

EQUAÇÃO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA O MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS/RN

Michaelly Fernandes de Lira¹
José Espínola Sobrinho²
Otávio Floriano Paulino³
Manoel Januário da Silva Júnior⁴
Janaína Cortêz de Oliveira⁵
Wesley de Oliveira Santos⁶

RESUMO

A obtenção do quantitativo de precipitações pluviométricas de uma série histórica local é de grande importância para o estudo climatológico regional, uma vez que, atrelados a métodos estatísticos, fornecem informações bastante relevantes para o desenvolvimento da sociedade. Nesse sentido, este trabalho aborda a aplicação da distribuição de Gumbel para obtenção das intensidades máximas de chuva para cada duração, e então, mediante esses dados, será realizado o ajuste de uma equação que represente as relações IDF (intensidade, duração e frequência) a fim de ser útil para determinação da vazão de projeto hidráulico no município de Pau dos Ferros, interior do Rio Grande do Norte. Desse modo, analisando uma série de dados de 30 anos (1992 a 2021), foram encontrados os valores 212,60 mm e 1235,00 mm sendo os quantitativos mínimo e máximo, respectivamente de precipitações máximas diárias anuais, além disso, a curva IDF teve um ótimo ajuste nos parâmetros, apresentando o R^2 de 0,992, $K = 706,009$, $a = 0,179$, $b = 9,778$, c médio = 0,741 e EPE = 0,111 (erro padrão da estimativa), evidenciando uma boa precisão dos dados estatísticos. Portanto, o conhecimento do comportamento pluviométrico auxilia no planejamento urbano, gerenciamento de sistemas hídricos, bem como no âmbito socioeconômico da região.

Palavras-chave: Eventos extremos, Distribuição de probabilidade, Equação de chuvas intensas.

INTRODUÇÃO

A análise de dados pluviométricos de séries históricas de um determinado local é bastante importante para se ter um melhor planejamento das atividades de uma sociedade.

Tendo em vista a constante mudança climática no planeta, a meteorologia busca prever o comportamento do clima em detrimento de uma gama de fatores que podem influenciar, bem como serem influenciados devido as suas interdependências.

Para Souza, Azevedo e Araújo (2012), a inconsistência de fatores ligados à precipitação e frequência de eventos extremos, tais como chuvas e secas intensas, além da temperatura, corroboram para impactos socioeconômicos de uma população, atingindo principalmente as

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, michaelly.lira@alunos.ufersa.edu.br;

² Professor, doutor, Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, jespinola@ufersa.edu.br;

³ Professor, doutor, Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, otavio.lavor@ufersa.edu.br;

⁴ Professor, doutor, Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, mjanuario@ufersa.edu.br;

⁵ Professora, doutora, Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, janaina.cortez@ufersa.edu.br;

⁶ Professor orientador: doutor, Universidade Federal do Semi-Árido - UFERSA, wesley.santos@ufersa.edu.br

esferas dos recursos hídricos, sistemas de infraestruturas (coletas pluviais), meio ambiente e saúde.

A precipitação é um dos parâmetros essenciais para os estudos climáticos, tendo em vista que quando escassa, acarreta secas severas, assoreamento dos rios e reduz o desenvolvimento de atividades econômicas. No entanto, quando ocorrida em excesso, provoca enchentes, escorregamentos de taludes e alagamentos devido à falta de planejamento de redes de drenagens adequadas, ou até mesmo, a não implementação da infraestrutura necessária pelo descaso dos setores responsáveis (SOUZA, AZEVEDO e ARAÚJO, 2012).

Nesse sentido, a análise de séries históricas de precipitação possibilita entendimento sobre a determinação de ocorrência de mudança climática de um determinado local. Segundo Santos (2006) e Silva *et al.* (2006), em algumas regiões do Nordeste brasileiro, como o semiárido, por exemplo, iniciou-se o desenvolvimento de análises em escalas locais de indicativos extremos, com o intuito de minimizar os possíveis impactos gerados por meio deles.

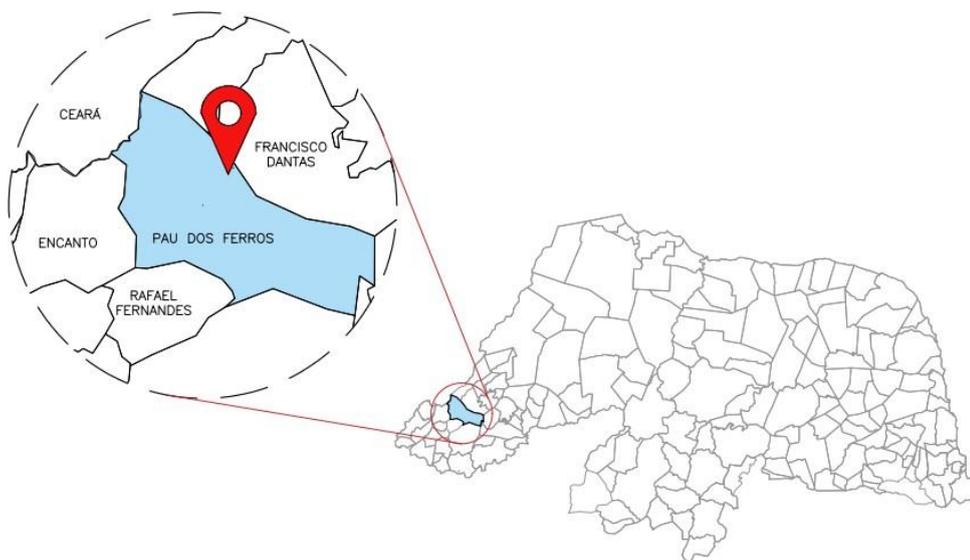
Segundo Campos *et al.* (2014), a quantificação de chuvas pode ser feita através de equações de chuvas intensas, também chamadas de curvas intensidade-duração-frequência

(IDF), podendo observar a intensidade, duração e frequência da chuva em determinado período de retorno. Para que se possa ajustar os parâmetros das curvas IDF podem ser realizadas regressão linear ou não linear com base no banco de dados da série pluviométrica. Ademais, vale mencionar que, para um dimensionamento de um sistema de drenagem urbana um fator primordial é a chuva de projeto, sendo essa obtida através das curvas IDF.

METODOLOGIA

A localidade em estudo é o município de Pau dos Ferros, interior do Rio Grande do Norte, conforme ilustra a Figura 1, o qual dista 392 km da capital do estado, Natal. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), o município conta com uma área territorial em torno de 259,959 km², a estimativa populacional foi de 30.802 habitantes para o ano de 2021, com densidade demográfica de 106,73 hab/km².

Figura 1: Localização de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte.



Fonte: Holanda Júnior (2018).

De acordo com Santos *et al.* (2015) e o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2005), o clima de Pau dos Ferros é predominantemente semiárido, ou seja, apresenta elevadas temperaturas, escassez e irregularidades de precipitações pluviométricas, normalmente apresentando período chuvoso de janeiro até abril. Nesse sentido, a temperatura média anual é 26,7 °C e precipitação média em torno de 827 mm por ano.

Com relação à obtenção dos dados pluviométricos, estes foram obtidos através da plataforma digital da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, selecionando o banco de dados referentes ao período de 1992 a 2021, sendo essa a série normal

climatológica a ser estudada, compreendendo então, 30 anos de dados de precipitação pluviométrica anual.

Em posse dos dados das chuvas máximas anuais diárias, esses podem ser desagregados em precipitações de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela CETESB para diferentes períodos de retorno, sendo estes de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, conforme ilustra a Tabela 1 (CETESB, 1986).

Tabela 1: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

| Relação entre alturas pluviométricas | Coefficiente de desagregação |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 5 min para 30min | 0,34 |
| 10min para 30min | 0,54 |
| 15min para 30min | 0,70 |
| 20min para 30min | 0,81 |
| 25min para 30min | 0,91 |
| 30min para 1h | 0,74 |
| 1h para 24h | 0,42 |
| 2h para 24h | 0,48 |
| 3h para 24h | 0,54 |
| 6h para 24h | 0,72 |
| 8h para 24h | 0,78 |
| 10h para 24h | 0,82 |
| 12h para 24h | 0,85 |
| 24h para 1dia | 1,14 |

Fonte: CETESB (1986).

A análise a ser trabalhada para a obtenção do parâmetro IDF, será realizada a partir da distribuição de Gumbel, sendo esse o método de valores extremos mais utilizado na análise de frequência de chuvas intensas (BERNARD, 1930).

A Equação 1 descreve a função cumulativa de probabilidade que pode ocorrer no

futuro, um evento que seja igual ou maior a X (precipitação extrema), indicada para obtenção de melhores resultados quando for o caso de séries de valores extremos anuais de eventos hidrológicos, sendo esse o método de distribuição de Gumbel.

$$P(x) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

Em que $P(x)$ representa a função cumulativa de probabilidade, e é a base do logaritmo neperiano e y a variável reduzida.

A precipitação extrema (X) pode ser obtida através da Equação 2.

$$X = x + \frac{S_x}{S_n} (Y - Y_n) \quad (2)$$

Onde x é a média da série de dados, S_x é o desvio padrão da série histórica, S_n é o desvio padrão da variável reduzida, Y_n é a média da variável reduzida e Y a variável reduzida, que é dada pela Equação 3.

$$Y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

Através dessas equações pode-se obter as intensidades máximas com base nos períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos.

Desse modo, a Equação 4 representa a intensidade, duração e a frequência da precipitação (IDF) ou equação de chuvas intensas.

$$I_m = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (4)$$

Em que: I_m = intensidade máxima média de precipitação, mm h^{-1} ; T = período de retorno, anos; t = duração da precipitação, min; K , m , b , e n são parâmetros de ajuste relativos a cada localidade estudada.

De forma a determinar os parâmetros da equação IDF, pode-se reescrever a Equação 4 em função de C , como descreve as Equações 5 e 6 e, posteriormente, a Equação 5 será transformada na equação da reta Segundo as propriedades logarítmicas, sendo essa a Equação 7.

$$I_m = \frac{C}{(t+b)^n} \quad (5)$$

$$C = K \cdot T^m \quad (6)$$

$$\log_{i_m} = \log c - n \cdot \log_{(t+b)} \quad (7)$$

Em consonância com Villela e Mattos (1975), b será determinado através de tentativas mediante análises de regressão aplicada aos valores dos logaritmos da intensidade de chuva (\log_{i_m}) para um certo período de retorno (T) e relacionado aos logaritmos de durações (\log_t).

Posteriormente, utilizando regressão linear, serão construídos gráficos de dispersão linear simples, em que as ordenadas terão o valor de (\log_{i_m}) e as abscissas ($\log_{(t+b)}$), possibilitando estimar o valor do coeficiente angular (n) e o coeficiente linear ($\log c$) para cada período de retorno (T). Já os parâmetros K e m também serão estimados pelo método dos mínimos quadrados, conforme a Equação 8.

$$\log c = \log k + m \cdot \log t \quad (8)$$

Em que: $\log k$ e m são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

A fim de melhor ajustar os parâmetros da equação IDF, pode-se calcular o EPE, que é o erro padrão de estimativa, compreendido pela Equação 9.

$$EPE = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n \left(\frac{I_c - I_o}{I_o}\right)^2}}{I_o} \quad (9)$$

Em que:

I_c é a intensidade (mm/h) calculada através da equação IDF;

I_o é a intensidade (mm/h) extraída do melhor ajuste de distribuição;

N é o número de durações.

De posse dos valores obtidos nas equações IDF, pode-se elaborar curvas de intensidade, duração e frequência, sendo possível verificar a intensidade da precipitação máxima que foi estimada pela distribuição de Gumbel para diferentes períodos de retorno, bem como pelo equacionamento IDF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

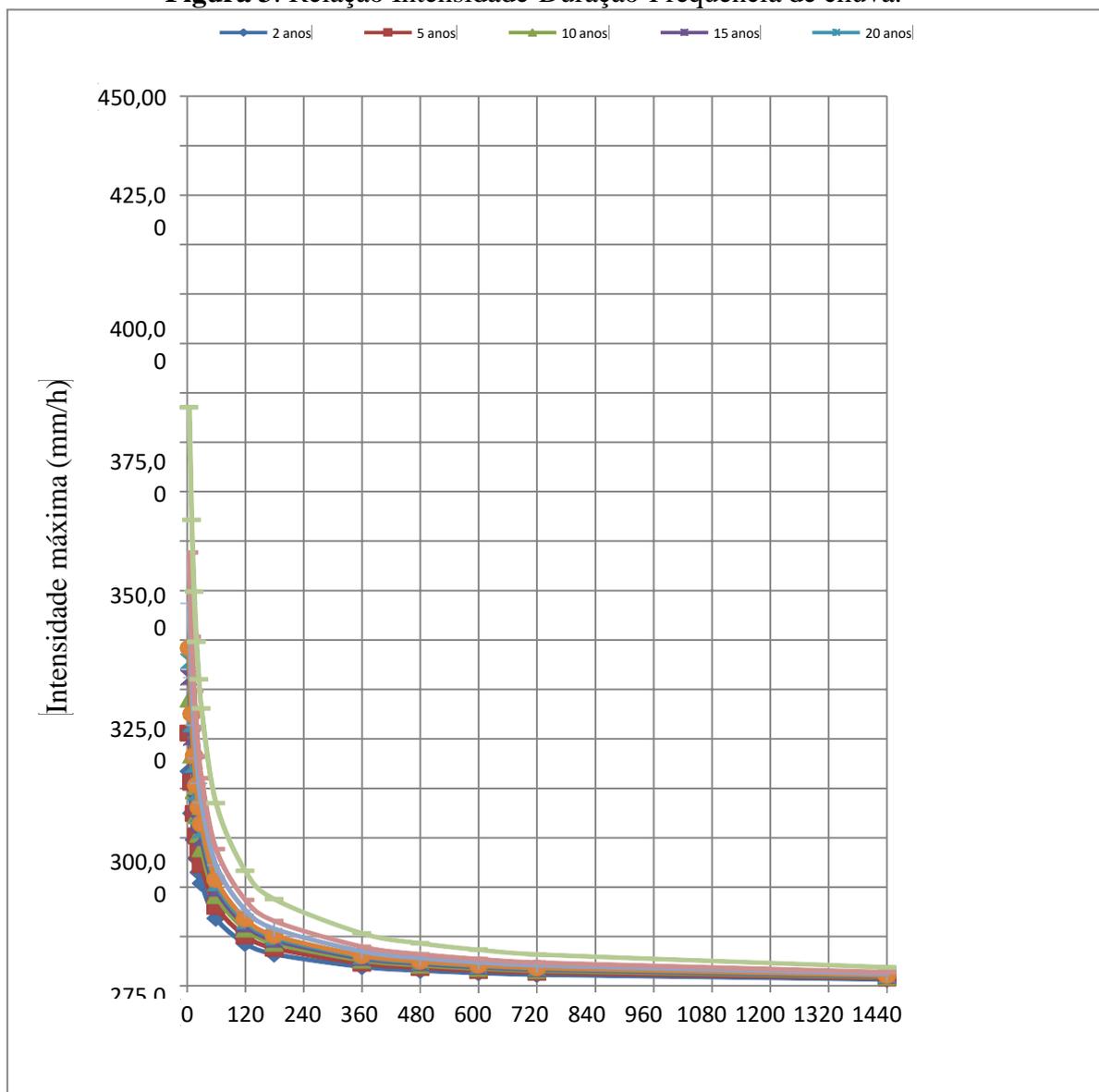
Os parâmetros necessários e ajustados para a obtenção do equacionamento IDF para o município de Pau dos Ferros são indicados na Figura 2, em que o coeficiente de determinação (R^2) foi bem próximo de 1, mostrando um ótimo ajuste (quase 100%) de precisão da equação IDF, vale mencionar também, o valor do erro padrão de estimativa, sendo relativamente baixo, o que indica boa qualidade obtida no ajuste equacional.

Figura 2: Parâmetros da equação IDF para Pau dos Ferros

| Resumo dos parâmetros | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|---------|----------------|-------|
| K | a | b | c_médio | R ² | EPE |
| 706,009 | 0,179 | 9,778 | 0,741 | 0,992 | 0,111 |

Fonte: Autora própria (2023).

Na Figura 3, tem-se a relação da intensidade de chuva, medida em milímetros por hora, pela duração da precipitação em minutos, indicando que, conforme o tempo de duração aumenta, sua intensidade pluviométrica diminui, podendo ser inversamente proporcionais.

Figura 3: Relação Intensidade-Duração-Frequência de chuva.

Fonte: Autora Própria (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação à análise do equacionamento IDF, esse foi obtido de forma satisfatória, justamente devido ao valor do R^2 (coeficiente de determinação) ter eficiência de 99,20% de ajuste dos parâmetros envolvidos no estudo da intensidade, duração e frequência dos eventos chuvosos. Vale mencionar que o conhecimento da equação IDF da localidade é bastante importante para projetos de drenagem urbana, obras hidráulicas e agrícolas, sendo responsável por evitar dimensionamentos ineficientes.

Ademais, é notório que a relação do equacionamento IDF com a vazão de projeto estão diretamente ligados devido às análises do quantitativo de precipitações ocorridas num determinado local, uma vez que, havendo precipitação, existe vazão de projeto e conseqüentemente, deve ser previsto sistemas de microdrenagem urbana com o intuito de conduzir as águas da chuva de forma a evitar danos à sociedade de forma geral.

Diante disso, é notória a grande importância dos estudos sobre a climatologia regional, pois uma das dificuldades em projetos de microdrenagem urbana é a obtenção de dados de precipitação intensa máxima provável das localidades, principalmente em regiões que não dispõe de dados pluviométricos disponíveis.

Desse modo, esse estudo possibilita a contribuição de forma direta para o planejamento urbano, socioeconômico e regional em termos de informações estatísticas sobre o comportamento hidrológico da localidade, evitando impactos indesejados como inundações e secas severas de forma repentina.

AGRADECIMENTOS: A UFERSA e a EMPARN pelo fornecimento dos dados climáticos e as ferramentas para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BERNARD, M. M. **Formulas for rainfall intensities of long duration.** American Society of Civil Engineers, 40p. 1930.

CAMPOS, A. R. *et al.* **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí.** Centro de Ciência Agrárias – Universidade Federal do Ceará. Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 3, p. 488-498, jul-set, 2014. Fortaleza, Ceará.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana:** manual de projeto. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.

HOLANDA JÚNIOR, C. G. de. **Incorporação de RCD em concreto:** estudo físico-químico e aplicabilidade na construção civil. Projeto de TCC. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pau dos Ferros, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. – IBGE: **Cidades.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/pau-dos-ferros.html>. Acesso em: 04 de fev. 2023.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da desertificação no estado do Rio Grande do Norte.** MMA: Secretaria de Recursos Hídricos, Natal, 2005. 78 p.

SANTOS, *et al.* **Precipitação pluviométrica no Município De Pau Dos Ferros De 1964 a 2015.** 2015. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23218> Acesso em: 04 de fev. 2023.

SILVA, J. F. *et al.* **Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil.** Journal of Biogeography, v. 33, n. 3, p. 536-548, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x>.

SOUZA, W.M.; AZEVEDO, P.V.; de ARAÚJO, L.E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física.** 5(2), 250-268. 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. 245 p.