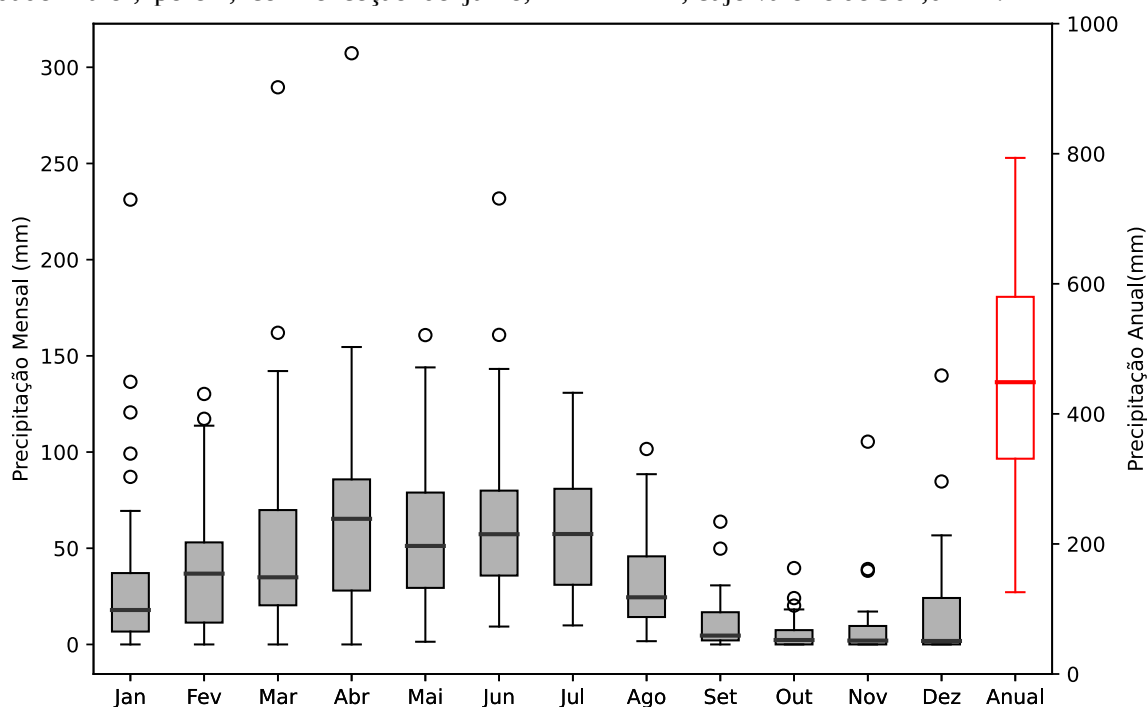


Figura 4 - Boxplot da precipitação mensal e total anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

No que diz respeito as chuvas intensas, que são frequentemente associadas a parte litorânea do Nordeste, estas podem resultar em inundações e deslizamentos, além dos impactos socioambientais como: elevado número de mortes, feridos e desabrigados; proliferação de doenças e perdas econômicas (Moraes e Coutinho, 2019; Costa et al., 2021). Ao analisar a variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos para o período de 1979 a 2010, Nóbrega, Farias e Santos (2015) concluíram que as chuvas estão cada vez mais concentradas em poucos dias ao longo do ano nos sertões e agreste de Pernambuco. De acordo com os autores, no que se refere ao sertão pernambucano,

foram observados episódios extremamente secos, assim como, a ocorrência de eventos extremamente chuvosos.

Isto posto, a evolução da precipitação máxima diária anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022 é apresentada na Figura 5. A precipitação máxima diária anual média encontrada nesse período foi 53,24 mm. Evidencia-se o ano de 2018 que apresentou a maior precipitação máxima diária da série histórica. Em abril desse ano foi registrado 139,70 mm de chuva em um dia, valor que corresponde a 45,4% do valor de precipitação acumulada para o mês inteiro e 207,9% do valor da precipitação média mensal para o mês de abril.

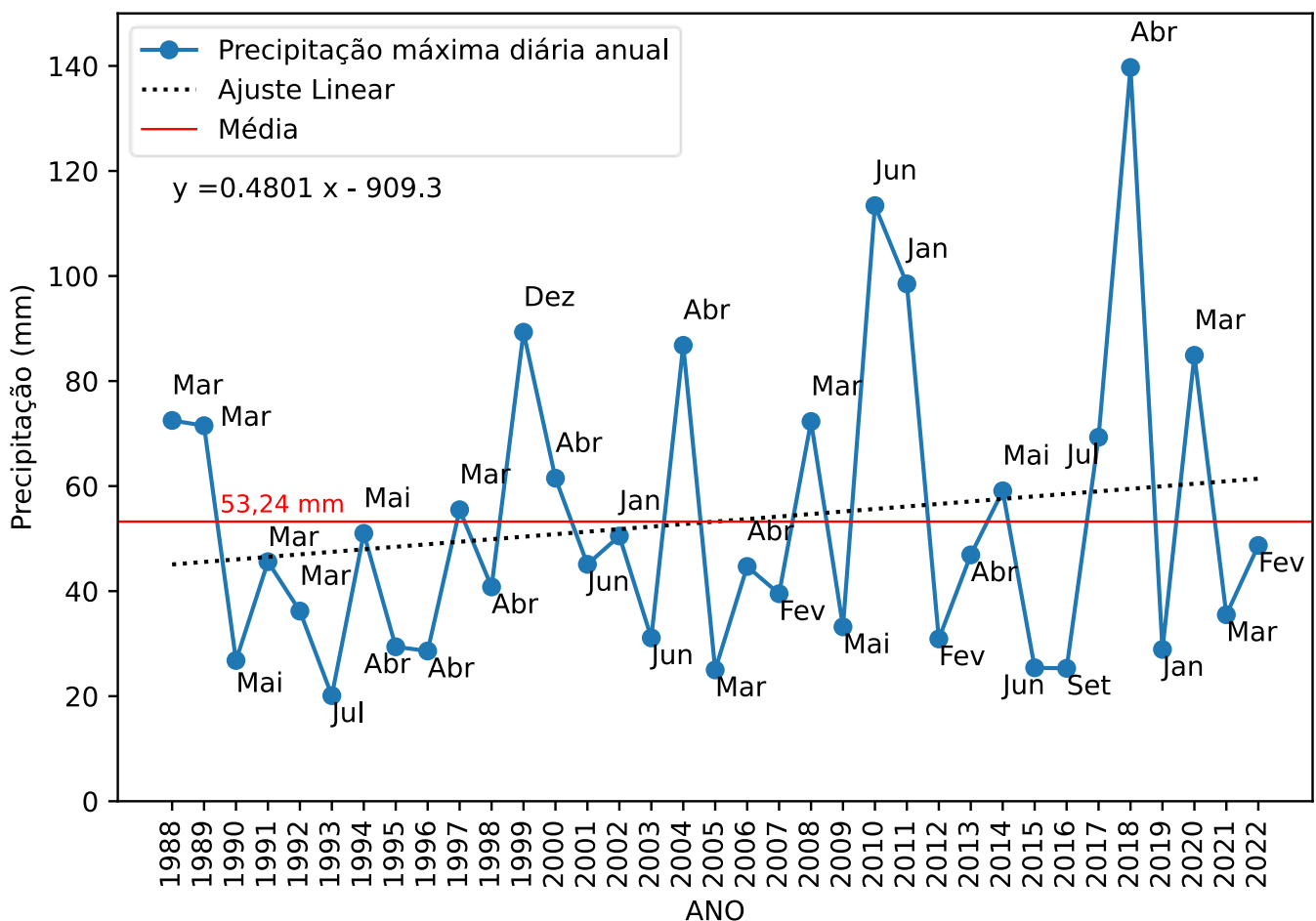


Figura 5 - Precipitação máxima diária anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Na Tabela 2 consta expressa a evolução das precipitações máximas diárias ao longo do ano. Verifica-se que as chuvas mais intensas ocorreram nos meses de janeiro, março, abril, junho e dezembro. Observa-se ainda que os valores médios possuem

magnitude bem inferior aos valores máximos. É válido destacar que todos os meses apresentaram coeficiente de variação superior a 50%, portanto, os valores de média mensal não são representativos.

Tabela 2 - Medidas descritivas da precipitação máxima diária mensal e anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Mês	Média	S	Cv	Mediana	Máximo	Mínimo
Jan	17,27	22,38	129,59	9,40	98,50	0,00
Fev	21,28	14,68	68,97	22,50	49,20	0,00
Mar	25,94	21,93	84,55	19,00	84,90	0,00
Abr	28,56	26,72	93,58	21,70	139,70	0,00
Mai	18,14	13,15	72,49	13,70	59,10	0,60
Jun	20,69	18,74	90,57	16,90	113,40	4,20
Jul	17,68	12,45	70,43	14,20	69,30	2,60
Ago	12,65	12,08	95,52	9,90	69,00	1,10
Set	5,18	6,12	117,99	3,10	25,30	0,00
Out	3,71	5,64	151,96	1,40	26,00	0,00
Nov	5,87	10,22	174,10	2,00	44,50	0,00
Dez	10,57	18,17	171,92	1,60	89,30	0,00
Anual	53,24	27,53	51,71	45,60	139,70	20,10

S: Desvio-padrão; Cv: Coeficiente de variação.

3.2 Teste gráfico de Normalidade

Consta expresso na 6 o resultado obtido na aplicação do teste de normalidade. Verifica-se que o gráfico de valores da variável aleatória em ordem crescente pela função inversa da distribuição Normal se ajusta a uma reta, com coeficiente de correlação equivalente a 0,9901. Desta forma, evidencia-se que a

amostra segue a distribuição Normal, o que pode ser visualizado no gráfico histograma com ajuste a uma curva normal apresentado na Figura 1. Isto posto, constata-se que a variável aleatória atende esse pressuposto necessário para a aplicação do teste ANOVA.

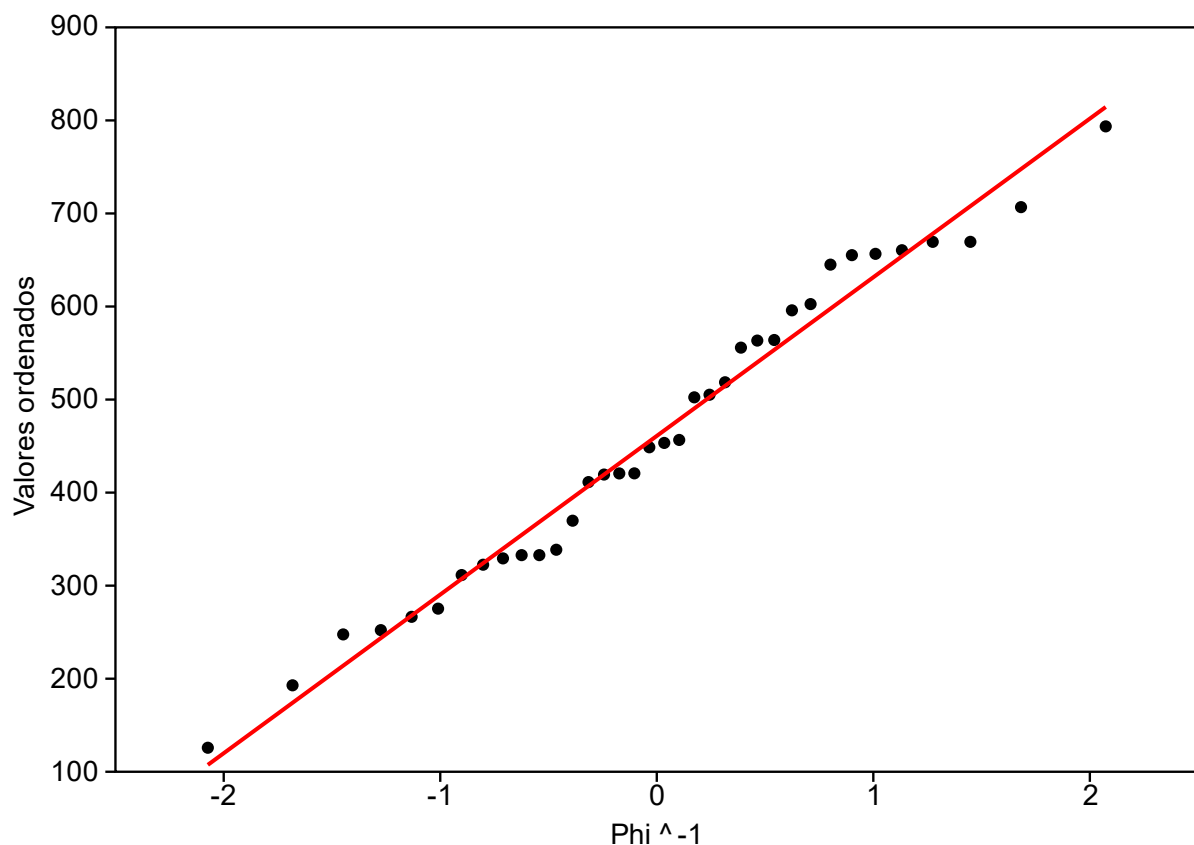


Figura 6 - Resultado do teste gráfico de normalidade dos dados de PTA município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

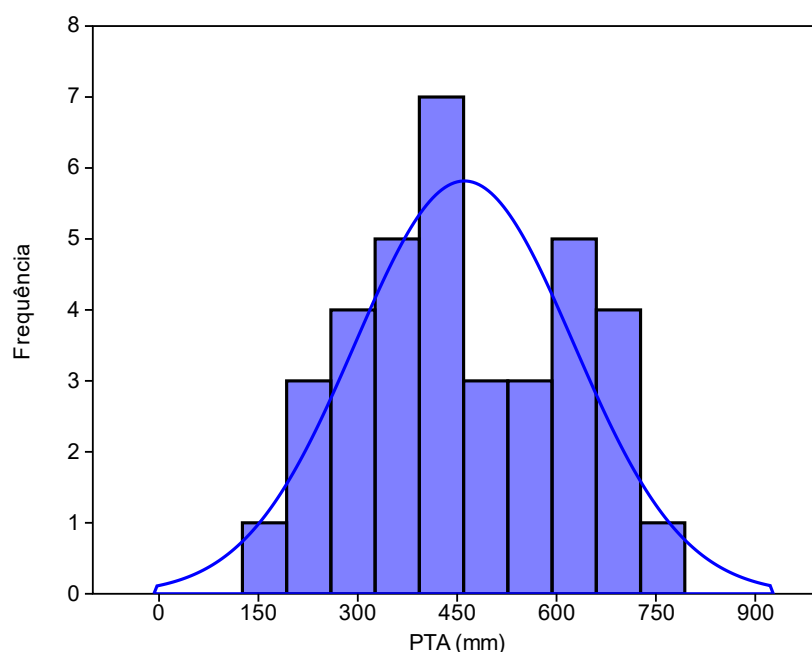


Figura 1 - Gráfico histograma com ajuste a uma curva Normal dos dados de PTA para o município de Santa Cruz do Capibaribe-PE, período de 1988 a 2022.

3.3 Análise de variância com um fator (ANOVA)

Tendo em vista que a Análise de Variância (ANOVA) é um teste utilizado para comparar se há diferenças significativas entre valores médios, o teste foi aplicado a fim de verificar a existência de diferenças significativas na PTA média. Dessa forma, o período de análise foi subdividido em cinco grupos, onde cada grupo corresponde a 7 anos de dados.

Isto posto, o ANOVA possibilitou comparar as médias da PTA de cada setênio (1988-1994; 1995-

2001; 2002-2008; 2009-2015; 2016-2022) para verificar se elas são estatisticamente diferentes ou semelhantes, ao nível de significância de 5%. O resultado da aplicação do teste ANOVA consta expresso na Tabela 3, bem como o resultado do teste de homogeneidade da variância entre os grupos, que é um pressuposto necessário para confiabilidade do valor p para a estatística F. Posto isso, verifica-se que a estatística F observada não é maior que o F crítico, portanto, a hipótese de que as médias de PTA dos setênios são similares não pode ser rejeitada.

Tabela 1 - Resultado da aplicação do teste ANOVA as médias da precipitação total anual, de cada setênio, do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	10000,33	4	2500,083	0,08365	0,986825	2,689628
Dentro dos grupos	896627,5	30	29887,58			
Total	906627,8	34				

Teste de homogeneidade das variâncias, a partir de médias

valor-p: 0,9552

SQ: soma dos quadrados; GL: grau de liberdade; MQ: quadrado médio; F: fator F de Fisher-Snedecor calculado.

3.4 Análise de tendência

Os resultados dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope para precipitação acumulada são apresentados na Tabela 4. Foram analisadas as precipitações acumuladas de cada mês do ano. Isto posto, nenhum dado analisado apresentou tendência significativa ao nível de 5%. É possível identificar uma tendência positiva, não significativa, para os meses de janeiro, fevereiro, maio, junho, setembro e

dezembro. O restante dos meses apresentou tendência negativa, também não significativa. Apesar dos resultados do teste de Mann-Kendall não apresentarem tendência significativa, foi identificada, através do Sen's Slope, uma taxa de variação que equivale ao decréscimo de 1,25 mm.ano⁻¹ para o mês de abril. A relação da tendência ao longo do tempo, avaliada através do coeficiente de correlação de Kendall, Tau de Kendall, e foi considerada fraca ou inexistente para todos os parâmetros analisados.

Tabela 2 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope da precipitação acumulada mensal e anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Parâmetros	S	Var	Z _{MK}	τ	β
Jan	71	4941,67	1,00	0,12	0,40
Fev	23	4949,67	0,31	0,04	0,12
Mar	-25	4958,33	-0,34	-0,04	-0,15
Abr	-104	4957,33	-1,46	-0,17	-1,25
Mai	68	4957,33	0,95	0,11	0,60
Jun	35	4958,33	0,48	0,06	0,41
Jul	-94	4957,33	-1,32	-0,16	-0,77
Ago	-49	4956,33	-0,68	-0,08	-0,31
Set	21	4947,67	0,28	0,04	0,02
Out	-38	4788,67	-0,53	-0,06	0,00
Nov	-73	4623,67	-1,06	-0,12	0,00
Dez	41	4745,67	0,58	0,07	0,00
Anual	2	4957,33	0,01	0,00	0,02

S: coeficiente S de Sen's Slope; Var: variância; Z_{MK}: índice da distribuição Normal; τ : Tal de Kendall; β : estimativa da inclinação de Sen's Slope.

Os resultados dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope para precipitação máxima diária são apresentados na

Tabela 3. Foram analisadas as precipitações máximas diária de cada mês do ano, ao longo do período analisado. Isto posto, nenhum dado analisado apresentou tendencia significativa ao nível de 5%. É possível identificar uma tendencia positiva, não significativa, para os meses de janeiro, fevereiro, maio, junho, setembro e dezembro. O restante dos meses apresentou tendência negativa, também não significativa. Apesar dos resultados do teste de Mann-Kendall não apresentarem tendência significativa, identificou-se, uma taxa de variação que equivale ao

decréscimo de 0,22 mm.ano⁻¹ para o mês de abril e um acréscimo de 0,22 mm.ano⁻¹ para o mês de janeiro. No cenário anual o Sen's Slope identificou-se um acréscimo de 0,22 mm.ano⁻¹. Nos meses de outubro, novembro e dezembro foram encontrados valores de β tão próximos à zero podendo considerar a mudança no comportamento das chuvas como constantes. A relação da tendência ao longo do tempo, avaliada através do coeficiente de correlação de Kendall, Tau de Kendall, e foi considerada fraca ou inexistente para todos os parâmetros analisados.

Tabela 3 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope da precipitação máxima diária mensal e anual do município de Santa Cruz do Capibaribe-PE para o período de 1988 a 2022.

Parâmetros	S	Var	Z _{MK}	τ	β
Jan	87	4939,67	1,22	0,15	0,22
Fev	40	4948,67	0,55	0,07	0,13
Mar	-4	4957,33	-0,04	-0,01	-0,01
Abr	-59	4956,33	-0,82	-0,10	-0,22
Mai	56	4955,33	0,78	0,09	0,16
Jun	61	4958,33	0,85	0,10	0,17
Jul	-107	4954,33	-1,51	-0,18	-0,20
Ago	-90	4957,33	-1,26	-0,15	-0,13
Set	14	4946,67	0,18	0,02	0,01
Out	-36	4791,33	-0,51	-0,06	0,00
Nov	-66	4622,67	-0,96	-0,11	0,00
Dez	44	4744,67	0,62	0,07	0,00
Anual	33	4958,33	0,45	0,06	0,22

Ao utilizar Mann-Kendall, Alcântara et al. (2019) obtiveram tendências negativas não significativas para precipitação no município de Toritama, no agreste pernambucano, o mesmo obtido por Alcântara et al. (2020) ao analisar o regime pluviométrico da cidade de Recife, capital pernambucana. Ao aplicar análises de tendências para dados pluviométricos na região hidrográfica do rio São Francisco, Silva, Ferreira e de Ávila (2021) também identificaram tendência negativa na série histórica. Esse fato indica que apesar de não terem sido encontradas tendências significativas, é necessário evidenciar que o nordeste brasileiro pode estar passando por uma alteração no seu regime pluviométrico no que diz respeito a distribuição da precipitação ao longo do ano.

4. Conclusões

O presente estudo realizou uma análise descritiva dos dados anuais e mensais de chuva, além de análise de variância para as precipitações totais anuais e análise de tendência das precipitações acumuladas mensais e anual para a cidade de Santa Cruz do Capibaribe-PE. Foram analisados também os dados referentes as precipitações máximas diárias mensal e anual para o município.

Identificou-se que o período chuvoso do município vai de fevereiro a julho e concentra mais 75% da chuva total anual. Observou-se que os valores de média mensal para todos os meses apresentaram coeficiente de variação ser superior a 50%, indicando que as médias mensais não são representativas devido à alta variabilidade dos dados. No ano de 2004 foi registrada a maior precipitação total anual acumulada da série histórica, 793,6 mm que corresponde a 174,4% do valor médio. Nos anos de 1993, 1998 e 2012 foram registrados os menores volumes de chuva para a região. Ademais, em abril de 2018 foi registrado a maior valor de precipitação diária referente ao período analisado, em um dia choveu 139,70 mm, valor que corresponde 207,9% do valor da precipitação média mensal para o mês de abril.

O teste ANOVA possibilitou comparar as médias da precipitação total anual de cada setênio (1988-1994; 1995-2001; 2002-2008; 2009-2015; 2016-2022), cujo resultado indicou que a hipótese de que as médias de PTA dos setênios são similares não pode ser rejeitada, ao nível de significância de 5%.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall demonstrou não haver nenhuma mudança significativa a 5% nas chuvas em estudo. Apesar disso, o Sen's Slope (β) mostrou uma taxa de variação de $-1,25 \text{ mm.ano}^{-1}$ para a precipitação acumulada do mês de abril (também não significativa). No que tange a precipitação máxima diária Sen's Slope (β) mostrou uma taxa de variação de $-0,22 \text{ mm.ano}^{-1}$ para o mês de

abril e de $0,22 \text{ mm.ano}^{-1}$ para o mês de janeiro. No cenário anual o Sen's Slope identificou um acréscimo de $0,22 \text{ mm.ano}^{-1}$ para a precipitação máxima diária (também não significativa).

A relação da tendência ao longo do tempo, avaliada através do coeficiente de correlação de Kendall, Tau de Kendall, e foi considerada fraca ou inexistente para todos os parâmetros analisados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), processos: IBPG-1011-3.01/22, IBPG-2235-3.01/22 e APQ-1535-3.01/22 - Ecotecnologias inovadoras para manejo sustentável das águas pluviais urbanas.

Referências

- Alcântara, L.R.P., Costa, I.R.A., Barros, V.H.O., Santos Neto, S.M., Coutinho, A.P., Antonino, A.C.D., 2019. Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 04 N. 02 130-139.
- Alcântara, L.R.P., Silva, M.E.R., Santos Neto, S.M., Lafayette, F.B., Coutinho, A.P., Montenegro, S.M.G.L., Antonino, A.C.D., 2020. Mudanças climáticas e tendências do regime pluviométrico do Recife. *Research, Society and Development*, 9(3), e178932583-e178932583.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil), 2023. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas. [banco de dados]. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: junho de 2023.
- Andrade, A.R.S., Neto, A.H.G., Silva Cruz, A.F., 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.
- Araújo, A.R., Belchior, G.P.N., Viegas, T.E.S., 2016. Os impactos das mudanças climáticas no nordeste brasileiro. Fortaleza: Fundação Sintaf, 1-382.
- BACK, A.J., 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36., 717-726.
- Bari, S.H., Rahman, M.T.U., Hoque, M.A.H., Hussain, M.M., 2016. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. *Atmospheric Research*, v.16. 148-158.

- Buriol, G.A., Estefanel, V., Swarowsky, A., D'avila, R.F., Heldwein, A.B., 2006. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11., 89-97.
- Costa, I.S, Medeiros, E.S., Silva, A.Q., Medeiros, C.C.B., Oliveira, L.A., 2021. Mapeamento da precipitação em uma região do Nordeste Brasileiro por meio de técnicas geoestatística. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(5), 761-769.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: diagnóstico do município de Santa Cruz do Capibaribe. CPRM: Recife.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. Geologia e recursos minerais da folha Santa Cruz do Capibaribe SB. 24-ZD-VI: estados da Paraíba e Pernambuco. CPRM: Recife.
- Devore, Jay L., 2006. Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências. Cengage.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1): 9pp.
- Hussain, M.M., Mahmud, I., 2019. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *J. Open Source Softw.*, 4, 1556.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kendall, M.G., 1975. Rank correlation methods. 4.ed. Londres: Charles Griffin.
- Ledru, M.P., Jeske-Pieruschka, V., Bremond, L., Develle, A.L., Sabatier, P., Martins, E.S.P.R., Araújo, F.S., 2020. When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. *Science of the Total Environment*, v. 723, 137989.
- Machado Filho, H., Moraes, C., Bennati, P., De Aragão Rodrigues, R., Guilles, M., Rocha, P., Lima, A., Vasconcelos, I., 2016. Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil. International Policy Centre for Inclusive Growth.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometria*, v.13, 245-259.
- Marengo, J.A., 2007. Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC. Relatório, Ministério do Meio Ambiente (SBF-MMA).
- Moraes, D., Coutinho, M., 2019. Evento de precipitação intensa ocorrido nos dias 15 e 16 de abril de 2018 em Fortaleza-CE: Estudo de caso. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25.
- Nery, J.T., Martins, M.L.O.F., Sant'ana, J.L.N., 2002. Variabilidade da precipitação no Brasil Meridional. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, 1687-1695.
- Nóbrega, R.S., Farias, R.F.D.L., Santos, C.A.C.D., 2015. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30, 171-180.
- Pereira, M.L.T., Soares, M.P.A., Silva, E.A., Montenegro, A.A.A., Souza, W.M., 2017. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 394-402.
- Ramos, A.M., 2010. Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife. 160p.
- Santos, C.A.C.D., Brito, J.I.B.D., Rao, T.V.R., Menezes, H.E.A., 2009. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, 39-47.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63 (324): 1379-1389.
- Silva, M.M., Ferreira, V.D.O., Ávila, D.M., 2021. Análise de tendências e extremos pluviométricos na região hidrográfica do rio São Francisco". *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 19(3), 127-149.
- Souza, J.R.B., 2019. Bioestatística: curso prático utilizando R e Excel. Recife: Editora UFPE.
- Wanderley, H.S., Amorim, R.F C., Carvalho, F.O., 2013. Interpolação espacial da precipitação no Estado de Alagoas utilizando técnicas geoestatística. *Campo Digital*, v.8.
- Yamaguchi, L., Carneiro, A., Carvalho, G., 2009. Caracterização e identificação de sistemas referências de produção de leite na Região Agreste do Estado de Pernambuco. EMBRAPA-CNPGL. Boletim CBLeite, Juiz de Fora, v. 2, n. 8, p. 18-22, jul. 2009.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann Kendall and Spearman's rho tests for

detecting monotonic trends in hydrological series.
Journal of Hydrology, v.259, 254-271.