



PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DO MUNICÍPIO DE SERRA TALHADA-PE E DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS POR MEIO DE DISTRIBUIÇÃO PROBABILÍSTICA

Gustavo Ribeiro da Silva¹, <http://orcid.org/0000-0002-5838-6183>
Daniel Vitor Carvalho de Oliveira², <http://orcid.org/0000-0002-7686-4855>
Antônio Italcý de Oliveira Júnior³, <http://orcid.org/0000-0002-8297-5068>
Ítalo Johnes de Carvalho⁴, <http://orcid.org/0000-0003-2079-3039>

¹ Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Brasil*

² Faculdade de Integração do Sertão - FIS, Serra Talhada, PE, Brasil**

³ Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, PE, Brasil***

⁴ Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Brasil****

Artigo recebido em 09/02/2023 e aceito em 10/04/2023

RESUMO

A compreensão acerca das precipitações máximas de um município é utilizada, dentre outros aspectos, no dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, em projetos de engenharia hidráulica e no estudo de alternativas para diminuir os impactos causados pelas chuvas intensas. Um dos métodos para o cálculo dessas chuvas é em decorrência da determinação de parâmetros da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), através do tratamento dos dados pluviométricos por meio da distribuição probabilística de Gumbel. O município de Serra Talhada, localizado no sertão Pernambucano, é banhado pelo rio Pajeú, que possui uma área de inundação que cobre uma considerada área da zona comercial da cidade, o que contribui para os danos causados quando há a incidência de chuvas intensas, desta forma, o objetivo deste trabalho é determinar os parâmetros da equação IDF, capaz de calcular precipitações intensas para períodos de retorno entre 2 e 100 anos. Para isto, foi utilizada uma série histórica de 50 anos de dados pluviométricos, onde os valores dos parâmetros foram determinados através do método de desagregação de chuvas. Os resultados encontrados foram $k=989,995$; $m=0,2075$; $n=0,7847$ e $b=14,4$. Assim, a equação obtida neste trabalho apresenta alta confiabilidade para a determinação das chuvas intensas acordadas com diferentes períodos de retorno.

Palavras-chave: Equação IDF; precipitações pluviométricas intensas; inundações; distribuição de Gumbel.

* Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Email: gustavo.ribeiro@academico.ufpb.br.

** Engenheiro Civil pela Faculdade de Integração do Sertão. Email: DCmphHz1@gmail.com.

*** Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Email: antonioitalcy@hotmail.com.

**** Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Email: italojohnes@gmail.com.

ANALYSIS OF RAINFALL IN THE MUNICIPALITY OF SERRA TALHADA-PE AND DETERMINATION OF THE EQUATION OF INTENSE RAINFALL THROUGH PROBABILISTIC DISTRIBUTION

ABSTRACT

The understanding of the maximum rainfall in a municipality is used, among other aspects, in the design of urban drainage systems, in hydraulic engineering projects and in the study of alternatives to reduce the impacts caused by heavy rains. One of the methods for calculating these rains is due to the determination of parameters of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation, through the treatment of rainfall data making use of Gumbel probabilistic distribution. The municipality of Serra Talhada, located in the hinter country of Pernambuco, is bathed by the Pajeú River that has a floodplain that covers an area of the commercial zone of the city, which contributes to the damage caused when heavy rains occur, thus, the objective of this work is to determine the parameters of the IDF equation, capable of calculating heavy rainfall for return periods between 2 and 100 years. For this, a historical series of 50 years of rainfall data was used, where the parameter values were determined using the rain disaggregation method. The results found were $k=989.995$; $m=0.2075$; $n=0.7847$ and $b=14.4$. Thus, the equation obtained in this work has high reliability for determining the intense rains agreed with different return periods.

Keywords: IDF equation; heavy rainfall; floods; Gumbel distribution.

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN EL MUNICIPIO DE SERRA TALHADA-PE Y DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LLUVIA INTENSA POR DISTRIBUCIÓN PROBABILISTA

RESUMEN

La comprensión de la precipitación máxima en un municipio se utiliza, entre otros aspectos, en el diseño de sistemas de drenaje urbano, en proyectos de ingeniería hidráulica y en el estudio de alternativas para reducir los impactos provocados por lluvias intensas. Uno de los métodos para el cálculo de estas lluvias se debe a la determinación de los parámetros de la ecuación Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), mediante el tratamiento de los datos pluviométricos mediante la distribución probabilística de Gumbel. El municipio de Serra Talhada, ubicado en el interior de Pernambuco, es bañado por el río Pajeú, el cual tiene un área inundable que cubre un área considerada como el área comercial de la ciudad, lo que contribuye al daño que se produce cuando se da la incidencia de lluvias intensas, por lo que, el objetivo de este trabajo es determinar los parámetros de la ecuación IDF, capaz de calcular precipitaciones intensas para períodos de retorno entre 2 y 100 años. Para ello, se utilizó una serie histórica de 50 años de datos de precipitación, donde los valores de los parámetros se determinaron mediante el método de desagregación de lluvia. Los resultados encontrados fueron $k=989,995$; $m=0,2075$; $n=0,7847$ y $b=14,4$. Así, la ecuación obtenida en este trabajo tiene alta confiabilidad para determinar las lluvias intensas pactadas con diferentes períodos de retorno.

Palabras clave: Ecuación IDF; precipitaciones intensas; inundaciones; distribución de Gumbel.

INTRODUÇÃO

A natureza é uma grande recicladora, e o ciclo hidrológico é um ótimo exemplo dessa característica. Isso pode ser notado ao observar a Terra, que apesar de se tratar de um planeta telúrico, possui aproximadamente 71% de sua superfície coberta por água, sendo a maior parte deste volume comportado pelos oceanos, local de origem dos fenômenos hidrológicos responsáveis por tal reciclagem. O procedimento dá-se início com o vapor de água proveniente da evaporação dos oceanos, que parte em direção às grandes massas de terra, condensando-se ao redor de partículas suspensas no ar, que após atingirem massa suficiente para serem afetadas pela gravidade, iniciam uma queda livre em direção ao solo e vegetações, gerando assim novos corpos hídricos e alimentando aqueles que já existem, como os lagos, por exemplo. Eventualmente, a água depositada nesses corpos também passará por diversos processos e terá como destinação final o seu local de origem, reiniciando todo o ciclo. Esse processo, realizado perpetuamente em várias etapas, é denominado “ciclo da água” ou “ciclo hidrológico”.

Integralmente, mas não necessariamente nesta ordem, o ciclo da água é composto pela evaporação, processos metabólicos (como a sudorese), escoamentos superficial e subterrâneo, condensação, infiltração e precipitação, com o último representando a parcela de água que retorna para a superfície da terra, depois de ter evaporado para a atmosfera. Entretanto, vale salientar que esses eventos podem ser diretamente influenciados por características locais, como clima, vegetação, existência de acidentes geográficos naturais e/ou artificiais, região e mesorregião, volume de água disponível para evaporação, estações do ano, eventos climatológicos extremos, entre outros fatores.

Devido à influência direta que as chuvas causam na agricultura, na construção civil, no tráfego terrestre e aéreo, e em vários outros setores de atuação humana, ou seja, impactando diretamente na economia e no funcionamento das cidades, além de afetarem a vida das populações de modo mais abrangente, estudar o comportamento das precipitações tornou-se um dos objetos de análise mais importantes e necessários dentre os processos constituintes do ciclo da água, afim de melhor compreendê-las e lidar com as suas ocorrências.

As principais variáveis consideradas para o estudo de dados pluviométricos são intensidade, duração e frequência, quando relacionadas são capazes de gerar as curvas e as equações IDF, sendo a sigla o resultado de suas abreviações, respectivamente.

Um aspecto a ser ressaltado, segundo Canholi (2014), é que as curvas IDF são geradas através

da relação entre registros históricos de precipitações e suas respectivas durações. Tais variáveis conseguem determinar a magnitude de uma dada precipitação e é através desse conhecimento que é possível projetar os impactos que podem ser causados pelo contato deste volume de água com maciços de solo, vegetações e demais elementos expostos em uma determinada localidade, seja rural ou urbana.

Muitos problemas podem ser causados pela incidência de uma precipitação intensa sob uma região, como por exemplo: erosão do solo, destruição de lavouras, ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos, intensificação do processo de assoreamento, rompimento de barragens devido ao grande fluxo e acumulação de fluidos e/ou objetos carregados pelas correntezas, instabilidades e deslizamentos de terra, destruição de pavimentos e, conseqüentemente, danificação parcial ou integral de unidades habitacionais, comerciais e industriais – podendo deixar um grande número de pessoas desalojadas e vulneráveis às intempéries e demais situações de risco.

Através da análise e do tratamento de dados pluviométricos de uma série histórica de uma determinada cidade, é possível criar equações através do método de Gumbel, por exemplo, que é o mais utilizado para determinar precipitações intensas em tempos de retorno pré-estabelecidos. Botelho (2017) destacou que a intensidade de uma precipitação é a quantidade de chuva que cai sob uma área em um determinado espaço de tempo, e que se trata de uma medida volumétrica. Nesse caso, considera-se uma medida volumétrica pois é mensurada a partir da altura da lâmina de água que se formaria em um metro quadrado, caso a água não infiltrasse nem evaporasse.

Harzallah, Rocha de Aragão & Sadourny (1996) afirmaram que o Nordeste brasileiro apresenta grande variabilidade interanual de precipitações e que o volume de chuvas varia normalmente entre 1800 mm na costa litorânea e menos de 400 mm no centro da região. Apesar dessa considerada variabilidade, o Nordeste do Brasil pode ser caracterizado como uma região predominantemente de altas temperaturas e chuvas mal distribuídas. Silva *et al.* (2006) destacaram que o Nordeste brasileiro (NEB) é mundialmente reconhecido devido à grande variabilidade espaço-temporal do seu regime pluviométrico, que acarreta secas severas e chuvas excessivas em determinadas áreas da região.

“Os períodos de duração das secas e enchentes dependem do período de atuação, duração, intensidade e cobertura de eventos de grande escala, como o El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) e do Dipolo do Atlântico” (SILVA *et al.*, 2010). O Sertão é a sub-região do Nordeste mais afetada pela irregularidade de ocorrência das precipitações, tratando-se de uma zona de clima semiárido e tendo

como vegetação típica a caatinga – ambos fatores que contribuem para a escassez hídrica que afeta a região. O baixo volume de precipitações pluviais e a alta irregularidade na distribuição das chuvas impactam agressivamente a paisagem sertaneja, com consequências sociais, culturais, políticas e principalmente econômicas.

O município de Serra Talhada, localizado na mesorregião do Sertão Pernambucano, banhado pelo Rio Pajeú, é caracterizado por elevadas temperaturas e um regime bastante inconsistente de chuvas, passando por longos períodos de estiagem e eventuais chuvas intensas que geram alagamentos e inundações em determinados pontos da cidade. As severas secas que o município enfrenta acarretam problemas a curto e a longo prazo, afetando negativamente o desempenho das áreas que necessitam do abastecimento contínuo de água, sobretudo, a pecuária e a agricultura. Em contrapartida, as chuvas intensas atingem a cidade e podem gerar prejuízos imediatos e de grandes proporções, como danos materiais (residenciais, comerciais e/ou industriais), quedas de árvores, cortes na distribuição de eletricidade (normalmente devido às árvores que caem sobre os fios elétricos), interrupção do tráfego de pessoas, veículos etc. Assim como mostram registros de inundações no município, em março de 2020.

Considerando a forte influência que as chuvas causam no ambiente e na forma como o ser humano vive, de modo geral, este trabalho objetiva estudar os dados pluviométricos de uma série histórica do município de Serra Talhada – PE e determinar, através de estimativas, a equação para o cálculo de chuvas intensas relacionadas com diferentes períodos de retorno.

METODOLOGIA

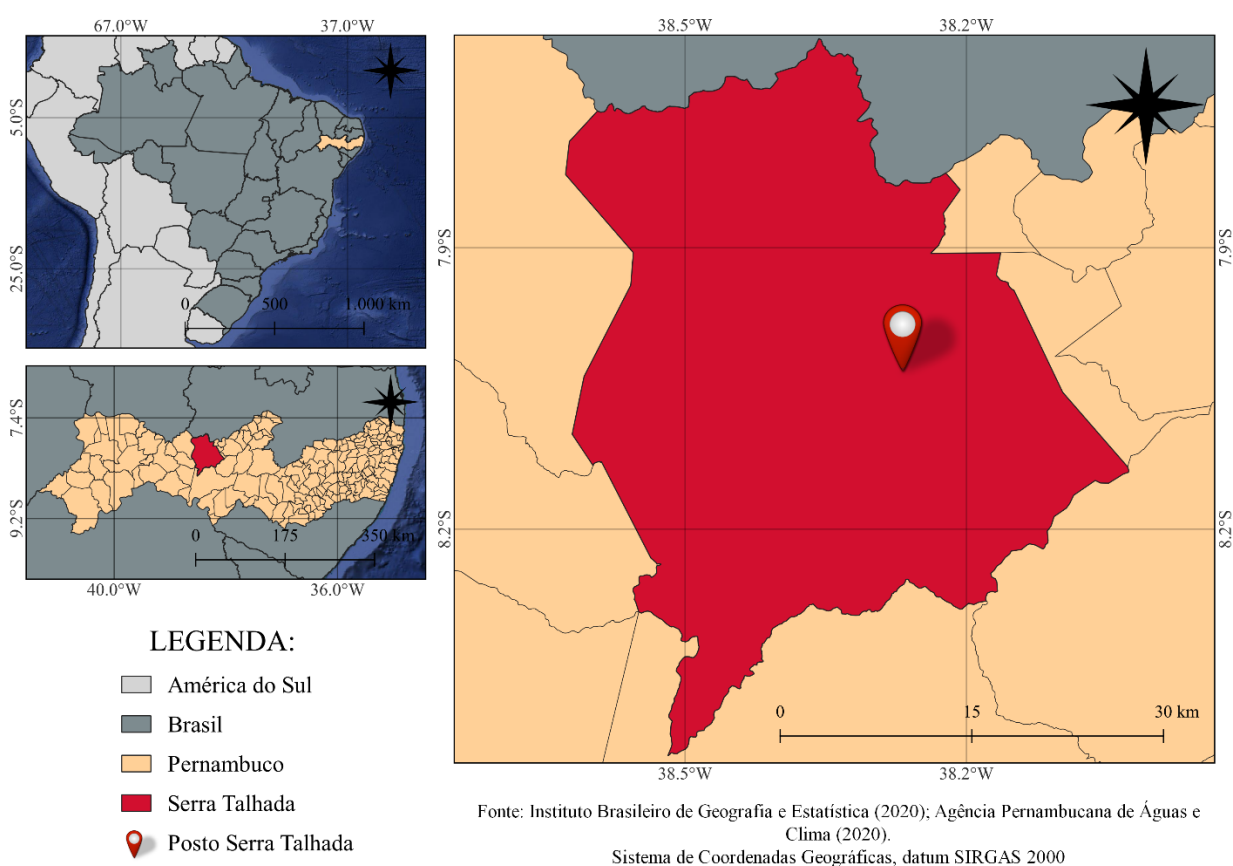
Área de estudo

O município de Serra Talhada, situado no extremo norte do estado de Pernambuco, na região do Vale do Pajeú, no Nordeste do Brasil, é considerado o mais importante município da mesorregião do Sertão Pernambucano. Distante aproximadamente 415 km da capital do estado, Recife, Serra Talhada é um polo em educação, economia, saúde e comércio, sendo uma cidade de referência em vários setores, atendendo todas as cidades situadas nas circunvizinhanças do município. Está localizado entre as coordenadas geográficas 07° 47' 40,42" e 08° 30' 42,20" de latitude Sul e 37° 50' 54,41" e 38° 45' 36,26" de longitude Oeste (Figura 1), a uma altitude de 429 metros. A cidade compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú e está inserida no contexto geoambiental da Depressão Sertaneja.

As suas características de clima, vegetação e relevo representam condições típicas do Semiárido Nordeste.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), Serra Talhada possui uma extensão territorial de 2.980,007 km², com uma população de aproximadamente 87.467 habitantes e uma densidade demográfica de 26,59 habitantes por quilômetro quadrado, além de possuir um PIB per capita correspondente a R\$ 18.214,14. Serra Talhada apresenta um acelerado crescimento populacional em comparação a outras cidades interioranas, sendo o segundo município que mais cresce no Sertão de Pernambuco, atrás somente de Petrolina, localizada na Mesorregião do São Francisco Pernambucano.

Figura 1: Localização geográfica do município de Serra Talhada - PE.



Fonte: Autores, 2020.

A dinâmica de precipitações do município de Serra Talhada segue a média do regime de chuvas observada no semiárido brasileiro, isto é, um período de 3 a 4 meses, entre janeiro e abril, com um volume regular de precipitações e eventuais chuvas intensas, e um período de 8 a 9 meses, entre maio e dezembro, de estiagem ou com baixos índices pluviométricos, como descreveram Cabral

& Santos (2007). Esse longo espaço de tempo com cessação de chuvas gera transformações na vegetação, no clima e, consequentemente, resulta na falta de recarga em reservatórios hídricos – o que acarreta períodos de seca na região. O município possui uma média de precipitação pluviométrica que gira em torno de 680 mm por ano, e uma temperatura média anual de 25°C.

A área de estudo está inserida na rota de descarga hídrica de outros municípios, como Carnaíba e Afogados da Ingazeira, ou seja, quando chuvas intensas precipitam nesses locais, este volume de água acaba aumentando o nível do Rio Pajeú na extensão que passa por Serra Talhada e, em razão disso, atinge construções erguidas nas proximidades do leito natural do rio. A cidade, assim como muitos municípios brasileiros, sofreu e ainda sofre com um acelerado crescimento populacional, alinhado à falta de investimento em projetos de planejamento urbano, enfrentando desta forma, em algumas localidades, um déficit em saneamento básico e drenagem urbana, o que intensifica os danos causados pelas chuvas intensas.

Obtenção dos dados

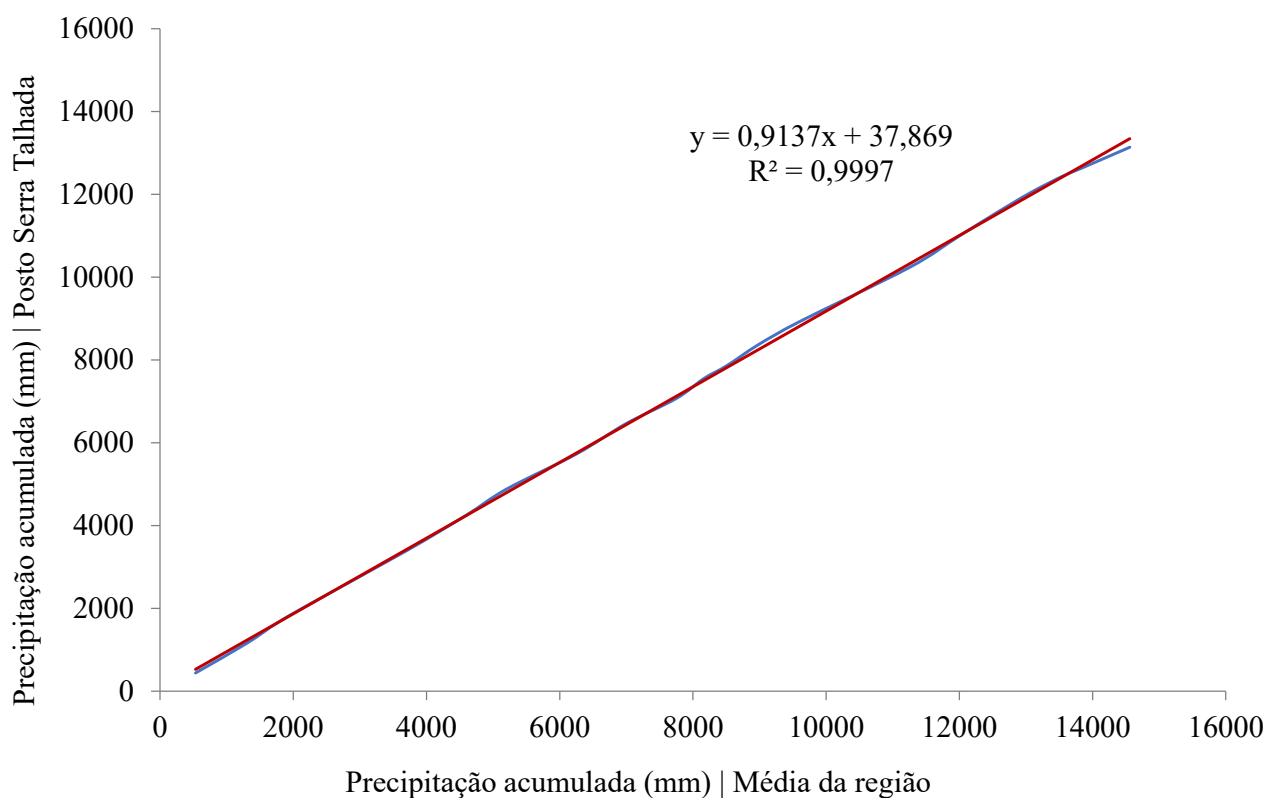
Os dados das precipitações pluviométricas utilizados neste trabalho para a determinação de chuvas intensas do município de Serra Talhada foram disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2020). A manipulação dos dados se fez através das informações de chuvas coletadas pelo Posto Serra Talhada, localizado nas coordenadas geográficas 07° 59' 35" de latitude sul e 38° 17' 37" de longitude oeste, próximo ao centro comercial da cidade, tratando-se do único posto inserido pela APAC na zona urbana de Serra Talhada, estando os demais implantados em diferentes locais da zona rural. Desta forma, foi utilizada uma série histórica de 50 anos, entre janeiro de 1967 e abril de 2020, sendo desconsiderados os anos de 1978, 1988, 1989 e 1992, por não apresentarem dados pluviométricos registrados no site da APAC.

Todos os dados foram eletronicamente processados através do software Excel, desenvolvido pela Microsoft, e foi utilizado ainda, o método da dupla massa para verificação quanto à consistência das informações empregadas neste trabalho. Tal método se fundamentou em comparar os valores acumulados anuais do posto Serra Talhada, com os valores da média de outros três postos vizinhos: Fazenda Quixaba, Tauapiranga e Varzinha. Ambos apresentaram uma perda de dados menor que 10%, sendo 3,8%; 3,6% e 4,1% respectivamente. Para a verificação foram usados os dados pluviométricos registrados entre janeiro de 1970 e dezembro de 1994.

De acordo com a análise das informações explicitadas na Figura 2, é possível comprovar que

os dados utilizados nesta pesquisa apresentam boa consistência, tendo em vista que a curva e a reta geradas possuem pouca variabilidade, uma em relação à outra. Outro importante indício que comprova a confiabilidade dos dados é o coeficiente de determinação (R^2), que gerou um valor de 0,9997. A partir da comprovação quanto à consistência na utilização dos dados de chuvas do posto Serra Talhada, foram selecionadas as precipitações pluviométricas máximas anuais, como evidencia a Tabela 1.

Figura 2: Método da dupla massa para verificação da consistência dos dados.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 1: Precipitações máximas anuais do Posto Serra Talhada.

Distribuição de Valores de Precipitações Máximas Anuais (mm)										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
196...	-	-	-	-	-	-	-	89,9	128,1	55,4
197...	113,2	135,4	56	70,6	74,2	72	78	89	-	110
198...	68,4	58	53,6	75	50	98	107	66	-	-
199...	87	95	-	33,8	60	83,4	108,4	49	31,5	105
200...	90	52,1	52,8	58,4	86,8	67,6	72,2	151	79	47,9
201...	125,4	84,9	51,3	60	85	72,8	117,1	47	64	74
202...	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: APAC – Adaptado, 2020.

Análises estatísticas

A partir dos dados utilizados foram gerados gráficos das médias mensais das precipitações pluviométricas, bem com suas variabilidades através do cálculo do coeficiente de variação, representado em forma de percentagem. Foram realizadas ainda, verificações quanto ao teste de aderência Qui-quadrado, este possuindo um índice de confiabilidade de 99%, além de análises de distribuição de frequência.

Para o cumprimento do objetivo deste trabalho, foram calculadas através de estimativas, as chuvas máximas para tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para o município estudado, através das distribuições de Gumbel.

O método da distribuição de Gumbel, de acordo com Rowinski, Strupczewski & Singh (2002) é de fato o método com maior destaque na literatura, empregado em estudos acerca de chuvas intensas. Algumas variáveis fundamentais para a concretização do cálculo são obtidas através de valores tabelados e disponibilizados na literatura. Tal método corrobora-se, desta forma, simplesmente de acordo com a seguinte equação, que representa a Função Cumulativa de Probabilidade (FCP):

$$P = 1 - e^{-e^{-y_i}} \quad (\text{Equação 1})$$

P representa a probabilidade de uma determinada precipitação pluviométrica máxima voltar a acontecer num dado período de retorno, com a mesma intensidade da precipitação analisada ou ainda com um volume maior e y_i representa uma variável reduzida, calculada através da seguinte equação:

$$y_i = a (X_i - X_f) \quad (\text{Equação 2})$$

X_i representa cada precipitação pluviométrica máxima registrada e os valores de a e X_f são calculados a partir das seguintes equações:

$$a = \frac{S_n}{S_x} \quad (\text{Equação 3})$$

$$X_f = \bar{X} - S_x \left(\frac{\bar{Y}_n}{S_n} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$\bar{X}$ equivale à média aritmética dos dados de chuvas utilizados, enquanto S_x é o desvio padrão dos mesmos. $\bar{Y}_n$ e S_n são parâmetros tabelados que representam os valores esperados das médias aritméticas e dos desvios padrões da variável reduzida (y_i), ambos em função do número de dados utilizados. A Tabela 2 representa os valores desses parâmetros, disponibilizados por Villela & Mattos (1975), que são comumente utilizados por vários autores em trabalhos acerca do estudo de precipitações pluviométricas intensas.

Tabela 2: Valores dos parâmetros $\bar{Y}_n$ e S_n em função do número de dados.

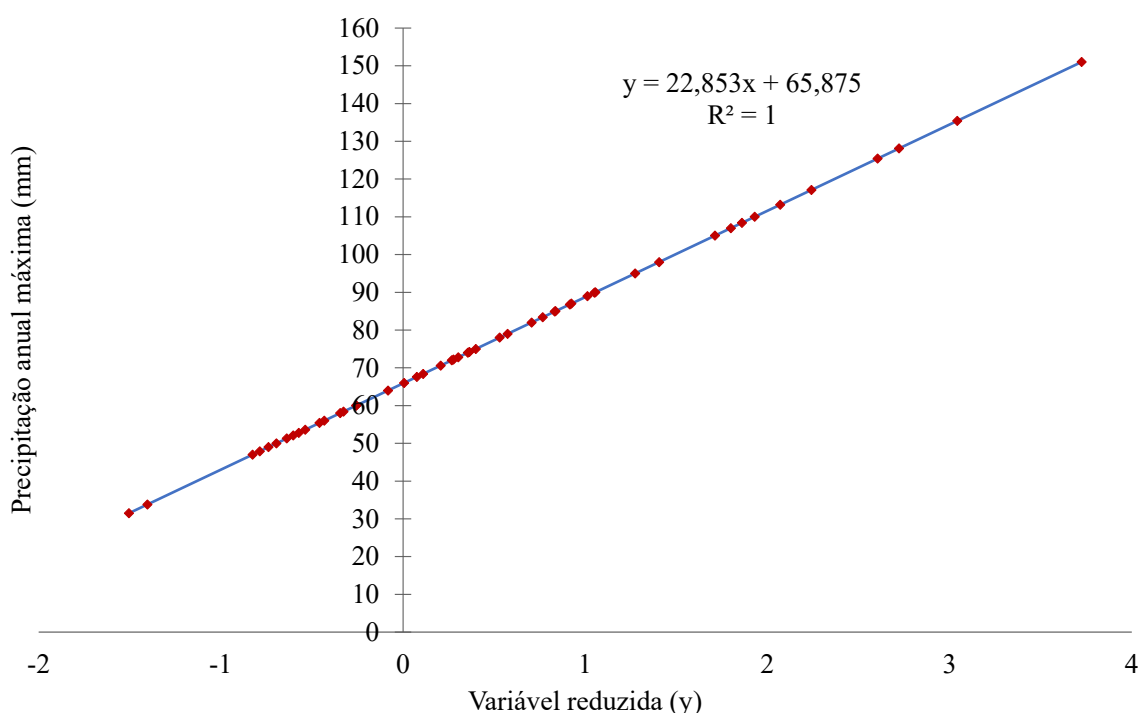
n	$\bar{Y}_n$	S_n	n	$\bar{Y}_n$	S_n
20	0,52	1,06	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21
50	0,55	1,16	150	0,56	1,23
60	0,55	1,17	200	0,57	1,24
70	0,55	1,19	∞	0,57	1,28

Fonte: Villela & Mattos, 1975.

Utilizando as equações 3 e 4 foi possível obter os valores de a e X_f , e juntamente com os valores de cada precipitação pluviométrica máxima registrada, pôde-se aplicar os mesmos na equação 2, e assim obteve-se os valores das variáveis reduzidas para as chuvas máximas utilizadas no estudo. Relacionando os valores das variáveis reduzidas com os das precipitações máximas, gerou-se o gráfico explicitado na Figura 3.

Através do referido gráfico foi mensurada uma equação, utilizada para calcular as chuvas máximas relacionadas aos períodos de retorno estabelecidos anteriormente.

Figura 3: Variável reduzida X precipitação máxima anual registrada no Posto Serra Talhada.



Fonte: Autores, 2020.

A Tabela 3, também disponibilizada na literatura, proveniente de estudos desenvolvidos por Villela & Mattos (1975), evidenciam valores de variáveis reduzidas relacionadas com diferentes períodos de retorno, esses valores foram empregados na equação obtida no gráfico evidenciado na Figura 3, e desta maneira, foram calculadas as precipitações máximas acordadas com os períodos de retorno previamente estabelecidos neste trabalho.

Tabela 3: Variáveis reduzidas em função dos períodos de retorno.

Variável Reduzida (y)	Período de Retorno (Tr)
0,00	1,58
0,37	2
0,58	2,33
1,50	5
2,25	10
2,97	20
3,18	25
3,39	30
3,90	50
4,60	100

Fonte: Villela & Mattos, 1975.

Determinação dos parâmetros das equações IDF

Em estudos que envolvem precipitações pluviométricas máximas, intensidade, duração e frequência são variáveis que podem ser estimadas utilizando regressões lineares e não lineares. Tais regressões geram equações que possibilitam um melhor entendimento no que tangencia a variabilidade das precipitações, ou seja, sua intensidade relacionada com um determinado tempo de ocorrência.

Como em estudos de chuvas deve-se haver a consideração de variadas questões, estas equações (obtidas através de regressões) levam em consideração particularidades do local analisado, bem como características da série histórica dos dados pluviométricos utilizados. Há vários tipos de equações que relacionam intensidade, duração e frequência (IDF), a equação 5 evidencia uma delas:

$$i = \frac{k (Tr^m)}{(t+b)^n} \quad \text{(Equação 5)}$$

A equação 5 calcula a intensidade da precipitação, representado pela incógnita i e é dada em (mm/h), Tr equivale ao período de retorno, em anos. Já k , b , m e n são parâmetros a serem calibrados, na equação. A fim de encontrar os valores dos parâmetros anteriormente citados, a equação 5 sofreu alterações, resultando na equação 6. Onde t representa a duração da precipitação, em minutos.

$$i = \frac{C}{(t+b)^n} \quad \text{(Equação 6)}$$

Em seguida aplicou-se logaritmo a todas as variáveis da equação 6, com o objetivo de determinar os parâmetros da equação IDF, dando origem destarte à equação 7:

$$\log(i) = \log C - n \log(t + b) \quad \text{(Equação 7)}$$

Os valores das intensidades foram adquiridos através da associação entre as precipitações máximas registradas e os períodos de retorno, encontradas através da utilização do método

probabilístico de Gumbel. Fazendo uso do método de desagregação de chuvas e coeficientes, proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (1986), as mesmas sofreram um processo de desagregação, divididas em precipitações com intervalos de tempo menores que 24 horas.

A Tabela 4 evidencia os coeficientes de desagregação de chuvas com duração equivalente a um dia.

Tabela 4: Coeficientes de desagregação de dados pluviométricos.

Durações	Coeficientes
24h/dia	1,14
12h/24h	0,85
10h/24h	0,82
08h/24h	0,78
06h/24h	0,72
01h/24h	0,42
30min/01h	0,74
25min/01h	0,91
20min/01h	0,81
15min/01h	0,70
10min/01h	0,54
05min/01h	0,34

Fonte: CETESB, 1986.

De acordo com Bielenki Júnior *et al.* (2016), o método de desagregação de precipitações máximas diárias em diferentes tempos de retorno, como o proposto pela CETESB, é de fácil utilização e permite usar dados obtidos de pluviômetros, quando há a ausência de dados de pluviográficos, e trata-se de uma técnica de uso recorrente na prática da engenharia. Longo, Sampaio & Suszek (2006) afirmaram ainda, que a equação de precipitações máximas determinada pelo método de desagregação de chuvas, pode também ser utilizada em projetos de obras hidráulicas.

Utilizando a equação 7, que relaciona as intensidades das precipitações com suas respectivas durações e tempos de retorno, foram calculados os logaritmos, sendo que b foi estimado através de iteração utilizando o método da regressão linear, aplicando aos logaritmos nos dois lados da igualdade.

Em seguida estabeleceu-se a geração de gráficos de dispersão, onde o eixo x foi representado pela expressão $\log(t+b)$ e o eixo y pela expressão $\log(i)$, desta maneira, através da técnica de

regressão linear simples foi possível determinar o parâmetro n , que representa o coeficiente angular da reta, e o coeficiente linear, descrito como $\log C$, ambos para cada período de retorno utilizado no presente estudo.

Os parâmetros k e m , presentes na equação 5, foram estimados através da equação a seguir, que utiliza o método dos mínimos quadrados:

$$\log C = \log k + m \log(\text{Tr}) \quad (\text{Equação 8})$$

Na equação 8, $\log k$ representa o coeficiente linear, enquanto m significa o coeficiente angular.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da manipulação dos dados de chuvas máximas anuais do Posto Serra Talhada, pôde-se agrupá-los em classes e observou-se que as classes com maior frequência de ocorrência de precipitação são as classes 3 e 4, ambas com uma frequência observada equivalente a 13 como está evidenciado na Figura 4.

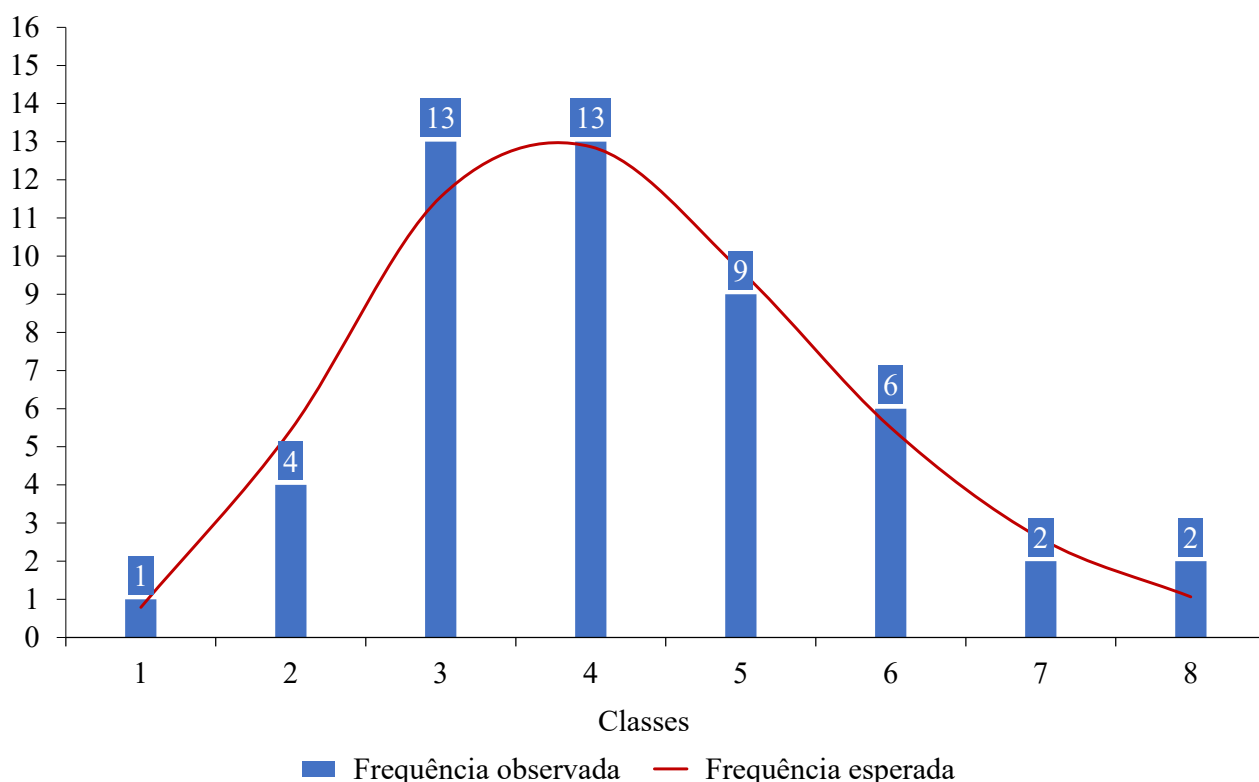
As precipitações pluviométricas variam entre 65,3 mm e 82,2 mm na classe 3 e entre 82,2 mm e 99,1 mm na classe 4, como explicita a Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição de frequência dos dados pluviométricos do Posto Serra Talhada.

Classe	Intervalos de classe	Frequência observada
1	31,5 – 48,4	1
2	48,4 – 65,3	4
3	65,3 – 82,2	13
4	82,2 – 99,1	13
5	99,1 – 116,0	9
6	116,0 – 132,9	6
7	132,9 – 149,8	2
8	149,8 – 166,7	2

Fonte: Autores, 2020.

Figura 4: Histograma ajustado do Posto Serra Talhada.

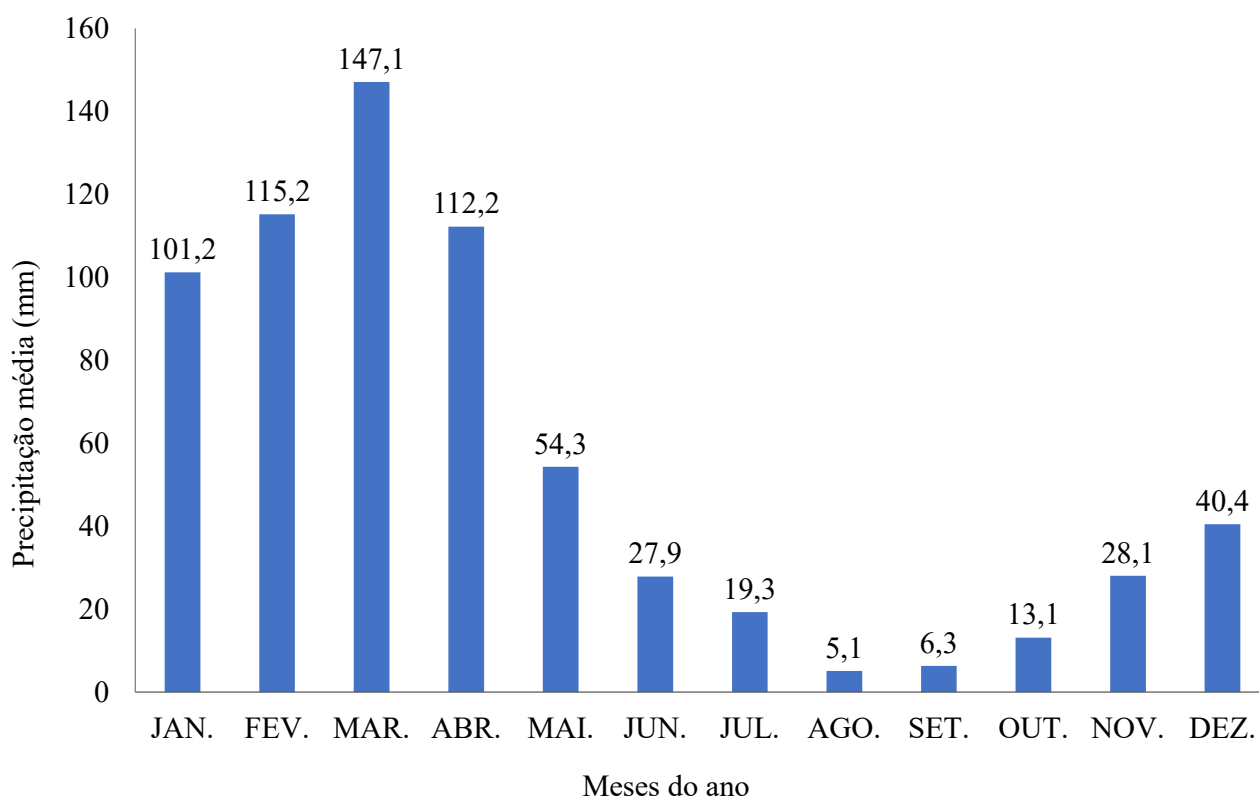


Fonte: Autores, 2020.

Através da análise do gráfico exposto na Figura 5, é possível observar as médias aritméticas das precipitações pluviométricas em cada mês dos dados da série histórica de 50 anos. O gráfico explana que o mês de março é o que apresenta o maior volume de precipitações, com um valor médio cumulativo de 147,1 mm, enquanto que os outros três meses que compõem o primeiro quadrimestre do ano (janeiro, fevereiro e abril) também possuem os maiores registros de precipitações, o que confirma a explicação de Cabral & Santos (2007), apresentada no início deste estudo.

Em contrapartida, o mês de agosto é o que apresenta o menor valor médio de precipitações (5,1 mm), evidenciando ser o mês mais seco do ano. Julho, setembro e outubro configuram os demais meses com menores índices de precipitações pluviométricas na cidade de Serra Talhada. E ainda através da análise dos dados foi possível observar que a precipitação média anual do município é de 655,482 mm.

Figura 5: Média mensal das precipitações coletadas pelo Posto Serra Talhada.



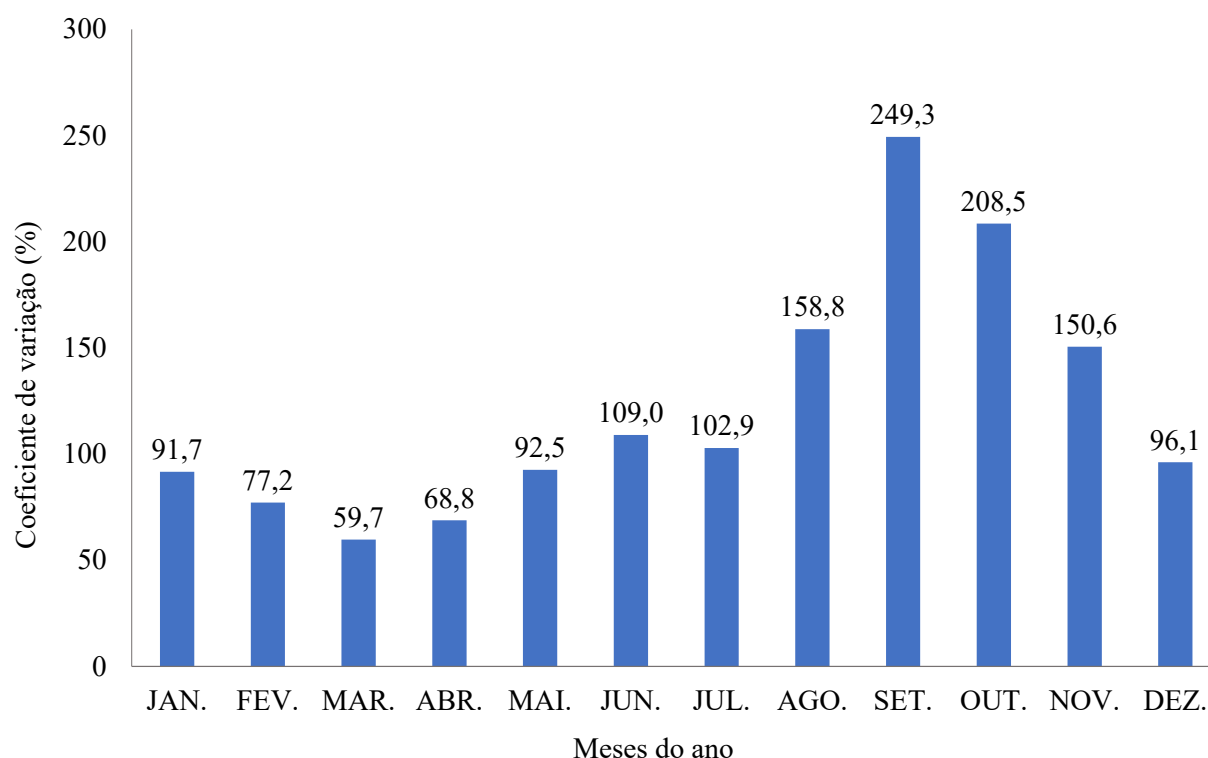
Fonte: Autores, 2020.

O gráfico explicitado na Figura 6 representa as variabilidades dos valores das médias aritméticas. Através dele é possível observar que o mês de março apresenta o menor coeficiente de variação (CV) quando comparado aos outros meses do ano, possuindo um valor de 59,7%, já o mês de setembro é o que possui o maior CV, representando 249,3%. Este gráfico evidencia que março é o mês que possui maior homogeneidade com relação à dispersão dos dados pluviométricos, isto significa que ao longo da análise das chuvas intensas dos últimos 50 anos, os índices pluviométricos registrados nos meses de março apresentam valores similares.

Por outro lado, o mês de setembro é o que apresenta maior heterogeneidade, ou seja, através das análises das chuvas intensas nos meses de setembro, pôde-se observar uma alta variabilidade com relação aos dados de chuvas registrados.

De acordo com os gráficos das Figuras 5 e 6 é possível determinar, desta forma, que o município de Serra Talhada possui a estação mais chuvosa, nos primeiros meses, passando pelo período de maior escassez hídrica, no meio do ano, e voltando a estabilizar seus registros a partir de novembro.

Figura 6: Valores das variabilidades dos dados pluviométricos registrados.



Fonte: Autores, 2020.

A estação chuvosa, compreendida entre janeiro e abril, registra 475,61 mm de precipitação pluviométrica, o que corresponde a aproximadamente 72,6% da precipitação média anual, que gira em torno de 655,5 mm. Já a estação seca, que ocorre entre os meses de julho e outubro, contribui aproximadamente com apenas 6,7% do registro anual de precipitações. Oliveira Júnior *et al.* (2019) desenvolveram para o município do Crato, no estado do Ceará, o mesmo estudo proposto pelo presente trabalho, analisaram uma série histórica de 42 anos de precipitações pluviométricas e determinaram as chuvas intensas para os períodos de retorno previamente estabelecidos.

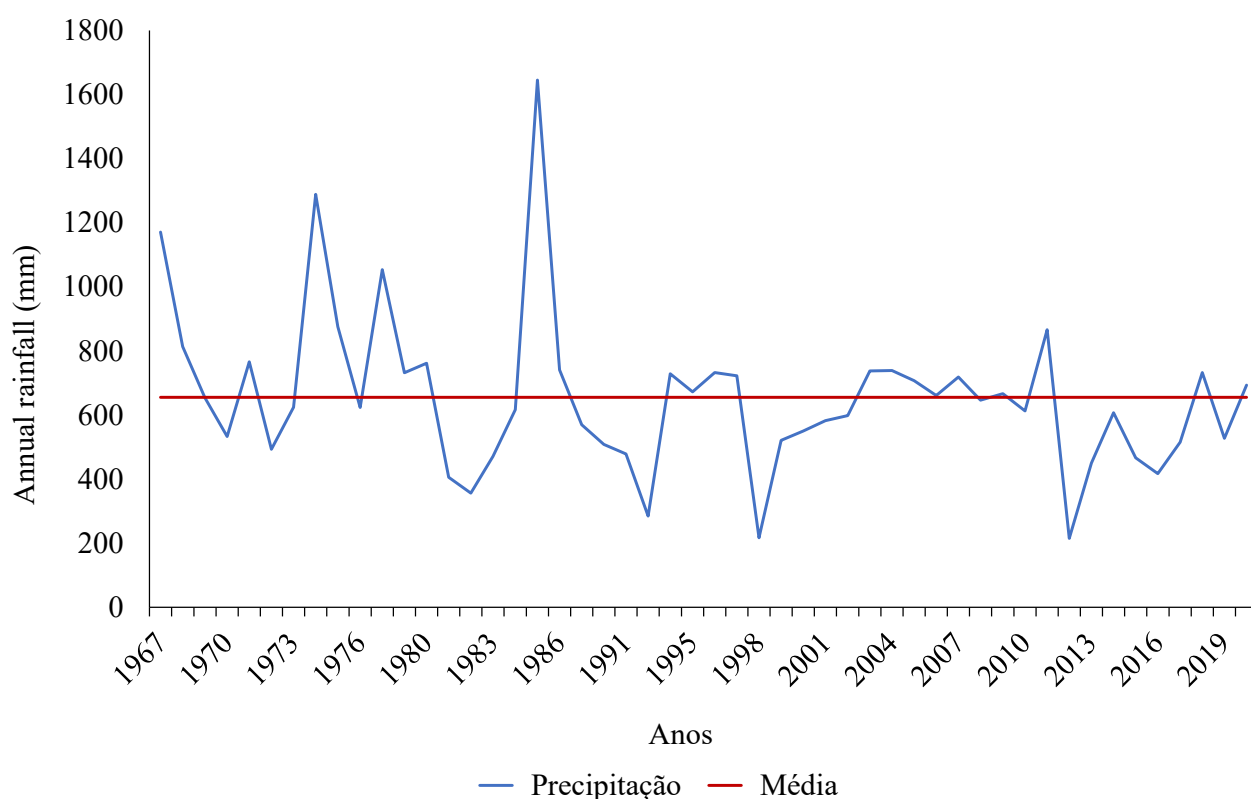
O município do Crato também se encontra localizado na região semiárida e apresenta características geográficas parecidas com as de Serra Talhada. Traçando um paralelo entre os dados de chuvas destes dois municípios, é possível determinar que o volume pluviométrico médio anual do Crato é maior (1118,6 mm), compreendendo quase o dobro do volume médio anual de chuvas do município de Serra Talhada.

Todavia, Serra Talhada e o Crato possuem bastante semelhança no que diz respeito à distribuição anual das precipitações pluviométricas, ou seja, ambas possuem suas estações chuvosas

compreendidas nos primeiros quatro meses do ano, sendo o mês de março o que registra o maior volume de precipitações, nos dois municípios.

Nesta comparação é possível comprovar ainda, que tanto no Crato quanto em Serra Talhada, o mês de agosto é o que apresenta o menor volume de chuvas, consequentemente gerando neste período, maior escassez hídrica em ambas as cidades. Ainda comparando pluviometricamente os dois municípios, destaca-se que 1985 foi o ano em que houve, tanto no município pernambucano quanto no cearense, o maior registro anual de precipitação pluviométrica, dentro das séries históricas analisadas (50 anos e 42 anos, respectivamente), em 1985, Serra Talhada registrou 1645,1 mm de chuva (Figura 7) e o Crato registrou 1970,0 mm.

Figura 7: Oscilação dos dados de chuvas registrados no posto Serra Talhada.



Fonte: Autores, 2020.

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, que faz parte do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017), no ano de 1985 foi registrada a ocorrência do evento climático “La Niña”, responsável por resfriar a superfície das águas do Oceano Pacífico, por um tempo prolongado, causando no Norte e Nordeste do Brasil, um aumento considerado no

volume de chuvas. Analisando os dados de precipitações de Serra Talhada, é possível, desta forma, afirmar que o município se encontra inserido dentro das características pluviométricas esperadas para a região semiárida brasileira.

Todos os resultados dos cálculos realizados para obtenção dos valores das precipitações máximas relacionadas com cada período de retorno empregado, utilizando o método de Gumbel, foram evidenciados na Tabela 6. De acordo com a análise dos dados presentes na referida tabela, é possível observar que a cada 100 anos é provável que ocorra uma precipitação pluviométrica igual ou superior a 171,0 mm. Assim, esta mesma lógica se repete para as demais precipitações máximas e seus respectivos períodos de retorno.

Tabela 6: Precipitações máximas relacionadas com diferentes períodos de retorno.

Período de Retorno – Tr (anos)	Precipitação Máxima – P (mm)
2	74,3
5	100,2
10	117,3
25	139,0
50	155,0
100	171,0

Fonte: Autores, 2020.

Em 18 de fevereiro de 2007, o Posto Serra Talhada registrou a maior precipitação pluviométrica diária no município, sendo esta de 151,0 mm. Tal precipitação corresponde a um período de retorno levemente inferior a 50 anos, o que significa que durante esse espaço de tempo, provavelmente uma chuva com intensidade igual ou superior a esta, volte a ocorrer em um único dia.

A segunda maior precipitação registrada em Serra Talhada, no dia 08 de abril de 1971, foi de 135,4 mm e equivale a um período de retorno levemente inferior a 25 anos, sendo assim, uma precipitação com intensidade igual ou superior a esta, possivelmente ocorreu em 1988, 1989 ou em 1992, todavia por alguma razão atípica, esses anos não possuem informações pluviométricas computadas no banco de dados da APAC.

As precipitações máximas relacionadas com cada período de retorno, apresentadas na Tabela 6, foram transformadas em valores de 24h. Para tal modificação, foi empregado o método de desagregação de chuvas da CETESB, ou seja, os valores precisaram passar por uma correção e foram utilizados, desta forma, os coeficientes explicitados na Tabela 4. Em seguida, obtiveram-se os valores das intensidades das precipitações de acordo com cada período de retorno para as diferentes durações, como está sendo evidenciado na Tabela 7.

Foi construído um gráfico (Figura 8) através do cálculo dos logaritmos das intensidades das precipitações máximas mostradas na Tabela 7, em função dos logaritmos das respectivas durações, somados ao parâmetro b, sendo este obtido através da otimização do R^2 da regressão linear de $\ln(I) \times \ln(t+b)$. Foi encontrado um valor de R^2 equivalente a 0,9994 e o parâmetro b igual a 14,4.

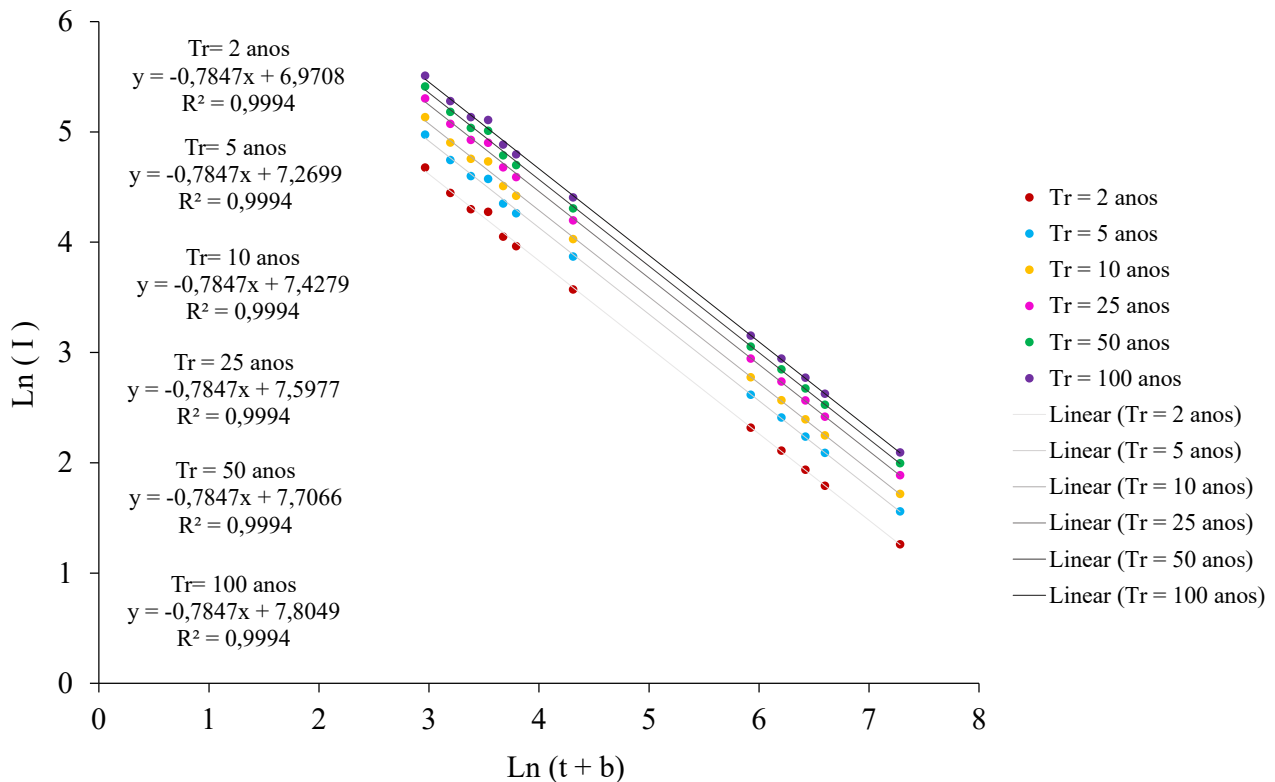
Tabela 7: Intensidade das precipitações em mm/h através do método de Gumbel.

Duração	Tr - tempo de retorno					
	2	5	10	25	50	100
24h	3,53	4,76	5,57	6,60	7,36	8,12
12h	6,00	8,09	9,47	11,22	12,52	13,81
10h	6,94	9,36	10,96	12,99	14,49	15,98
8h	8,25	11,13	13,04	15,45	17,23	19,01
6h	10,16	13,70	16,05	19,02	21,20	23,39
1h	35,56	47,95	56,16	66,56	74,21	81,87
30min	52,62	70,97	83,12	98,50	109,84	121,17
25min	57,47	77,50	90,76	107,56	119,94	132,32
20min	71,83	96,88	113,46	134,46	149,93	165,40
15min	73,67	99,36	116,36	137,90	153,77	169,64
10min	85,25	114,97	134,65	159,57	177,94	196,30
5min	107,35	144,78	169,56	200,94	224,07	247,19

Fonte: Autores, 2020.

Na Figura 8 é mostrado o resultado da regressão linear para a melhor aderência dos valores dos logaritmos das intensidades em função das durações + b, provenientes dos dados de chuvas manipulados através da distribuição de Gumbel. Dentro do estudo da equação IDF, o parâmetro n equivale ao coeficiente angular das retas presentes no gráfico da Figura 8, este parâmetro apresentou um valor igual a 0,7847 para todas as retas, pois estas possuem o mesmo valor de inclinação.

Figura 8: Aderência otimizada à regressão linear dos valores de $\ln(I)$ X $\ln(t+b)$.



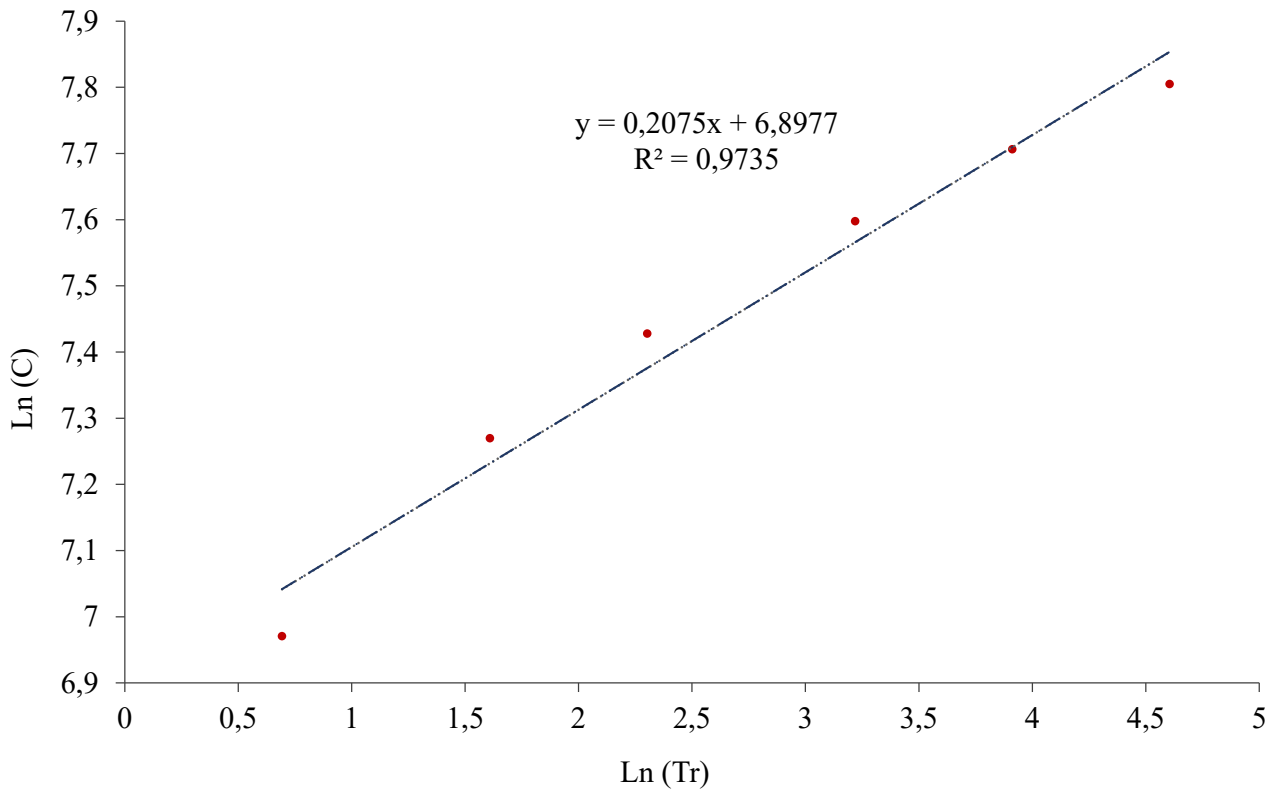
Fonte: Autores, 2020.

Os valores das regressões lineares alcançados na Figura 8 equivalem ao $\ln(C)$, sendo este gerado em função dos valores dos logaritmos dos diferentes períodos de retorno de cada curva, desta maneira, foi possível se obter os valores dos parâmetros m e k, presentes na equação IDF, através de regressão linear.

O coeficiente angular da reta representa o parâmetro m, enquanto que o coeficiente linear equivale ao parâmetro k. A Figura 9 explana o gráfico que mostra $\ln(C)$ X os valores dos logaritmos dos períodos de retorno [$\ln(Tr)$], dos dados de precipitações pluviométricas tratados pelo método da distribuição de probabilidade de Gumbel.

De acordo com a análise do gráfico presente na Figura 9 é possível determinar que o coeficiente angular possui um valor equivalente a $m = 0,2075$, enquanto que o coeficiente linear corresponde a um valor de $k = 989,995$.

Figura 9: Regressão linear dos valores de $\ln(C)$ X $\ln(Tr)$ para os dados obtidos pelo método de Gumbel.



Fonte: Autores, 2020.

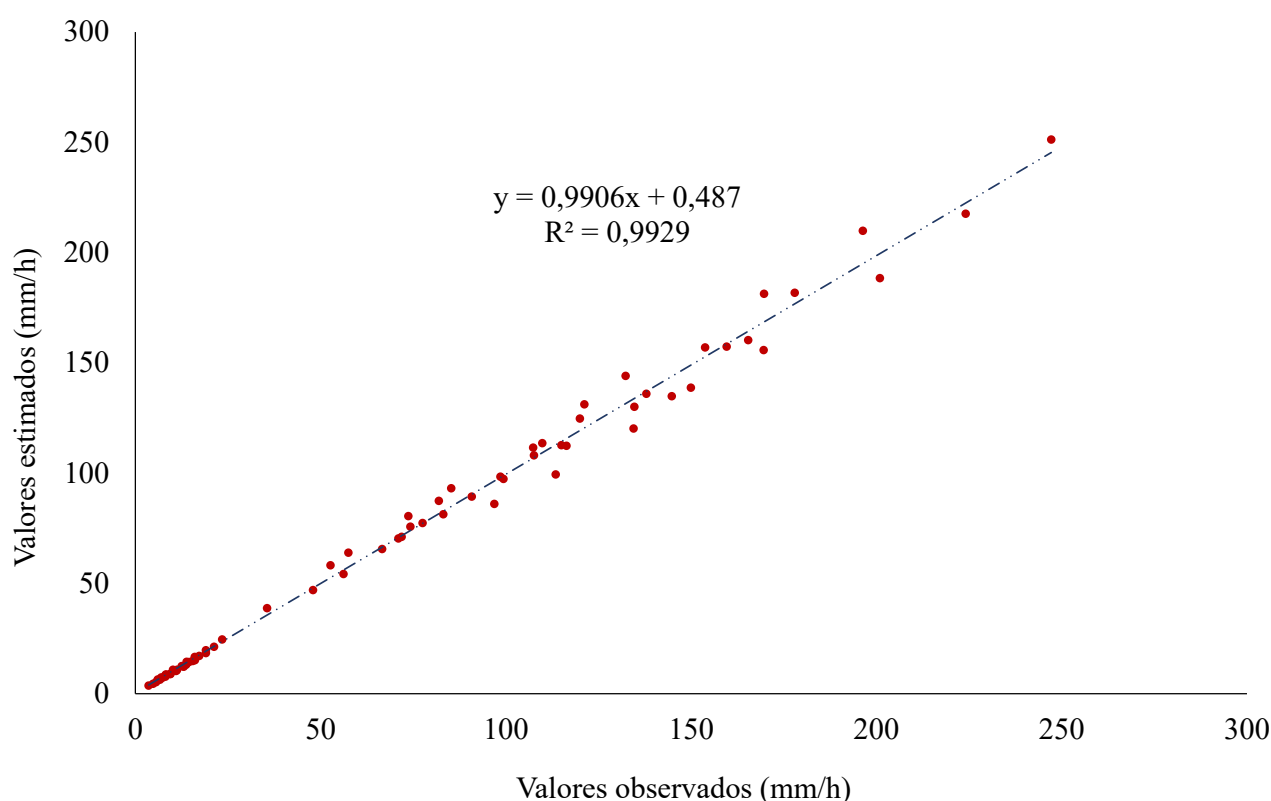
Logo após os parâmetros que constituem a equação de Intensidade, Duração e Frequência terem sido estimados, através da distribuição de Gumbel, as variáveis puderam ser substituídas pelos valores encontrados, desta forma, a equação IDF (Equação 5) passou a ser apresentada como a Equação 9. Esta equação pode ser empregada para períodos de retorno iguais ou inferiores a 100 anos, e os valores dos períodos de retorno devem ser utilizados em anos e os das durações devem ser utilizados em minutos, para assim, se obter as intensidades das precipitações pluviométricas em mm/h.

$$i = \frac{989,995 (Tr^{0,2075})}{(1+14,4)^{0,7847}} \quad \text{(Equação 9)}$$

Diante da compreensão acerca das intensidades das precipitações máximas estimadas através da equação IDF, na qual os dados de chuvas registrados pelo Posto Serra Talhada, foram tratados por meio da distribuição probabilística de Gumbel, foi utilizado um critério de análise: o coeficiente de determinação, sendo este representado por R^2 e equivalente a um valor de 0,9929 para a Equação 9.

A Figura 10 apresenta o gráfico que relaciona os valores estimados de precipitações em mm/h, com os valores observados de precipitações também em mm/h, e evidencia ainda a regressão linear e o resultado de R^2 da equação 9.

Figura 10: Relação entre as precipitações máximas observadas e estimadas pela Equação 9.



Fonte: Autores, 2020.

A Tabela 8 mostra os resultados dos desvios médios entre os valores das precipitações máximas observadas e estimadas, em relação às diferentes durações e tempos de recorrência. Analisando os dados presentes nela é possível afirmar que o maior desvio médio em relação aos períodos de retorno, é o de $Tr = 2$ anos, que equivale a um valor de 7,4%. Já se tratando dos valores em relação aos tempos de duração, o maior desvio médio positivo equivale a 3,1% (360 minutos) e o maior desvio médio negativo corresponde a um valor de -6,2% (10 minutos).

Os valores encontrados dos desvios médios para a equação de precipitações pluviométricas máximas podem ser considerados confiáveis, quando comparados com os valores de desvios descritos por Oliveira Júnior *et al.* (2019), para o município do Crato, pois os resultados encontram-se em considerada semelhança com os apresentados neste estudo. Os autores descreveram que através da distribuição de Gumbel, em relação aos tempos de recorrência, o maior desvio médio é também o de $Tr = 2$ anos, sendo este de 5,6% e em relação às durações, os maiores desvios médios positivo e negativo, respectivamente, equivalem a 3,3% e -8,3%.

Tabela 8: Desvios médios entre os valores observados e estimados para com cada duração e período de retorno.

Tr (Anos)	Desvio Médio
2	7,4%
5	-3,7%
10	-5,1%
25	-3,1%
50	0,3%
100	5,0%
T (minutos)	Desvio Médio
5	-0,3%
10	-6,2%
15	0,2%
20	0,1%
25	0,8%
30	1,8%
60	2,7%
360	3,1%
480	-4,6%
600	1,8%
720	1,8%
1440	-1,6%

Fonte: Autores, 2020.

CONCLUSÕES

Com base nos estudos acerca da variabilidade hidrodinâmica das precipitações pluviométricas do município de Serra Talhada, utilizando uma série histórica de 50 anos, pôde-se concluir que o primeiro quadrimestre do ano apresenta os maiores índices de precipitações, sendo março o mês mais chuvoso, é também neste período que há a maior probabilidade de ocorrência de precipitações pluviométricas intensas e eventos extremos, ou seja, uma maior possibilidade de enchentes, alagamentos e inundações no município. Em contrapartida, de julho a outubro, Serra Talhada enfrenta o menor volume pluvial, no qual agosto é o mês de maior escassez hídrica.

Todos os dados pluviométricos utilizados neste trabalho se mostraram confiáveis, como pôde ser comprovado através do método da dupla massa e também por meio do teste de aderência Qui-quadrado. A determinação da equação IDF para o cálculo das chuvas intensas do município de Serra Talhada pode ser empregada para tempos de recorrência entre 2 e 100 anos, e períodos de duração entre 5 e 1440 minutos.

Os resultados apresentados nesta pesquisa são de considerada relevância e podem ser utilizados em processos que envolvam o estudo do comportamento das precipitações pluviométricas, como por exemplo no dimensionamento de áreas de expansão habitacional, como ruas e bairros, em projetos de desenvolvimento ambiental, no planejamento de obras hidráulicas, em projetos de agricultura, e em sistemas de drenagem urbana, sendo este último um aspecto de destaque, tendo em vista às inúmeras falhas na drenagem do município, que acarretam todos os anos enchentes, inundações e alagamentos em vários locais, como confirmam os registros históricos.

Através da projeção de chuvas intensas para diferentes períodos de retorno, é possível analisar essa característica em conjunto à análise da capacidade drenante da rede instalada ao longo da malha municipal, e assim redimensionar e corrigir falhas, como a construção de novos canais de drenagem, galerias pluviais e outros sistemas que possam ajudar a escoar e direcionar este volume de água para outros locais, garantindo desta maneira, que casas e pontos comerciais localizados nestas áreas, não sejam afetados por uma precipitação pluviométrica intensa.

Ainda de acordo com os resultados explicitados neste trabalho, foi possível concluir que o município apresenta uma média de precipitação anual que oscila em torno de 655 mm, e que possui ao longo do ano chuvas mal distribuídas. Neste contexto, os longos meses de estiagem podem acarretar problemas no sistema de abastecimento hídrico, enquanto que as chuvas intensas, que se

concentram em curtos períodos do ano, podem gerar danos socioambientais em decorrência de enchentes e inundações. Em suma, o local de estudo apresenta características típicas da região onde o mesmo encontra-se inserido, o que significa que o município de Serra Talhada-PE confirma a Normal Climatológica da região Semiárida do Nordeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

- APAC. **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Monitoramento Pluviométrico. Recife. Disponível em https://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php?posto_id=209. Acessado em 06/04/2020.
- BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P.; MIRANDA, R. B. de; MAUAD, F. F. Determinação de curva intensidade-duração-frequência por meio do emprego do método paramétrico de ajustamento de observações. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, p.146-167, 2016.
- BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: Engenharia das águas pluviais nas cidades**. São Paulo: **Blucher**, 2017.
- CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. **Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro**. Cap. 3 - O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas. Recife: **Editora Universitária da UFPE**, 2007.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: **Oficina de textos**, 2014.
- CPTEC. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Monitoramento e previsão do fenômeno El-Niño e La-Niña. Cachoeira Paulista. Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acessado em 13/09/2020.
- CETESB/ASCETESB. **Companhia Ambiental de São Paulo**. **Drenagem Urbana – Manual de Projeto**. São Paulo. 1986.
- HARZALLAH, A.; ROCHA DE ARAGÃO, J. O.; SADOURNY R. Interannual rainfall variability in north-east Brazil: Observation and model simulation. **International Journal of Climatology**, v.6, p.861-878, 1996.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. Rio de Janeiro. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/serra-talhada/panorama>. Acessado em 10/08/2022.
- LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel, PR. **Revista Varia Scientia**, v.6, n.11, p.119-127, 2006.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. I. de; MARTINS, E. S.; COSTA, C. T. F. da; CALDAS, H. F. M. Análise da precipitação e determinação de equações de chuvas intensas para o município de Crato-CE situado no semiárido do Brasil. **Revista Geama**, v.5, n.3, p.56-65, 2019.

ROWINSKI, P. M.; STRUPCZEWSKI, W. G.; SINGH, V. P. A note on the applicability of logGumbel and log-logistic probability distributions in hydrological analyses. **Hydrological Science Journal**, v.47, n.1, p.107-122, 2002.

SILVA, B. B. da; FERREIRA, M. A. F.; SILVA, V. de P. R. da; FERREIRA, R. da C. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.387-395, 2010.

SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. de A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.68, p.781-792, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: **McGraw-Hill**, 1975.