



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel

Fernando Henrique Galindo Mousinho¹, Jessica Maria dos Santos Lima², Márcia Meryllis Alves Pereira³, Jonas Onis Pessoa⁴, Leidjane Maria Maciel Oliveira⁵, Sylvana Melo dos Santos⁵, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁷

¹Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Marielle Franco, KM 59, s/n, Nova Caruaru CEP: 55014-900, Caruaru, Pernambuco, Brasil, E-mail: fernando.gmousinho@ufpe.br (autor para correspondência). ²Mestranda pelo PPGECAM/UFPE, E-mail: jessica.santosl@ufpe.br. ³Mestranda pelo PPGECAM/UFPE, E-mail: marcia.meryllis@ufpe.br. ⁴Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPE, Av. da Arquitetura, s/n. Cidade Universitária. 50740-550. Recife, PE, Brasil, E-mail: jonas.pessoa@ufpe.br. ⁵Doutora e professora do DECIV/CTG/UFPE, membro permanente do PPGEC/UFPE, E-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br. ⁶Doutora e professora do DECIV/CTG/UFPE, membro permanente do PPGECAM/UFPE e do PPGEC/UFPE, E-mail: sylvana.santos@ufpe.br. ⁷Doutor e professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da UFPE, membro permanente do PPGECAM/UFPE e do PPGEC/UFPE, E-mail: anderson.paiva@ufpe.br.

Artigo recebido em 03/10/2023 e aceito em 08/02/2024

RESUMO

O aumento da degradação do meio ambiente tem sido uma consequência recorrente do crescimento populacional e, por isso, é cada vez mais evidente a preocupação em preservar os recursos naturais para as próximas gerações, sendo essa uma pauta frequente em todo o mundo. A forte escassez hídrica em localidades anteriormente caracterizados pelo alto índice pluviométrico confirma a ocorrência de mudanças climáticas. Em regiões semiáridas, a situação é ainda mais alarmante, uma vez que a área se caracteriza por um longo período de estiagem em parte do ano. Nesse contexto, a cidade de Caruaru-PE foi considerada, nos últimos anos, como em estado de calamidade, ratificando a necessidade local de priorizar o manejo dos recursos hídricos. Dessa maneira, realizou-se por meio de análises estatísticas, a caracterização das chuvas de uma série histórica de 1972 a 2021, em que foram geradas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) e foram analisadas as tendências de crescimento da precipitação. Os dados da chuva foram representados por distribuições teóricas de probabilidade, para as precipitações Máximas Diárias Anuais (PMDA). Aplicou-se distribuição de Gumbel para estimativa da chuva em diferentes tempos de retorno, com comprovada aderência aos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Os parâmetros da equação de chuvas intensas foram obtidos por regressão linear. As análises mostraram que período mais chuvoso, corresponde aos meses de fevereiro a julho, atingindo valores acima da média mensal (56,49 mm). Com teste de Mann-Kendall, se verificou que não há tendência significativa para os dados de precipitação, porém existe uma tendência crescente no número de dias sem chuva.

Palavras-chave: regime pluviométrico; chuvas intensas; distribuição de probabilidade; Mann-Kendall.

Rainfall characterization of the last 50 years in Caruaru - PE, with trend analysis, daily maximums, IDF Curves and Gumbel distribution

ABSTRACT

The increase in environmental degradation has been a recurring consequence of population growth, and therefore, the concern to preserve natural resources for future generations is becoming more evident. This is a frequent topic worldwide. The strong water scarcity in previously high-rainfall areas confirms the occurrence of climate changes. In semi-arid regions, the situation is even more alarming, as the area experiences a long period of drought during part of the year. In this context, the Caruaru city, Pernambuco state, has been considered in a state of calamity in recent years, emphasizing the local need to prioritize water resource management. Thus, through statistical analysis, the characterization of rainfall was carried out for a historical series from 1972 to 2021, intensity-duration-frequency (IDF) curves were generated, and precipitation growth trends were analyzed. Rainfall data were represented by theoretical probability distributions for annual maximum daily precipitation (AMDP). The Gumbel distribution was applied to estimate rainfall at different return periods, showing a good fit to the data through the Kolmogorov-Smirnov test at a significance level of 5%. Parameters for the equation of intense rainfall were obtained through linear regression. The analyses revealed that the rainiest period for this location corresponds to the months from February to July, reaching values above the monthly average (56.49 mm). The Mann-Kendall test showed no significant trend for precipitation data, but there is a growing trend in the number of days without rain.

Keywords: rainfall regime; intense rains; probability distribution; Mann-Kendall.

Introdução

Algumas ações humanas influenciam na degradação do meio ambiente, seja através da poluição ou pelo mau uso dos recursos naturais, esse fator tem contribuído para as diversas mudanças climáticas observadas nos últimos anos, este fato gerou preocupações pelos impactos causados. A compilação de doenças patogênicas agravadas por riscos climáticos representa 58% de todas as doenças infecciosas relatadas como tendo impactado a humanidade em todo o mundo (ou seja, de uma lista oficial de 375 doenças infecciosas documentadas como tendo impactado a humanidade (Métodos), 218 foram consideradas agravadas por perigos climáticos (Mora et al., 2022). Vale ressaltar que a preocupação com as mudanças drásticas do clima nos últimos anos está diretamente ligada aos desastres ambientais que estão ocorrendo com mais frequência, como: tsunamis, furacões, frios extremos, escassez hídrica, dentre outros (Sousa, 2019). De forma geral, essas mudanças podem impactar diretamente o regime pluviométrico de uma região, causando a elevação ou o decréscimo dos índices de chuva (Verçosa; Gomes; Cirilo, 2019).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC_AR6 de 2022, o qual é formulado por um grupo de cientistas indicado pelas Nações Unidas, com função de monitorar e assessorar a ciência global em relação às mudanças climáticas, revelou que a dimensão dos impactos das mudanças climáticas é maior do que os estimados em avaliações alto índice (IPCC, 2022). Essas mudanças são intensificadas pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente geradas por atividades antrópicas (75%) nos centros urbanos, como a queima de combustíveis fósseis no uso de transportes (Bai et al., 2018). O uso desordenado dos recursos naturais e as medidas não sustentáveis adotadas pelos países, governos, sociedades e setor empresarial, contribuem para o aumento frequente dos eventos climáticos extremos (Abud; Souza; Gorisch, 2023). Comumente, esses eventos climáticos impactam a sociedade na forma de enchentes quando ocorrem chuvas intensas acima do normal (Smith; Silva; Biagioni, 2019).

No cenário do nordeste brasileiro, a tendência das chuvas em todo o Estado de Pernambuco é de eventos extremos com alta magnitude e em curto intervalo de tempo, provocando desordem na agricultura de

subsistência (Araújo *et al.*, 2022). Segundo Ferreira et al. (2018), no Estado de Pernambuco, a precipitação mensal tem maior variabilidade e menor previsibilidade nas regiões próximas à Zona da Mata e Agreste do que na mesorregião do Sertão. A região do Semiárido brasileiro é conhecida por registrar mais desastres naturais do tipo estiagem e seca, entretanto os desastres hidrometeorológicos deflagrados pelas precipitações intensas e extremas são eventos igualmente intensos nesta região do Brasil (Temoteo, 2020). De acordo com Vianello e Alves (2000), essa concentração climática pode chegar a 80% do valor total anual da chuva distribuída em um curto espaço de tempo (cerca de quatro meses), caracterizando assim a região como anômala, em que tem anos chuvosos, com inundações calamitosas e com estiagens catastróficas. Segundo Pereira e Rodriguez (2022), o semiárido possui áreas classificadas como de alto risco hídrico, com ocorrência de chuvas anuais inferiores a 700 mm, déficit hídrico e secas prolongadas, além de ausência de sistemas aquíferos sedimentares e de rios perenes. Logo, analisar a influência das variações climáticas ao longo dos anos, através dos dados pluviométricos, é ainda mais importante, especialmente para as localidades que possuem racionamento de água ou que passam por um período de estiagem, como é o caso de Caruaru, em Pernambuco. Uma vez que, a precipitação contribui para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas. No Estado de Pernambuco, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) foi criada com a finalidade de executar a Política Estadual de Recursos Hídricos e regular o uso da água, no âmbito dos recursos hídricos estadual e federal, nos termos em que lhe forem delegados, bem como realizar monitoramento hidrometeorológico e previsões de tempo e clima (Silva et al., 2023c).

Em Caruaru, observa-se o impacto no comportamento do clima, mais precisamente no da temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, por se manifestarem mais diretamente no cotidiano da população (Lorena et al., 2017). Ainda que existam reservatórios próximos, Caruaru apresentou um cenário de seca extrema nos últimos anos (França Neto et al., 2017).

A precipitação pluvial é importante para a caracterização do clima de uma determinada região, interferindo sobre vários aspectos e atividades relacionadas à sociedade (agricultura,

pecuária, etc.) (Sena; Lucena; Moraes Neto, 2019). Em vista disso, para um manejo adequado dos recursos hídricos é necessário um controle do fluxo hídrico e dos eventos extremos de precipitação máxima e mínima (Mendes et al., 2021). Dessa forma, optou-se por analisar os dados de precipitações de Caruaru-PE ao longo dos últimos 50 anos.

As alterações climáticas são cada vez mais evidentes e o aumento na frequência de eventos extremos de precipitação, associados às instabilidades atmosféricas, pode levar a sobrecarga dos sistemas de escoamento e causar alagamentos e por vezes provocar inundações, (Weschenfelder et al., 2019). Em se tratando de eventos extremos de ordem hidrometeorológica, o Nordeste Brasileiro (NEB), muito embora seja acometido por estiagens e problemas relacionados à indisponibilidade hídrica, tem preocupado os estudiosos quanto à frequência da ocorrência de desastres desta natureza (Aragão e Duarte, 2023).

Para ter-se um controle sobre a frequência das precipitações, são aplicadas as equações de intensidade-duração-frequência (IDF) sobre os dados coletados, com o intuito de aplicar a metodologia mais adequada, seja em novos ou antigos projetos de obras hidráulicas. De acordo com Santana e Silva Júnior (2020), com o desenvolvimento dos municípios e fatores associados às mudanças do clima, faz-se necessário a atualização periódica dessas equações, contemplando séries mais recentes. Segundo Petrucci e Oliveira (2019), são aplicados métodos estatísticos no estudo de extremos de chuvas, de modo a estimar com maior precisão as ocorrências desses fenômenos ao longo do tempo, auxiliando no planejamento.

Os dados de chuvas coletados de postos pluviométricos ou pluviográficos necessitam de tratamentos estatísticos regionais para que sejam conhecidas as características fundamentais da intensidade-duração-frequência (IDF) da chuva (Guimarães et al., 2019). De acordo com Gandini e Queiroz (2018), como um evento de chuva é uma variável aleatória contínua, pode ser representado por distribuições teóricas de probabilidade.

No caso das Precipitações Máximas Diárias Anuais (PMDA), podem ser aplicados diferentes modelos como o de Gumbel máximos, Log Normal de dois parâmetros, Fréchet máximos e entre outros. Gumbel é uma das funções de

distribuição de probabilidade mais amplamente utilizada para valores extremos em estudos hidrológicos para previsão de precipitação máxima (Gumbel, 1941). Nos estudos realizados por Petrucci e Azevedo (2023), verificou-se que a modelagem das séries temporais das precipitações máximas pelo método de Gumbel (Extremas tipo I) para a cidade de Cachoeira do Sul - RS foi satisfatória. Silva et al. (2023b) utilizaram como critério de análise o coeficiente de determinação da reta formada pelos dados de precipitação observados e os estimados pela distribuição de Gumbel, obtendo R^2 próximo de 1, considerando confiável as estimativas obtidas através dessa distribuição em seu estudo no município de Serra Talhada-PE. Segundo Garcia e Alixandrini Júnior (2023), os resultados obtidos nas análises de tendência demonstraram ajustes favoráveis, com destaque para a regressão potencial, que apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9750 em diferentes ajustes de tendência, utilizando a distribuição de Gumbel para estimativa das precipitações máximas diárias para a bacia hidrográfica do Rio do Cobre em Salvador - BA. Para a verificação da eventual adequação entre as probabilidades calculadas por um certo modelo distributivo e as correspondentes frequências determinadas pelos valores amostrais observados, são utilizados os testes de aderência (Matos, 2021). O teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, para uma amostra, é um teste de aderência, isto é, verifica-se o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores amostrais (valores observados) e determinada distribuição teórica específica (Silva, 2013).

Em diversas partes do mundo o teste de Mann-Kendall está sendo aplicado para a detecção de tendências de climáticas (Blain, 2013). Esse teste não paramétrico de Mann (1945) e Kendall (1975) é reconhecido e amplamente recomendado pela Organização Mundial Meteorológica (OMM) para identificação de mudanças em dados climatológicos. Bari et al. (2016) utilizaram o teste de Mann-Kendall e o teste de Sen's Slope para verificação de tendências de precipitação no norte de Bangladesh assim como suas magnitudes de crescimento e decréscimo.

Na Amazônia brasileira, Aleixo e Almeida Filho (2022) aplicaram o teste de Mann-Kendall para investigar tendências de precipitação pluvial e de temperatura do ar do município de Coari, no Estado do Amazonas, entre os anos 1970 a 2015.

Silva et al. (2023a) empregaram o Mann-Kendall para avaliar as tendências na vegetação e na precipitação em Cabrobó, no seminário pernambucano.

Esta pesquisa tem como objetivo a identificação das precipitações máximas e mínimas da cidade de Caruaru-PE ao longo dos anos de 1972 a 2021 com o auxílio da aplicação do modelo de distribuição Gumbel, comprovando sua aplicabilidade para o posto da estação por meio do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov e averiguando ainda a média mensal dos acumulados, bem como realizar a análise de tendência das precipitações através do teste de Mann Kendall e suas magnitudes pelo teste de Sen's Slope. Os dados coletados da cidade de Caruaru foram da Estação 24 administrada diretamente pelo órgão do Estado, o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), dentre os instrumentos com vários sensores que a estação possui há o pluviômetro que possibilita a medida da quantidade de precipitação (APAC, 2022).

Material e métodos

Área de estudo

O município de Caruaru está localizado a 140,7 km da capital com coordenadas geográficas de 08°17'S de latitude e 35°58'W de longitude. Possui uma área territorial de 928,1 km², que representa 0,94% do Estado de Pernambuco, sendo 16,6 km² de área urbana e 903,9 km² de zona rural. Caruaru está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião do Vale do Ipojuca de Pernambuco, e é delimitado a Norte pelos municípios de Toritama, Vertentes, Taquaritinga do Norte e Frei Miguelinho, a Sul com Altinho e Agrestina, a Leste com Bezerros e Riacho das Almas, e a Oeste com Brejo da Madre de Deus e São Caitano (Medeiros, 2018). A localização do município de Caruaru no mapa do Estado de Pernambuco com as mesorregiões está representada na Figura 1.

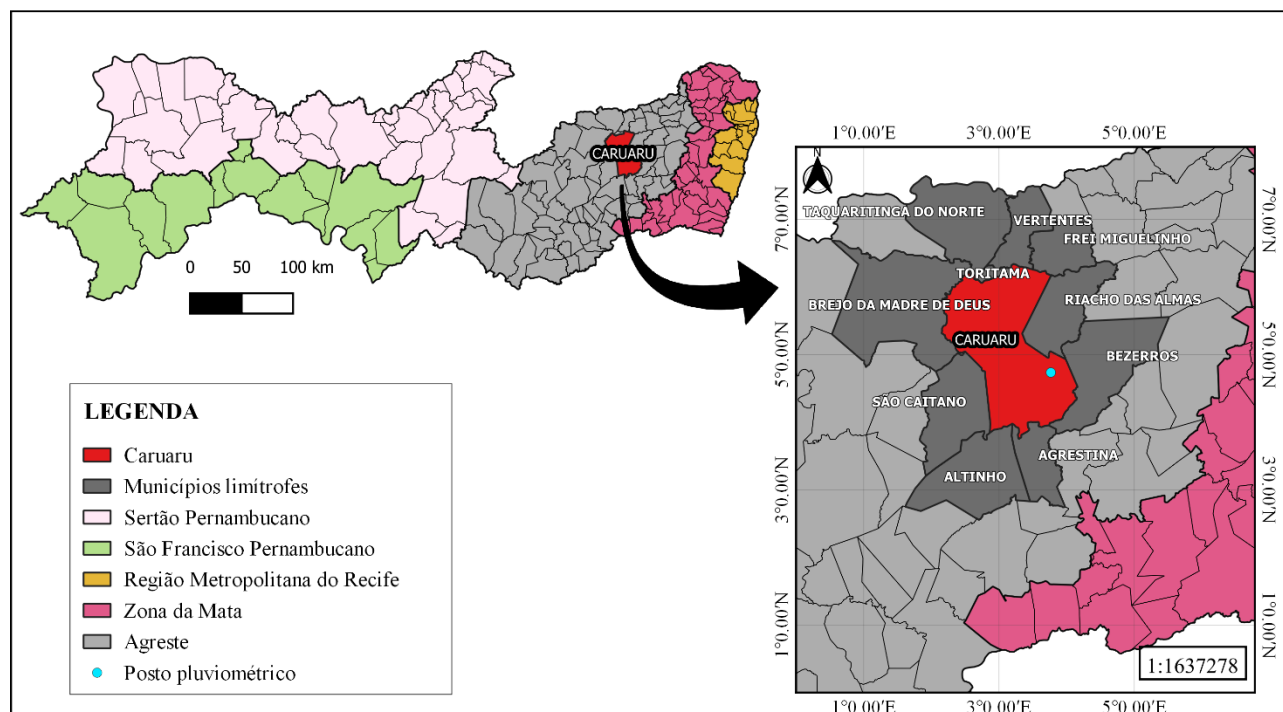


Figura 1. Mapas de localização do município de Caruaru-PE e coordenadas do posto pluviométrico.

Obtenção de dados pluviométricos e séries históricas

Os dados pluviométricos foram obtidos a partir da análise do banco de dados, no site de

sistemas de monitoramento pluviométrico, da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2022), em que as estações pluviométricas adotadas correspondem às que possuem maior série de dados ininterruptas. Esse critério foi considerado a fim de

reduzir a necessidade de preenchimento de falhas e, ao mesmo tempo, aumentar o número de dados utilizados para obtenção das equações de chuvas intensas.

Para o estudo probabilístico foi utilizado um modelo de séries anuais, que consiste em adotar uma série de dados formada pelos valores máximos de precipitação diária observada em cada ano, desprezando os demais valores do ano. O período selecionado foi de 01 de janeiro de 1972 a dezembro de 2021, conforme disponibilidade dos dados.

Após coletados os dados de precipitações diárias desse período, realizou-se uma análise estatística da precipitação acumulada mensal e anual, bem como o número de dias secos, constatando assim os períodos do ano que são chuvosos e secos e as variações que ocorreram durante esse tempo. Foram verificadas a máxima e a mínima precipitação do acumulado entre os dados mensais ocorridos na série histórica de 50 anos.

Desagregação das chuvas máximas diárias

O método para a obtenção de chuvas de menores durações, a partir das séries anuais obtidas das estações pluviométricas em estudo nesta pesquisa, foi da desagregação da chuva de 24 h, utilizado também por Back e Wildner (2021). Em que cada chuva diária tem sua altura multiplicada pelos respectivos coeficientes de desagregação, permitindo assim a geração das séries de chuvas com durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos.

Aplicação do modelo de probabilidade de Gumbel

Para atender os mais diversos tipos de estruturas hidráulicas, foi necessário ampliar as séries para um número maior de anos. Segundo Ferreira, Beijo e Avelar (2021), o modelo de Gumbel é o que apresenta melhor ajuste aos dados de intensidades máximas médias pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A frequência de dados da chuva foi verificada por meio das Equações 1, 2, 3 e 4, relativas à distribuição de Gumbel, constatando seu nível de confiabilidade através de Kolmogorov-Smirnov.

$$y_{TR} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (1)$$

Onde:

y_{TR} = variáveis reduzidas de Gumbel associadas aos dados observados;

TR = período de retorno (anos);

$$K_{TR} = -0,45 + 0,78 \cdot y_{TR} \quad (2)$$

Nos quais:

K_{TR} = fator de frequência (adimensional);

y_{TR} = variável reduzida da distribuição de Gumbel;

$$X_{TR} = \bar{X} + K_{TR} \cdot S \quad (3)$$

Em que:

X_{TR} = precipitação máxima diária para determinado TR (mm);

K_{TR} = fator de frequência (adimensional);

$\bar{X}$ = média da precipitação máxima diária (mm);

S = desvio padrão dos dados de precipitação máxima diária (mm);

$$P(X \geq x_i) = 1 - e^{-e^{-y_{TR}}} \quad (4)$$

Sendo:

$P(X \geq x_i)$ = probabilidade de um evento ser igualado ou superado em magnitude;

y_{TR} = variável reduzida da distribuição de Gumbel.

Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov

Nesta pesquisa a comprovação da aderência dos dados ao modelo de probabilidade foi feita através do teste Kolmogorov-Smirnov, que consiste na comparação entre as variações das frequências demonstradas na Equação 5.

$$|\Delta F|_{\text{Calculado}} \leq |\Delta F|_{\text{Tabelado}(n, \alpha)}; \quad (5)$$

Sendo o $\Delta F_{\text{Calculado}}$, a diferença entre a frequência observada através dos dados dos postos pluviométricos e a frequência estimada pelo modelo de probabilidade de Gumbel, e o $\Delta F_{\text{Tabelado}}$ obtido na tabela de Kolmogorov-Smirnov, em que n representa o tamanho da

amostra e α o nível de significância, para o qual foi adotado o valor de 5%.

Obtenção das curvas IDF

De posse dos dados de chuva de um dia, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos, obtidos por meio das equações de Gumbel, esses foram desagregados, resultando na obtenção de séries de chuvas com diversas durações (5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos). Em que a partir desses dados, tornou-se possível a elaboração das curvas IDF, de modo que para cada tempo de retorno foram gerados gráficos de duração das chuvas (min) *versus* intensidade da chuva (mm/h).

Regressão linear

A partir das relações IDF das chuvas, procurou-se analisar qual seria o tipo de equação e o número de parâmetros utilizados, sendo a Equação 6 a mais usual.

$$i = \frac{K \cdot T_r^m}{(t+b)^n} \quad (6)$$

Em que T_r é o período de retorno (anos); t , a duração da chuva (minutos); i , a intensidade da chuva (mm/h), e K , m , b e n , parâmetros a serem determinados para cada região.

Antes de aplicar a regressão linear, foi necessário preparar na planilha os valores da intensidade de precipitação (mm/h), a partir das chuvas desagregadas de acordo com os respectivos tempos de retorno (T_r).

Para aplicar a regressão é necessário repartir a Equação 6, utilizando-se, então, as Equações 7 e 8.

$$i = \frac{C}{(t+b)^n} \quad (7)$$

$$C = K \cdot T_r^m \quad (8)$$

Para linearizar a Equação 7, aplicou-se o logaritmo em ambos os termos obtendo $\text{Log}(i) = \text{Log}(C) - n\text{Log}(t+b)$, em que ocorre a correspondência com a equação de regressão obtida $Y = a - nX$. Achou-se os valores “ n ”, “ C ” e “ b ”, em que “ n ” e “ b ” são parâmetros da equação geral e o parâmetro “ b ” foi escolhido por tentativa e erro como o número inteiro a obter maior R^2 . De posse dos valores de C para cada tempo de retorno,

tornou-se possível linearizar a segunda equação, havendo uma correspondência com $Y = a + mX$ para se encontrar os valores dos parâmetros “ m ” e “ K ”.

Obtenção das chuvas de projeto

Aplicando os valores de durações e recorrências das chuvas adotadas em obras de estruturas hidráulicas na equação de chuvas intensas, foi construída uma planilha onde consta os valores de intensidade de chuva para diversos tipos de projeto.

Análise de tendências em série histórica de precipitação

Neste estudo, as análises de tendências foram aplicadas aos dados da precipitação total anual, precipitação máxima diária mensal, precipitação máxima diária anual, dias sem chuva mensal e dias sem chuva anual, observados no município de Caruaru, no período de 1972 a 2021. O teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), foi empregado para detectar eventuais tendências de aumento ou diminuição na precipitação. Nos casos de tendência significativa (crescente ou decrescente), foi aplicado o teste Sen's Slope (Sen, 1968), para estimar a magnitude dessa tendência. Ambos os testes foram executados usando o pacote “Trend” do *software* de acesso aberto R (versão 4.2.2), ao nível de significância α de 5% de probabilidade.

No teste de Mann-Kendall, para uma série de dados de n dados, a variável estatística S é obtida mediante a somatória dos sinais da diferença, par a par, de todos os valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j), conforme apresentado nas Equações 9 e 10 (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(x_j - x_i) \quad (9)$$

Em que:

$$\text{sinal}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{para } x_j > x_i \\ 0; & \text{para } x_j = x_i \\ -1; & \text{para } x_j < x_i \end{cases} \quad (10)$$

Para $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, na qual a sua variância, $\text{Var}(S)$, é calculada mediante a Equação 11, sendo que t_i representa a quantidade de repetições de uma extensão i .

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (11)$$

Após a obtenção de S e $\text{Var}(S)$, calcula-se o índice de distribuição normal Z_{MK} através da Equação 12:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{para } S > 0 \\ 0; & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Com base no resultado da Equação 12, valores positivos de Z_{MK} refletem uma tendência crescente, enquanto valores negativos de Z_{MK} denotam uma tendência decrescente. Se a estatística padronizada $|Z| > 1,96$, a tendência é significativa ao nível de confiança de 95% (nível de significância α de 5% de probabilidade) e vice-versa.

Por sua vez, o estimador de Sen (1968) consiste na estimativa da inclinação de N pares de dados, por meio da Equação 13.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (13)$$

Para $i = 1, 2, \dots, N$; em que x_i e x_j são valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente.

Uma vez determinados os N pares de dados, os mesmos foram ranqueados em ordem crescente e calculada a mediana desses valores para se obter o estimador, pela Equação 14.

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} \frac{N+1}{2}; & N \text{ for ímpar} \\ \frac{1}{2} \left(\frac{N}{2} + \frac{N+2}{2} \right); & N \text{ for par} \end{cases} \quad (14)$$

Resultados e discussão

Dados históricos das chuvas em Caruaru

Conforme indicado na Figura 2, a precipitação total anual do município de Caruaru-PE apresentou grande variabilidade no período de 1972 a 2021. Ao decorrer desses 50 anos, a média do total anual de chuva foi de 677,87 mm, cujo valor é bastante similar ao descrito em Nóbrega, Santiago e Soares (2016) e Amorim et al. (2020). A precipitação máxima acumulada registrada do total anual foi de 1022,7 mm, em 2004, e a mínima de 329,2 mm, em 1993. Considerando toda a série histórica, nota-se que cerca de 27 anos tiveram precipitações abaixo da média observada. É possível perceber que há grandes variações entre as precipitações ao longo do tempo, isso demonstra que há períodos muito secos ou chuvosos.

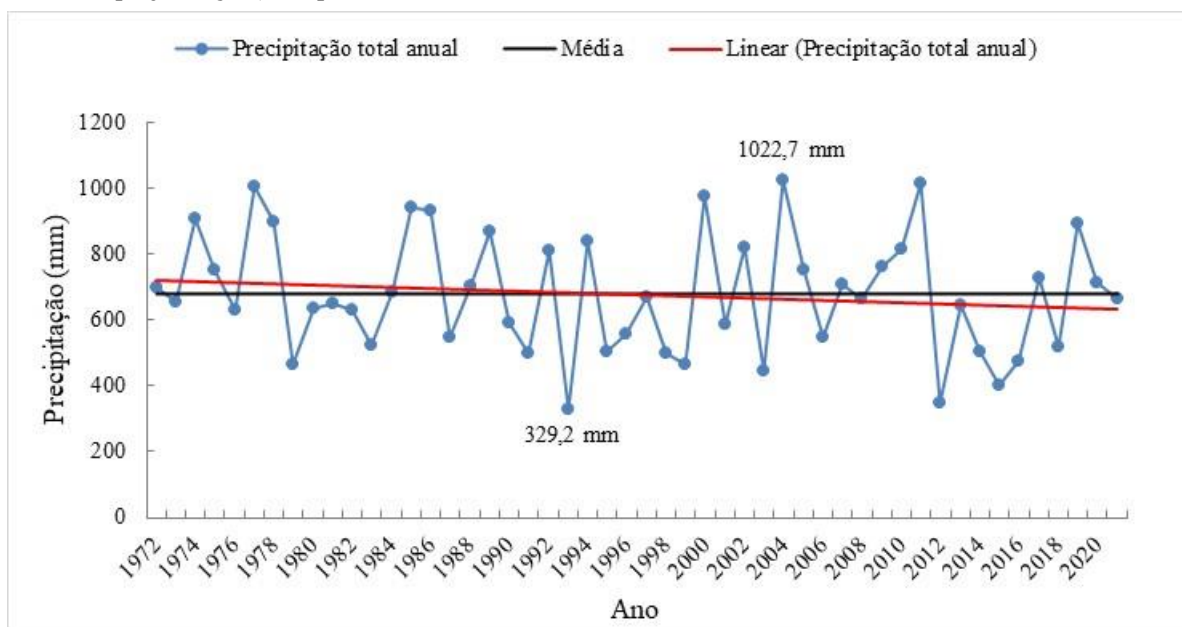


Figura 2. Precipitação total anual para a Estação 24, de 1972 a 2021, com tendência linear.

Foram analisados os valores mensais acumulados de cada ano desde 1972 a 2021, com o valor de referência de 56,49 mm da média total

mensal. Na Figura 3, tem-se o *boxplot* da precipitação mensal e anual, a partir disso foi possível determinar o período chuvoso e seco. Nos meses de fevereiro a julho ocorre o intervalo mais

chuvoso para essa localidade com valores acima do valor de referência, ainda, é possível observar que o mês de julho teve o maior índice de precipitação com uma média de 96,34 mm seguido dos meses de abril (92,33 mm), junho (89,24 mm) e maio (85,8 mm). O período seco inicia-se em agosto, com duração até janeiro. A menor precipitação ocorreu no mês de novembro com apenas 11,87 mm, seguido de outubro com 14,13 mm, e dezembro com 22,19 mm. Nota-se que, de agosto até novembro há uma queda nos níveis de precipitação, havendo um início do aumento no mês de dezembro. Esses resultados são semelhantes aos citados por França et al. (2018) e Santos et al. (2019), que realizaram estudos relacionados à precipitação em Caruaru.

Verificou-se a máxima precipitação diária anual dos 50 anos analisados, com média de 54,70 mm de máxima diária no ano. Observa-se na Figura 3, grandes variações de picos, principalmente acima da média, sendo 17 dos dados conforme os anos de 1974, 1975, 1977, 1981, 1985, 1986, 1989, 2000, 2002, 2009, 2010, 2011, 2013, 2017, 2019, e

2020, com valores superiores à média. Em 1979, 1991, 2003, e 2014 a precipitação máxima diária anual não ultrapassaram 30 mm e acima de 100 mm ocorreu em: 1977 (110,6 mm); 2000 (127,3 mm); 2010 (138,0 mm) sendo esta a maior já ocorrida nesse período e em 2017 (104,2 mm). A menor precipitação máxima diária foi de 21,8 mm ocorrida no ano de 1979. Há variações com relação aos meses em que ocorrem essas precipitações. Apesar do mês de julho ser o de maior precipitação durante os 50 anos analisados (Figura 2) só em 1975, 1993 e 1999 que ocorreram precipitações máximas diárias anuais nessa época. Em novembro não teve nenhum evento de chuva máxima diária do ano e em outubro e setembro apenas uma vez, os períodos que mais ocorrem são: fevereiro, março e abril. No geral, os dados de precipitação máxima diária do ano mostrados na Figura 4, são relativamente próximos aos observados em Mendes et al. (2021), os quais utilizaram como fonte de dados uma estação pluviométrica de Caruaru distinta da empregada no presente estudo.

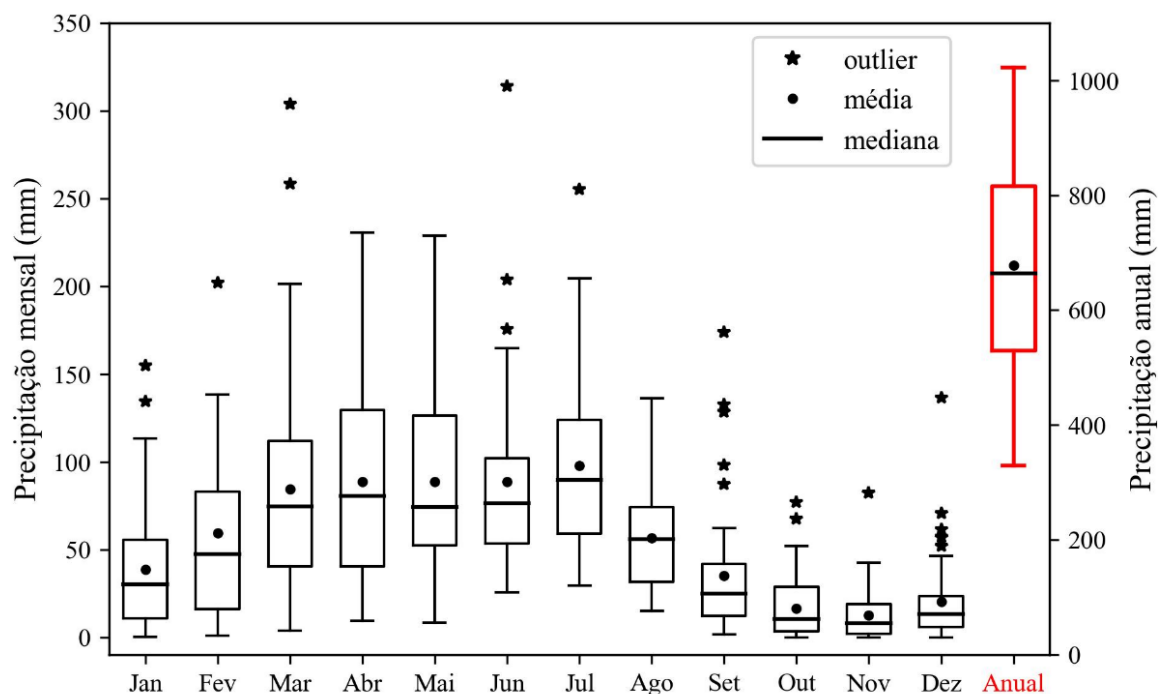


Figura 3. Gráfico *boxplot* da precipitação total mensal e total anual (1972-2021) no posto pluviométrico 24 - Caruaru (IPA).

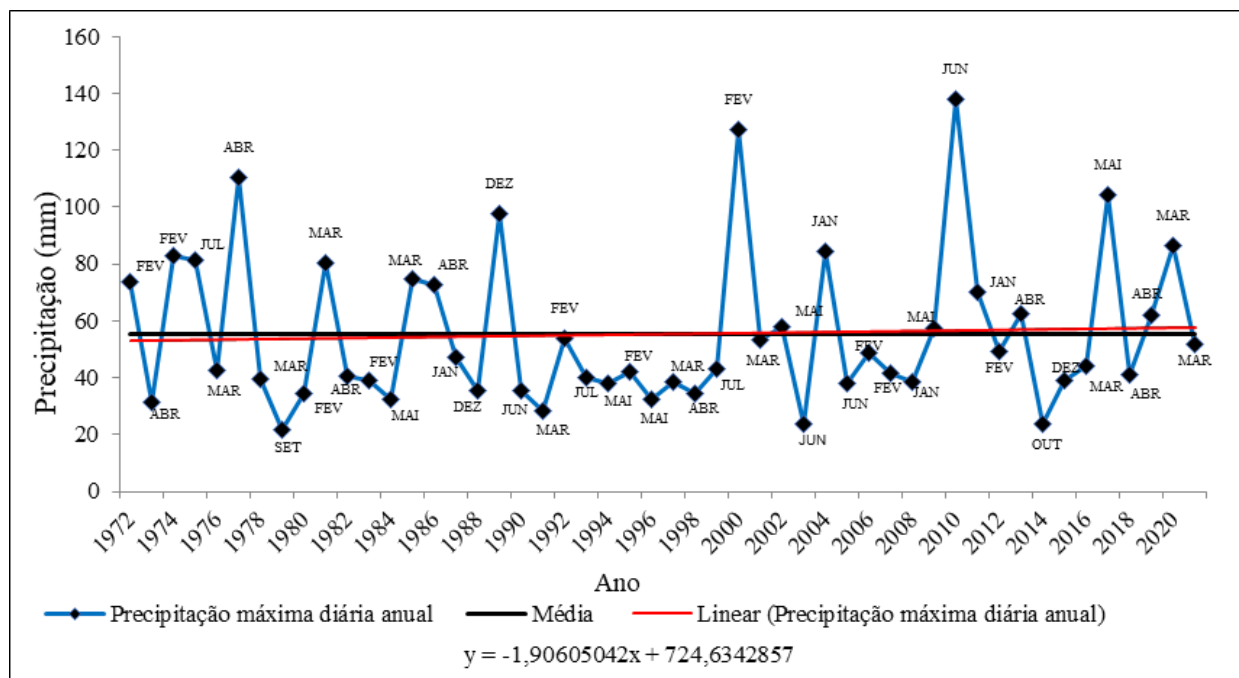


Figura 4. Precipitação máxima diária por ano, de 1972 a 2022, para Caruaru – PE.

As estatísticas descritivas dos dados estão presentes na Tabela 1, em que pode ser observado que os meses de outubro e novembro apresentam menores desvio padrão (15,4 e 15,3), indicando uma maior homogeneidade nos acumulados de

chuva mensais nos meses menos chuvosos, enquanto nos meses de maior precipitação pluviométrica, a dispersão dos dados observados aumenta, obtendo-se valores de desvio padrão acima de 50,0.

Tabela 1. Estatística da precipitação total mensal (mm) e total anual (mm), no período de 1972 a 2021.

Mês	n	$\bar{x}$	s	CV	LI (95%)	LS (95%)	Md	Min	Max
Jan	50	45,8	57,4	125,3	29,9	61,7	31,0	0,2	365,6
Fev	50	61,4	56,5	92,0	45,7	77,0	51,6	0,8	258,2
Mar	50	85,0	64,9	76,4	67,0	103,0	74,7	5,2	315,3
Abr	50	93,8	59,4	63,3	77,4	110,3	86,3	9,4	230,7
Mai	50	86,6	53,7	62,0	71,7	101,5	72,8	8,4	228,7
Jun	50	94,7	51,1	54,0	80,5	108,9	85,7	25,5	314,1
Jul	50	96,7	47,9	49,5	83,4	110,0	89,6	29,4	255
Ago	50	53,5	28,4	53,0	45,6	61,4	50,6	14,9	132,5
Set	50	30,3	28,7	94,7	22,4	38,3	24,9	1,8	174
Out	50	14,3	15,4	107,9	10,0	18,5	8,2	0	77,1
Nov	50	11,9	15,3	128,1	7,7	16,1	6,6	0	82,3
Dez	50	22,4	25,3	112,9	15,4	29,4	13,8	0	136,5
Anual	50	696,5	196,7	28,2	642,0	751,0	664,2	329,2	1182,4

n- Amostra; $\bar{x}$ - Média; s- Desvio Padrão; CV - Coeficiente de Variação; LI (95%) - Limite Inferior do Intervalo de Confiança para média com 95% de confiança; LS (95%) - Limite Superior do Intervalo de Confiança para média com 95% de confiança; Md - mediana; Min - Valor mínimo; Max - Valor máximo.

Fonte: Autores.

Chuvas intensas

Na Figura 5, é apresentada a curva de intensidade – duração do município de Caruaru, do período de 1972 a 2021, para diferentes tempos de retorno e diferentes durações.

Ao analisar os dados das chuvas intensas do município de Caruaru – PE, no período de 1972 a 2021, os parâmetros encontrados são demonstrados na Equação 15.

$$i = \frac{505,941 \times T^{0,2502}}{(t+10)^{0,7407}} \quad (15)$$

966

Os parâmetros da Equação IDF juntamente com os coeficientes de ajustes são apresentados na Tabela 2. Este ajuste pode ser observado também na Figura 6, através da comparação entre as frequências das precipitações máximas diárias anuais dos dados observados no posto pluviométrico estudado e com as frequências obtidas através da aplicação do modelo de Gumbel, em que o modelo apresentou um bom ajuste aos dados reais do posto pluviométrico.

O valor do coeficiente de determinação R^2 (0,9577) mostrou-se satisfatório, após a aplicação

do método de desagregação de chuvas 24 horas, para os dados do posto 24 e o valor do DN Máximo obtido demonstrou que os dados amostrais ficaram próximos dos dados obtidos através da distribuição de probabilidade de Gumbel através do teste de Kolmogorov-Smirnov para um nível de significância de 5%. Os resultados para os períodos de retorno 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos para diferentes tempos de duração (5, 10, 20, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Parâmetros da Equação IDF para o município de Caruaru – PE.

	Parâmetros				Coeficiente de determinação (R^2)	Kolmogorov-Smirnov (5%) DN Máximo
	K	m	b	n		
Valores obtidos	505,941	0,2502	10	0,7407	0,9577	0,115

Fonte: Autores.

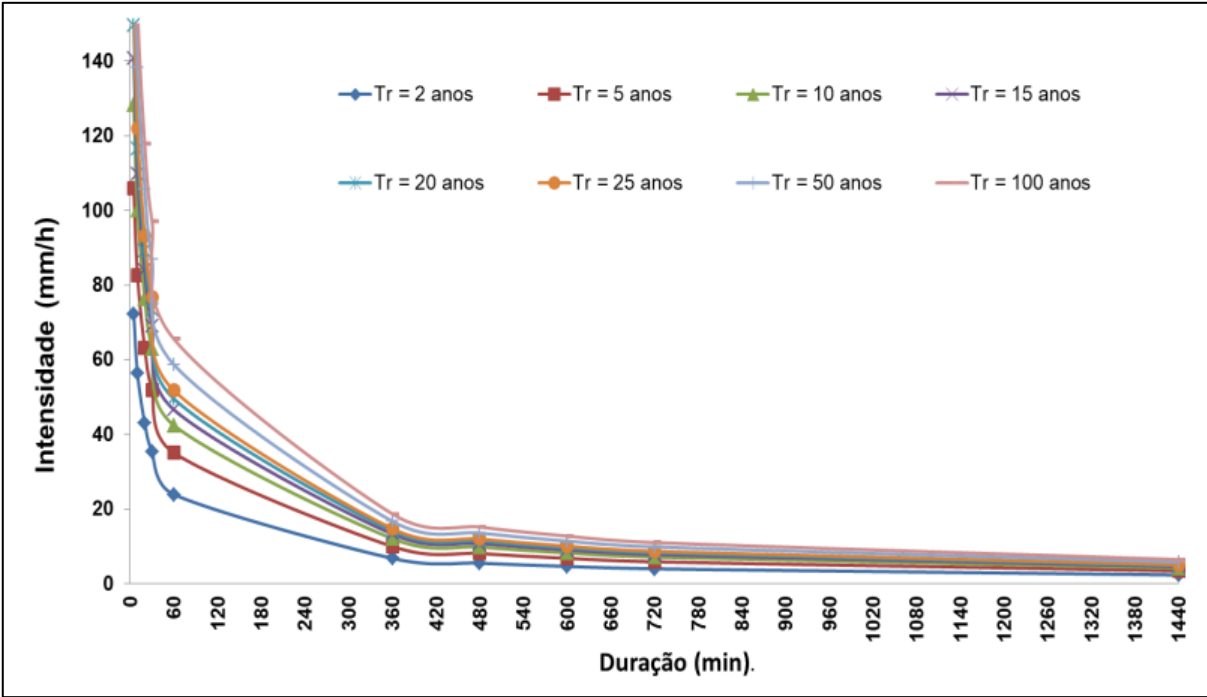


Figura 5. Curva intensidade e duração para diferentes períodos de retorno.

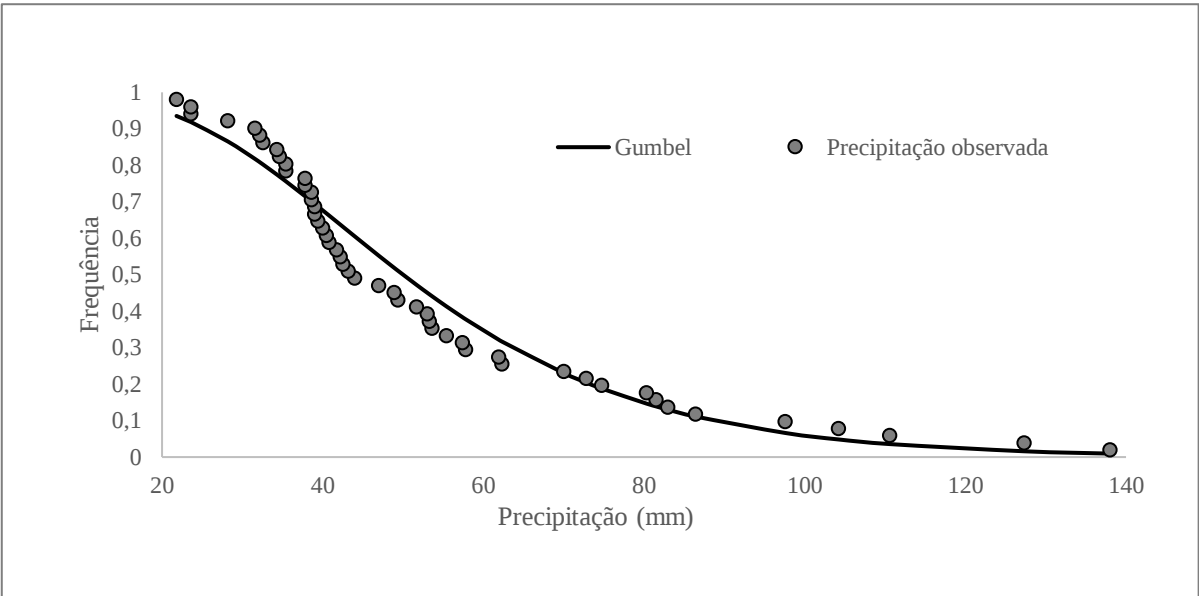


Figura 6. Gráfico de comparação entre frequência observada e frequência estimada pelo modelo de Gumbel.

Análise de dias secos

Ao realizar a análise dos dias secos (dias sem chuva), como pode ser observado na Figura 7, foi constatado nos 50 anos estudados, uma média de 215 dias sem precipitação pluviométrica, em que o ano com maior ausência de dias de chuva foi 1993, contabilizando 263 dias secos. Já no ano de 1979 há ocorrência de chuva em cerca de 57% dos dias do ano, o que correspondi a um total de 157 dias sem precipitação. É importante ressaltar que mesmo o ano de 1979 sendo o ano com menor ocorrência de dias secos, a chuva total anual deste período encontra-se 33,1% abaixo da média anual, entretanto, a presença majoritária de dias secos no ano de 1993, coincide com a menor precipitação total anual observada ao longo dos 50 anos

analisados, estando 52,7% abaixo da média anual, mostrando a existência de uma relação entre o total de dias seco no ano e o acumulado de chuva anual.

Referente à análise mensal dos dias secos, é possível observar uma correlação entre a média mensal de precipitação e a média de dias secos para cada mês do ano, de modo que é constatado que para o mês de julho (mês com maior precipitação média, como visto na Figura 3) também é o mês que possui a menor média no número de dias secos como pode ser visto na Figura 8. Foi verificado que a concentração de dias sem chuva acontece no período do mês de outubro ao mês de janeiro, em que a média de dias secos no mês de dezembro (25 dias), encontra-se aproximadamente 40% acima da média mensal (17,88 dias).

Tabela 3. Intensidade das precipitações para Caruaru-PE, com relação ao período de retorno.

t (min.)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	80,96	101,82	121,11	134,04	144,04	152,31	181,16	215,46
10	65,43	82,28	97,86	108,31	116,40	123,08	146,39	174,11
20	48,45	60,94	72,48	80,21	86,20	91,15	108,41	128,94
30	39,15	49,24	58,57	64,82	69,66	73,66	87,61	104,20
60	25,87	32,53	38,69	42,82	46,02	48,66	57,88	68,84
360	7,54	9,48	11,27	12,48	13,41	14,18	16,86	20,06
480	6,12	7,70	9,16	10,13	10,89	11,51	13,69	16,29
600	5,20	6,54	7,78	8,62	9,26	9,79	11,64	13,85
720	4,56	5,73	6,81	7,54	8,11	8,57	10,19	12,12
1440	2,74	3,45	4,10	4,54	4,88	5,16	6,13	7,29

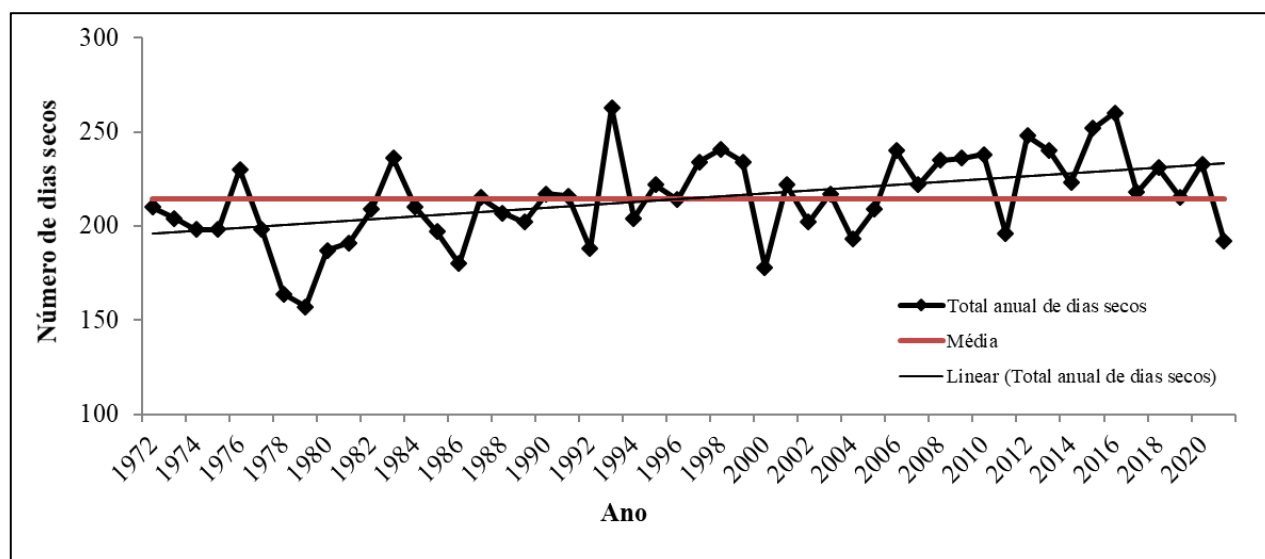


Figura 7. Total anual de dias secos para a Estação 24, de 1972 a 2021, com tendência linear.

Análise de tendências

Os resultados dos testes de Mann-Kendall (MK) e Sen's Slope (SS) aplicados, ao nível de significância de 0,05, para os dados de chuva do posto pluviométrico 24 - Caruaru (IPA), no período de 1972 a 2021, estão relacionados na Tabela 4. Nota-se que a precipitação total anual, precipitação máxima diária anual e precipitação máxima diária mensal não apresentaram tendência significativa, uma vez que seus p-valores são superiores ao nível de significância ($\alpha = 0,05$) selecionado. Corroborando com essas observações, Silva et al. (2015), Verçosa, Gomes e Cirilo (2019), Pessoa et al. (2022) e Silva et al. (2022), ao utilizar MK e outros testes, também não notaram tendência significativa para precipitação total anual na área de estudos e/ou adjacências. Em contrapartida, tendência crescente significativa foram detectadas para dias sem chuva anual e dias sem chuva mensal, visto que a hipótese nula (H_0) de ausência de tendências foi rejeitada ($p\text{-valor} < 0,05$), conforme exposto na Tabela 4. Portanto, é esperado secas mais acentuadas ao longo dos meses e anos no município de Caruaru-PE, o que tende a agravar o problema de escassez hídrica já existente na região (Gomes et al., 2021). Nesta mesma direção, Silva, Montenegro e Souza (2017),

analisando tendências dos índices climáticos extremos dependentes da precipitação pluviométrica no Estado de Pernambuco reportaram um aumento no número de dias secos na bacia do rio Ipojuca, onde o posto pluviométrico 24 - Caruaru (IPA) está inserido. Ainda dentro dessa perspectiva, Monteiro (2022) afirma que, no que se refere a eventos hidrológicos extremos no semiárido do Nordeste brasileiro, o cenário publicado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), é desanimador para as próximas décadas, apontando para déficits (em linhas gerais) no volume precipitado, tanto no verão (dezembro, janeiro e fevereiro), quanto no inverno (junho, julho e agosto).

Portanto, o monitoramento contínuo e abrangente da precipitação, assim como da temperatura, é crucial para obter informações relacionadas às mudanças climáticas e eventos extremos que afetam o meio ambiente e a sociedade (Siqueira et al., 2024). Neste contexto, a utilização de produtos de precipitação por satélite, com alta resolução espacial e temporal, emerge como uma valiosa fonte alternativa de dados em regiões com redes hidrometeorológicas limitadas (Li et al., 2024), como é o caso de Caruaru e vários municípios próximos.

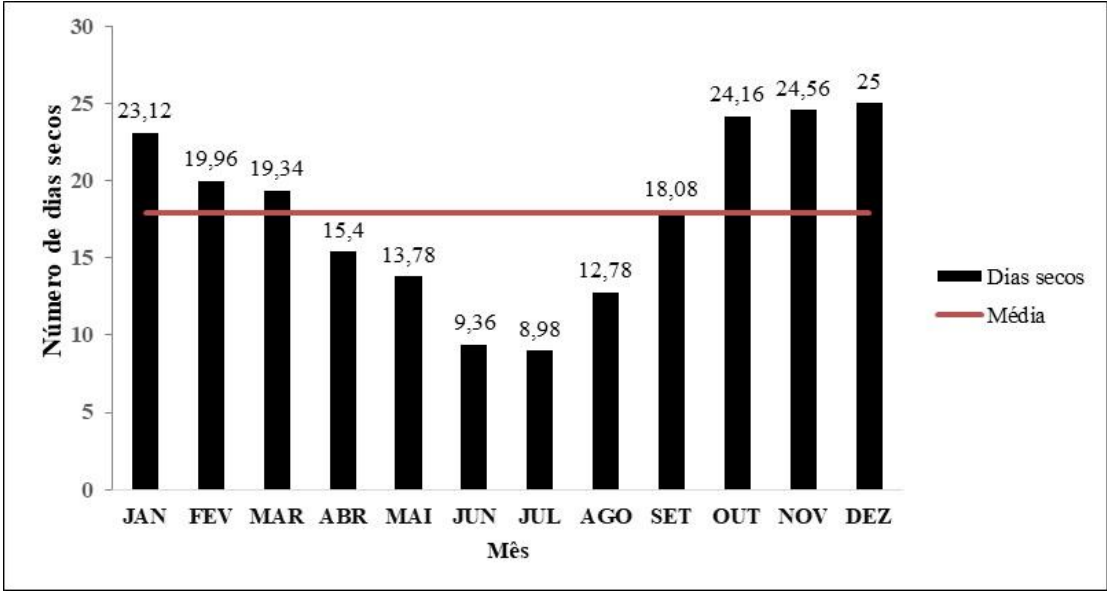


Figura 8. Média mensal de dias secos para a Estação 24, de 1972 a 2021.

Tabela 4. Resultados dos testes de Mann-Kendall e Sen’s Slope, ao nível de significância de 0,05, para o posto pluviométrico 24 – Caruaru (IPA).

Dados analisados	Z	p-valor	Tendência de Mann-Kendall	Sen’s Slope
Precipitação total anual	-0,485	0,627	Não significativa	Não aplicado
Precipitação máxima diária anual	0,878	0,379	Não significativa	Não aplicado
Dias sem chuva anual	3,49	4,83E-04	Crescente	0,8 dias/ano
Precipitação máxima diária mensal	-0,58	0,561	Não significativa	Não aplicado
Dias sem chuva mensal	3,3	9,34E-04	Crescente	0,0055 dias/mês

Conclusões

As condições climáticas impactam no desenvolvimento socioeconômico, é notório a irregularidade das precipitações anuais analisadas com relação aos pontos mínimos e máximos referente a média anual características de uma região do semiárido, contendo períodos mais secos e chuvosos. 29 dos 50 anos analisados apresentaram precipitações inferiores a 700 mm anuais e com relação a média anual (677,87 mm) do local, 27 dos anos apresentam precipitações inferiores. Essas mudanças acabam provocando vários desastres ambientais e problemas com relação à infraestrutura hídrica.

Mensalmente ocorre o mesmo, havendo períodos mais chuvosos e outros mais secos, havendo assim 6 meses do ano com intensidades de chuvas acima da média e 6 meses com intensidades inferiores. Normalmente na região o período chuvoso inicia em fevereiro até julho. Ao analisar a máxima precipitação diária anual do município há uma grande variação dos picos, sendo

observado que as variações ocorrem de anual a diária.

Ao analisar os dados de precipitação no período de 1972 a 2021, os totais anuais estão abaixo da média na maioria das vezes que o número de dias secos aumenta, sem sofrer grandes influências das chuvas máximas diárias. Ou seja, o aumento de dias secos não demonstra ter relação com o aumento das chuvas máximas diárias. Este fato é confirmado pelo teste de Mann-Kendall, à medida que mostra uma tendência crescente dos dias secos, mas não possui tendência significativa com relação as precipitações máximas diárias.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da UFPE. Agradecem também à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a CAPES, pelo fomento através dos projetos de pesquisa.

Referências

- Abud, C.O., Souza, L.P., Gorisch, P.C.S., 2023. Mudança climática: uma crise previsível. *UNISANTA Law and Social Science*, 12 (1). Disponível em: < <https://periodicos.unisanta.br/index.php/lss/article/download/3550/2374>>. Acesso em: 06/ago/2023.
- Aleixo, N.C.R.; Almeida Filho, L.S., 2022. Tendências climáticas em Coari-AM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, p.2601-2612. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2601-2612>
- Amorim, J.M.B.S., Bezerra, S.T.M., Silva, M.M., Souza, L.C.O., 2020. Multicriteria decision support for selection of alternatives directed to integrated urban water management. *Water Resources Management*, v.34, p.4253-4269. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02671-9>
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2022. Dados de precipitação dos postos pluviométricos no Estado de Pernambuco Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 06/ago/2022.
- Araújo, M.D.S., Moraes, A.S., Rocha, A.T., Lima, R.P., Moraes, D.P., Medeiros, R.M., 2022. Estratégias para áreas de escassez hídrica utilizando isoietas mensais e anuais na Bacia Hidrográfica do rio Una – Pernambuco, Brasil. *Conjecturas*, v.22, n.12, p.1039-1053. <https://doi.org/10.53660/CONJ-1620-2E66>.
- Aragão, M.L., Duarte, C.C., 2023. Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.16, n.02, p.818-836. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p818-836>
- Back, Á.J., Wildner, L.P., 2021. Equação de chuvas intensas por desagregação de precipitação máxima diária para o estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, v.34, n.3, p.43-47. <https://doi.org/10.52945/rac.v34i3.1133>.
- Bai, X., Dwason, R.J., Urge-Vorsatz, D., Delgado, G.C., Barau, A.S., Dhakal, S., Dodman, D., Leonardsen, L., Masson-Delmotte, V., Roberts, D., Schultz, S., 2018. Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, 555, 23-25, 2018. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-02409-z>.
- Bari, S.H., Rahman, M.T.U., Hoque, M.A., Hussain, Md.M., 2016. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. *Atmospheric Research*, v.176-177, p.148-158. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.008>
- Blain, G.C., 2013. The modified Mann-Kendall test: on the performance of three variance correction approaches. *Agrometeorology*, v.72, n.4, p.416-425. <https://doi.org/10.1590/brag.2013.045>.
- Ferreira, D.V.S., Silva, A.S.A., Stosic, T., Menezes, R.S.C., Irmão, R.A., Souza, W.S., 2018. Análise da variabilidade espaço temporal da chuva mensal no estado de Pernambuco utilizando o método entropia de permutação. *Revista Brasileira de Biometria*, v.36, n.2, p.276-289. <https://doi.org/10.28951/rbb.v36i2.179>.
- Ferreira, T.R., Beijo, L.A., Avelar, F.G., 2021. Avaliação de distribuições de probabilidades no estudo de precipitação pluvial máxima de cidades de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.29, p.524-544. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v29i0.70950>.
- França, M.V., Medeiros, R.M., Holanda, R.M., Silva, V.P., Sobral, D.M., 2018. Aptidão climática para o cultivo da banana em Caruaru-PE, Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.3, p.265-274. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.3.2018.1841.265-274>
- França Neto, J.M., Santos, G.T.L., Barros, V.H.O., Alexandre, J.I.S., Coutinho, A.P., 2017. Variabilidade temporal de precipitações em Caruaru-PE, Brasil. II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Campina Grande – PB, Anais..., 5 pp.
- Gandini, M.L.T., Queiroz, P.I.B., 2018. Análise de modelos probabilísticos de frequência para obtenção de equações IDF na cidade de Cunha - SP. *Revista DAE*, v.66, n.211, p.105-117. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.017>.
- Gomes, Y.R.M., Jucá, M.V.Q., Batista, L.F.D.R., Ribeiro Neto, A., Santos, S.M., 2021. Rainwater harvesting potential in water abundant and scarce regions in northeast Brazil using remote sensing. *Sustainable Water Resources Management*, v.7, n.60, <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00543-7>
- Guimarães, R.S., Fonseca T.B., Lima, F.N., Pinto R., 2019. Determinação da equação de intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas na região do médio Piracicaba/MG. In:

- Anais do I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Piracicaba – MG, 8pp.
- Garcia, F.R., Alixandrini Júnior, M.J., 2023. Determinação da equação regionalizada de chuvas intensas para a bacia hidrográficada cobre em Salvador-BA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v.12, n.1, p.1-15. <https://doi.org/10.59306/rgsa.v12e12023e9332>
- Gumbel, E.J., 1941. The return period of flood flows. *The Annals of Mathematical Statistics*, v.12, n.2, p.163-190, 1941.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf>. Acessado em: 13/maio/2023.
- Kendall, M.G., 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, 220 pp.
- Li, Y., Yan, H., Chen, L., Huang, M., Shou, W., Zhu, L., Zhao, L., Xing, Y. 2024. Performance and uncertainties of five popular satellite-based precipitation products in drought monitoring for different climate regions. *Journal of Hydrology*, v.628, n.1, p.130562-130562. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130562>
- Lorena, E.M.G., Medeiros, R.M., Kozmhinsky, M., Silva, V.P., Holanda R.M., Moraes, A.S., 2017. Comportamento da precipitação e umidade relativa do ar em Caruaru-PE, Brasil. In: *Anais do III Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, Campina Grande – PB*, 6 pp.
- Mann, H.B., 1945. *Econometrica*. The econometric society, 13, 245-259.
- Matos, J.M.M., 2021. Modelos probabilísticos para chuvas intensas na bacia do rio Capibaribe – PE. Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, 150 f.
- Medeiros, R.M., 2018. O balanço hídrico e o aquecimento no município de Caruaru – PE, Brasil. *Revista Equador (UFPI)*, v.7, n.2, p. 126-146. <https://doi.org/10.26694/equador.v7i2.7647>.
- Mendes, K.M.C., Oliveira, A.L., Alcântara, L.R.P., Alves, A.T.A., Santos Neto, S.M., Coutinho, A.P., Montenegro, S.M.G.L., Soares, J.M., Antonino, A.C.D., 2021. Probability distribution of heavy rainfall and determination of IDF in the city of Caruaru – PE. *Revista Ambiente & Água*, v.16, n.1, e2555. <https://doi.org/10.4136/ambi-água.2555>.
- Monteiro, J.B., 2022. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, p.312-332. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p312-332>
- Mora, C., Mckenzie, T., Gaw, I.M., Dean, J.M., Hammerstein, H., Knudson, T.A., Setter, R.O., Smith, C.Z., Webster, K.M., Patz, J.A., Franklin, E.C., 2022. Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. *Nature Climate Change*, v.12, p.869-875. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01426-1>.
- Nóbrega, R.S., Santiago, G.A.C.F., Soares, D.B., 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.18, p.276-292. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43657>
- Pereira, V.R., Rodriguez, D.A., 2022. Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas. *Derbyana*, v.43, e777. <https://doi.org/10.14295/derb.v43.777>
- Pessoa, J.O., Paiva, A.L.R., Lima, A.M.S., Paiva, A.C., Pessoa, J.O., 2022. Uso de um método inovador para análise de tendência da precipitação total anual na bacia do Rio Capibaribe. In: *Anais do XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Anais. Caruaru-PE*.
- Petrucci, E., Azevedo, L.M., 2023. Análise dos eventos extremos de precipitação máxima no município de Cachoeira do Sul/RS, de 1987 a 2020. *Revista de Geografia*, v.40, n.3, p.258-281. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.253447>
- Petrucci, E., Oliveira, L.A., 2019. Relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.25, p.337-354. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.57767>
- Santana, N.F.J., Silva Junior, M.A.B., 2020. Desenvolvimento de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Dois Municípios do Sertão de Pernambuco. *Revista Científica ANAP Brasil*, v.13, n.30, p.41-53. <https://doi.org/10.17271/19843240133020202603>.
- Santos, S.M.S., Silva, J.F.F., Santos, G.C.S., Macedo, P.M.T., Gavazza, S., 2019. Integrating

- conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas, *Journal of Cleaner Production*, v.219, p.639-648.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.068>
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Sena, J.P.O., Lucena, D.B., Moraes Neto, J.M., 2019. Eventos pluviiais intensos e seus impactos em Campina Grande-PB. *Revista de Geociências do Nordeste*, v.5, p.69-77.
<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n0ID17974>
- Silva, A.S., 2013. Comparação entre professores e profissionais de outras áreas em relação ao uso da voz – uma análise estatística. *Trabalho de Conclusão de Curso de Estatística do Instituto de Matemática da UFRJ*, 62 p.
- Silva, B.F., Rodrigues, R.Z.S., Heiskanen, J., Abera T.A., Gasparetto, S.C., Biase, A.G., Ballester, M. V.R., Moura, Y.M., Piedade, S.M., Silva, A.K., Camargo, P.B., 2023a. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. *Ecological Informatics*, v.77, ne.102192.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102192>
- Silva, G.R., Oliveira, D.V.C., Oliveira Júnior, A.I., Carvalho, Í.J., 2023b. Análise das precipitações pluviométricas do município de Serra Talhada-pe e determinação da equação de chuvas intensas por meio de distribuição probabilística. *Revista de Geografia*, v.40, n.1, p.306-333.
<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.257465>
- Silva, R.O.B., Montenegro, S.M.G.L., Souza, W.M., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Eng. Sanitária Ambiental*, v.22, n.3, p.579-589,
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017142481>
- Silva, T.F., Paiva, A.L.R., Santos, S.M., 2015. Análise estatística e tendência das precipitações no município de Caruaru – PE. In: *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Anais, Brasília-DF.
- Silva, T.L.V., Lopes, Z., Ferreira, R., Guedes, R., Pereira, R., Prestrelo, F., Ferreira, A., Gomes, J., Wanderley, C., Santos, E., Oliveira, P., Gomes, V., Dias, H., 2023c. Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.16, n.1, p.646-671.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p646-671>
- Silva, T.R.B.F., Santos, C.A.C., Silva, D.J.F., Santos, C.A.G., Silva, R.M., Brito, J.I.B., 2022. Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil. *Water*, v.14, n.14, p.2190.
<https://doi.org/10.3390/w14142190>
- Siqueira, M., Silva, M.T., De Brito, J.I.B., Braga, C.C., De Souza, A.C., 2024. Índices climáticos extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar na região do MATOPIBA-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.17, n.1, p.446-464, 25.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p446-464>
- Smith, W.S., Silva, F.L., Biagioni, R.C., 2019. River dredging: when the public power ignores the causes, biodiversity and science. *Ambiente & Sociedade*, v.22, p.1-20. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0057r1vu19L1AO>
- Sousa, S.G., 2019. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica na Região Metropolitana do Cariri (Ce), Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, v.2, n.63, p.319-332.
<https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.12>
- Temoteo, K.K.S., 2020. Avaliação das ocorrências de desastres hidrometeorológicos na região semiárida do Brasil no período de 2003 a 2017. *Mestrado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB*, 148 f.
- Verçosa, L.F.M., Gomes, M.M.A., Cirilo, J.A., 2019. Análise de tendência de mudanças climáticas na bacia do rio Capibaribe. In: *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu – PR, 10 p.
- Vianello, R.L., Alves, A.R., 2000. *Meteorologia Básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 448 pp.
- Weschenfelder, A.B., Klering, E.V., Alves, R.C.M., Pinto, É.J.A., 2019. Geração de curvas IDF's para cenários projetados na cidade de Porto Alegre/RS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.34, n.2, p.201-216.
<https://doi.org/10.1590/0102-77863340026>