

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA CURVA IDF DO MUNICÍPIO DE ANDARAÍ-BA

Wesley Michael Pereira Silva¹; Maurício Macedo da Silva²; Mirelly de Oliveira Farias³;

Thaise Suanne Guimarães Ferreira⁴ & Marcelo Carlos de Oliveira Silva⁵.

RESUMO – O conhecimento do regime pluvial da região é uma importante informação para o desenvolvimento de qualquer estudo hidrológico que dá base para o desenvolvimento de projetos relacionados ao uso da água. As séries pluviométricas disponibilizados pelas agências reguladoras muitas vezes possuem falhas diárias, mensais e anuais, que podem impossibilitar seu uso. É nesse contexto que a utilização de ferramentas estatísticas como o preenchimento de falhas e a construção da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) se fazem importantes, pois permitem corrigir essas falhas de modo a não comprometer a segurança dos resultados obtidos com a aplicação dessas séries. O presente artigo realizou o preenchimento de falhas da estação do município de Andaraí-BA através do método da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear e a construção da sua curva IDF pelo método de Gumbel. Os resultados mostraram um coeficiente de determinação médio de 98,76%. Os valores encontrados para os parâmetros da curva IDF evidenciaram a importância da determinação dessa equação para cada localidade.

ABSTRACT – The knowledge of the region's rainfall regime is important information for the development of any hydrological study that provides the basis for the development of projects related to water use. The rainfall series made available by regulatory agencies often have daily, monthly and annual failures, which may make their use impossible. It is in this context that the use of statistical tools such as fault filling and the construction of the Intensity-Duration-Frequency curve (IDF) are important, as they allow correcting these failures so as not to compromise the safety of the results obtained with the application of these series. The present article performed the filling of faults in the station of the municipality of Andaraí-BA through the method of Regional Weighting Based on Linear Regression and the construction of its IDF curve by the method of Gumbel. The results showed an average coefficient of determination of 98.76%. The values found for the parameters of the IDF curve showed the importance of determining this equation for each location.

Palavras-Chave: Pluviosidade, Correção Estatística, Curva IDF.

1) Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE – CAA.. E-mail: wesley.michael@ufpe.br.

2) Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE – CAA. E-mail: mauricio_macedo98@hotmail.com.

3) Engenheira Cartógrafa e mestranda em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE – CTG. Gerente de Cadastro Territorial. E-mail: mirellyofarias@gmail.com.

4) Engenheira Civil e mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE – CAA. E-mail: thaisesuanne14@gmail.com.

5) Engenheiro Civil e mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE – CAA. Pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Federal de Pernambuco, IFPE – Campus Caruaru. E-mail: marcelo.carlosoliveira@gmail.com.

1 – INTRODUÇÃO

O conhecimento do regime hídrico no âmbito das bacias hidrográficas é de fundamental importância nos estudos hidrológicos que servem de base para diversos projetos de uso de água, sendo assim, um fator indispensável para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos (SANTOS *et al.*, 2009). Os dados pluviométricos da região são informações essenciais para o desenvolvimento de qualquer estudo hidrológico.

No Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA) disponibiliza através do sistema de informações hidrológicas Hidroweb as séries pluviométricas, nas quais se observam falhas diárias, mensais e anuais, inviabilizando muitas vezes a utilização dessas séries (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Tais falhas, segundo Bonfante *et al.* (2013), podem ser oriundas de erros técnicos ou de fenômenos naturais que em um determinado momento atrapalharam a leitura correta dos dados. Assim, é importante que essas falhas sejam percebidas e preenchidas com valores mais próximos possíveis do que seria o valor real coletado, para obtenção de resultados mais confiáveis.

Para Sirois (1990), o uso de dados que apresentaram falhas pode gerar resultados tendenciosos, caso os valores da amostra com falhas sejam muito distantes dos possíveis valores que seriam registrados. Devido a necessidade de se trabalhar com séries contínuas para melhor conhecer o comportamento hidrológico da região de interesse, as metodologias para preenchimento de falhas se mostram uma ferramenta essencial para diversos trabalhos aplicados aos recursos hídricos, como o estudo de Nascimento *et al.* (2010) sobre dados pluviométricos do Rio Solimões-Amazonas no período de 1991 a 2007.

Outra ferramenta de suporte a estudos hidrológicos é a curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas. Para quantificar de maneira adequada os efeitos causados, em especial, ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais, é fundamental realizar a caracterização da variabilidade temporal das chuvas intensas ao longo de sua duração (CRUCIANI *et al.*, 2002; BEIJO *et al.*, 2003). Uma das maiores dificuldades da geração da curva IDF é a disponibilidade dos registros pluviométricos com séries longas e contínuas.

É no contexto dessa problemática que o presente artigo objetiva a realização do preenchimento de falhas da estação localizada no município de Andaraí, no estado da Bahia, utilizando o método da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear. O método da Dupla Massa será empregado para consistência de dados. E, finalmente, o método de Gumbel será aplicado para determinação da equação da IDF.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo é a estação pluviométrica de Andaraí, localizada no município de Andaraí, no estado da Bahia. Para realizar o preenchimento de falhas, Leivas *et al.* (2006) recomendam a escolha de estações da mesma região ecoclimática e altitude semelhante. Portanto, buscou-se selecionar postos que estivessem a menos de cem quilômetros de distância um do outro, para que o resultado obtido fosse significativo e coerente. Todavia, os municípios de Feira de Santana e Andaraí não cumpriram esse critério e estavam cerca de cento e cinquenta quilômetros de distância dos demais postos. Ainda assim foram utilizados, pois, através da análise dos pluviogramas mostraram que tinham o mesmo regime hidrológico dos outros postos selecionados.

Ao todo foram utilizados dados de dez postos pluviométricos, coletados no Hidroweb, localizados em dez municípios baianos, são eles: Amargosa, Andaraí, Feira de Santana, Nazaré, São Félix, Santa Inês, Santa Luzia, Santa Terezinha, Santo Antônio e Valença. Na Tabela 1 são mostradas as informações referentes ao código, município onde é localizado, coordenadas geográficas e intervalo da série histórica para cada estação.

Tabela 1- Postos pluviométricos da ANA selecionados para o preenchimento de falhas.

| Código do Posto | Nome do município | Latitude | Longitude | Anos da série |
|-----------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1238025 | São Félix | 12° 38' 0" S | 38° 59' 0" W | 1954 - 1984 |
| 1238028 | Feira de Santana | 12° 16' 1" S | 38° 58' 1" W | 1954 - 1984 |
| 1239019 | Santa Terezinha | 12° 46' 1" S | 39° 32' 0" W | 1954 - 1984 |
| 1239022 | Santo Antônio de Jesus | 12° 58' 1" S | 39° 15' 1" W | 1954 - 1984 |
| 1241008 | Andaraí | 12° 48' 7" S | 41° 19' 40" W | 1954 - 1984 |
| 1339000 | Santa Luzia | 13° 36' 4" S | 39° 29' 31" W | 1954 - 1984 |
| 1339021 | Amargosa | 13° 1' 1" S | 39° 35' 0" W | 1954 - 1984 |
| 1339034 | Nazaré | 13° 1' 51" S | 39° 1' 56" W | 1954 - 1984 |
| 1339038 | Valença | 13° 22' 2" S | 39° 4' 38" W | 1954 - 1984 |
| 1339041 | Santa Inês | 13° 17' 51" S | 39° 49' 18" W | 1954 - 1984 |

Fonte: Dados compilados pelos autores (2020).

O método da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear é definido por Bertoni e Tucci (2009) como sendo uma combinação de outros métodos de preenchimento de falhas, pois nele são estabelecidas regressões lineares entre as estações vizinhas e a estação com falhas com o intuito de sanar as lacunas existentes nesta. A partir da matriz dos coeficientes de correlação entre as séries de dados das estações, calcula-se os fatores de peso de cada posto, que é dado pela equação:

$$w_i = \frac{r_i}{\sum r} \quad (1)$$

Onde, w_i e r_i são os fatores de peso e correlação entre a estação com falha e a estação “i”.

A falha é preenchida a partir da equação:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (2)$$

Sendo,

y = precipitação da estação a ter a falha preenchida (mm);

n = número de estações vizinhas usadas para preencher a falha;

x_i = precipitação da estação vizinha de ordem ‘i’ do mês (ano) que deseja preencher a falha (mm).

Após o preenchimento das falhas faz-se necessário realizar a análise da consistência dos dados obtidos. O método da Dupla Massa, desenvolvido pelo *Geological Survey* (USA), segundo Tucci (2009) é muito utilizado no Brasil para comprovar o grau de homogeneidade entre os dados disponíveis no posto estudado com relação aos postos vizinhos, sendo válido apenas para séries mensais ou anuais. Nesse método é necessário a plotagem de um gráfico, onde no eixo das abcissas são colocados os dados do total anual acumulado da estação que se pretende analisar e no eixo das ordenadas são colocados os totais médios anuais das estações vizinhas. A consistência dos dados é verificada com a comparação dessa função com uma equação linear, e quanto mais linear o gráfico melhor serão os resultados. A linearidade é avaliada com base no ajuste da equação da reta e no coeficiente de determinação (R^2).

Para construir a equação de IDF é preciso utilizar um modelo de distribuição com o qual se possa analisar as precipitações máximas anuais. Naghettini e Pinto (2007) afirmam que a distribuição de Gumbel é a mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com aplicação na relação de intensidade, duração e frequência de precipitações intensas. A função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel é:

$$F_y(y) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{y - \beta}{\alpha} \right) \right], -\infty < y < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0 \quad (3)$$

Onde α representa o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição e a estimativa para esses parâmetros é:

$$\alpha = \frac{DP}{1,283} \quad (4)$$

$$\beta = \bar{x} - 0,45 \cdot DP \quad (5)$$

Em que \bar{x} representa a média e DP é o desvio padrão da amostra.

A frequência que define a curva teórica é determinada através do método Califórnia. Para testar as distribuições teórica e empírica acumuladas é utilizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov com a série de dados usando as máximas anuais para cada mês com significância de 5%. Além disso, outro parâmetro importante é o tempo de retorno, que é igual ao inverso da frequência.

Com os valores máximos de precipitação anual diária de uma estação, no período com dados, obtém-se os tempos de retorno onde as precipitações máximas serão igualadas ou superadas a cada 2, 5, 10, 25, 50, 100 anos.

De forma genérica, as equações IDF podem ser expressas por:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (6)$$

Onde,

i = Intensidade de precipitação (mm/h);

T = Tempo de retorno;

t = Duração da precipitação (min);

a, b, c, d = Parâmetros para serem determinados para cada posto.

Para determinar os parâmetros da equação IDF é necessário utilizar o método de Gumbel. Esse método associa a altura pluviométrica em função da duração de uma chuva, d_c , e o tempo de retorno, T , ou seja, $h(d_c, T)$, adotando uma chuva intensa de padrão com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 2 anos. A equação geral do método de Gumbel é mostrada abaixo.

$$h(d_c; T) \approx (a_0 \ln T + a_1) \cdot (a_2 \cdot d_c^b - a_3) \cdot h(60; 2) \quad (7)$$

Onde a_0, a_1, a_2, a_3 e b são parâmetros regionais e para o Brasil a equação é:

$$h(d_c; T) \approx (0,31 \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot d_c^{0,31} - 0,39) \cdot h(60; 2) \quad (8)$$

Logo, a estimativa de $h(60; 2)$ é:

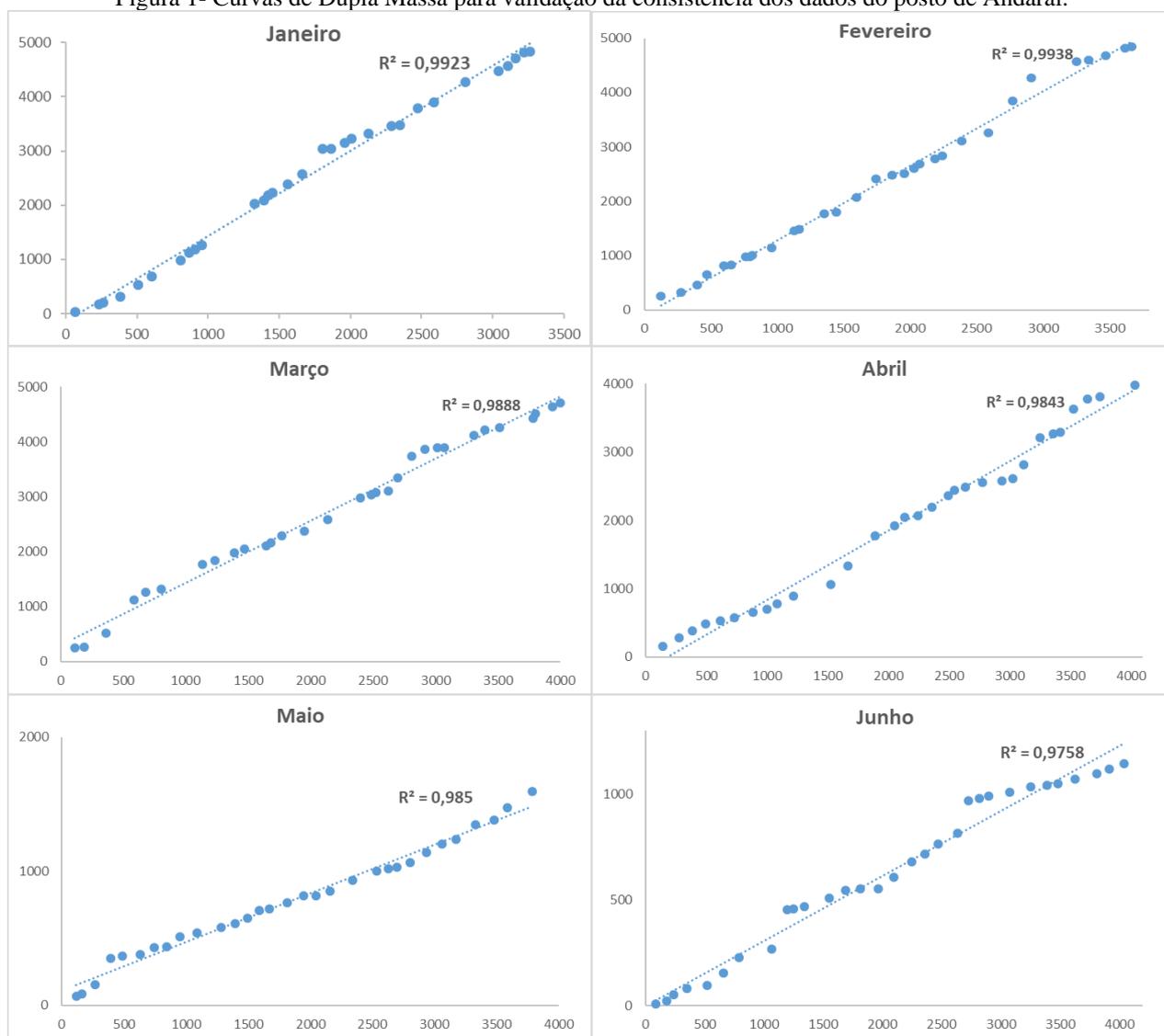
$$h(60; 2) = k \cdot H(2) \quad (9)$$

Com $k = 0,51$ e $H(2)$ sendo a altura pluviométrica máxima diária anual correspondente a um tempo de retorno de 2 anos, determinado através da equação gerada pela distribuição de Gumbel. A partir disso, são determinados os parâmetros e formada a equação IDF da estação estudada.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

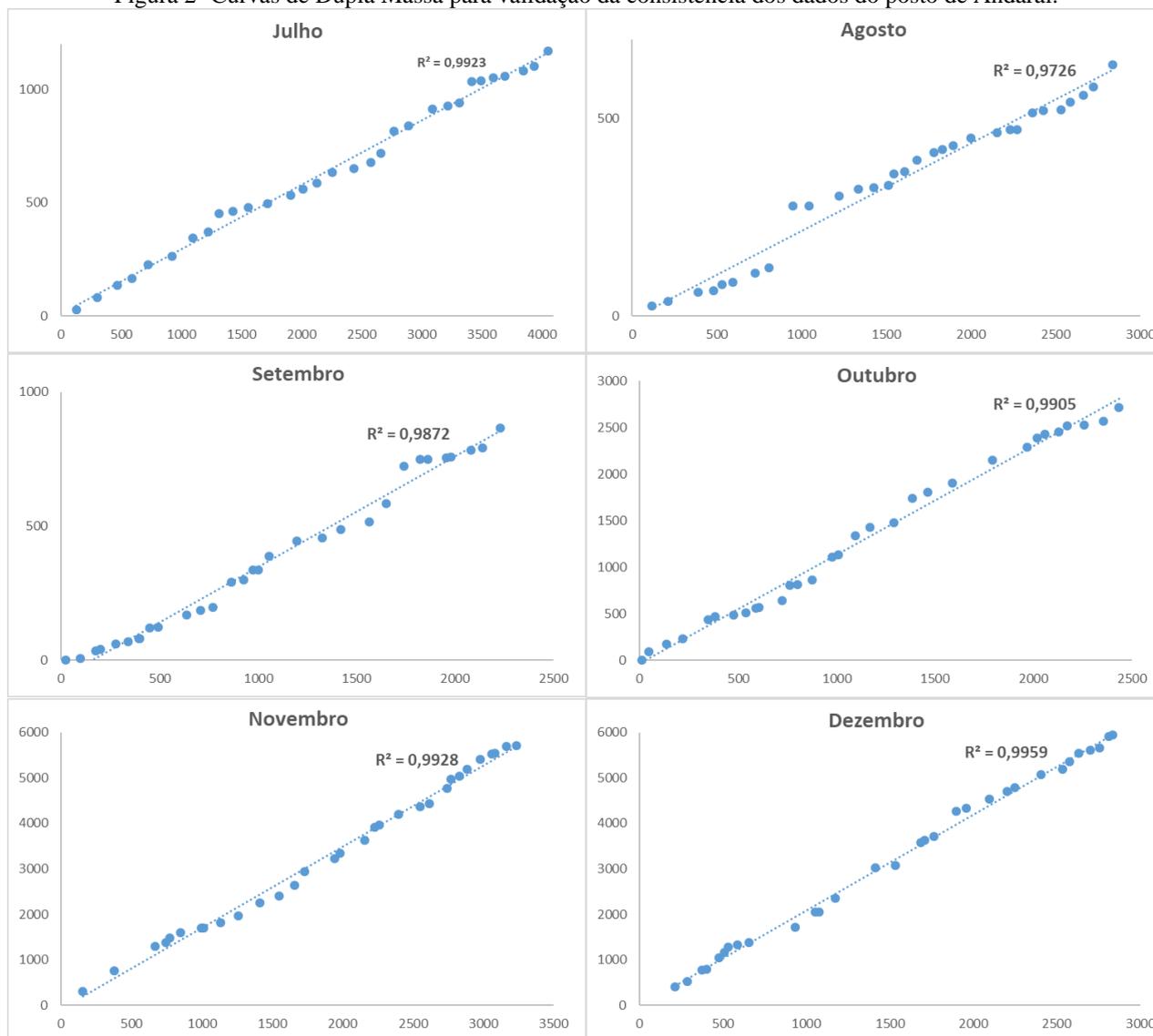
A análise da consistência dos dados pelo método da Dupla Massa, na escala média mensal, após o preenchimento de falhas do posto Andaraí é mostrado nas Figuras 1 e 2. É observado o comportamento linear dos pontos, indicando que os valores do posto à consistir são proporcionais aos postos observados, portanto obtendo valores de R^2 muito próximos a 1, com média de 0.9876. O menor R^2 foi observado no mês de agosto ($R^2=0,9726$) enquanto o maior no mês de dezembro ($R^2=0.9959$).

Figura 1- Curvas de Dupla Massa para validação da consistência dos dados do posto de Andaraí.



Fonte: Autores (2020).

Figura 2- Curvas de Dupla Massa para validação da consistência dos dados do posto de Andaraí.

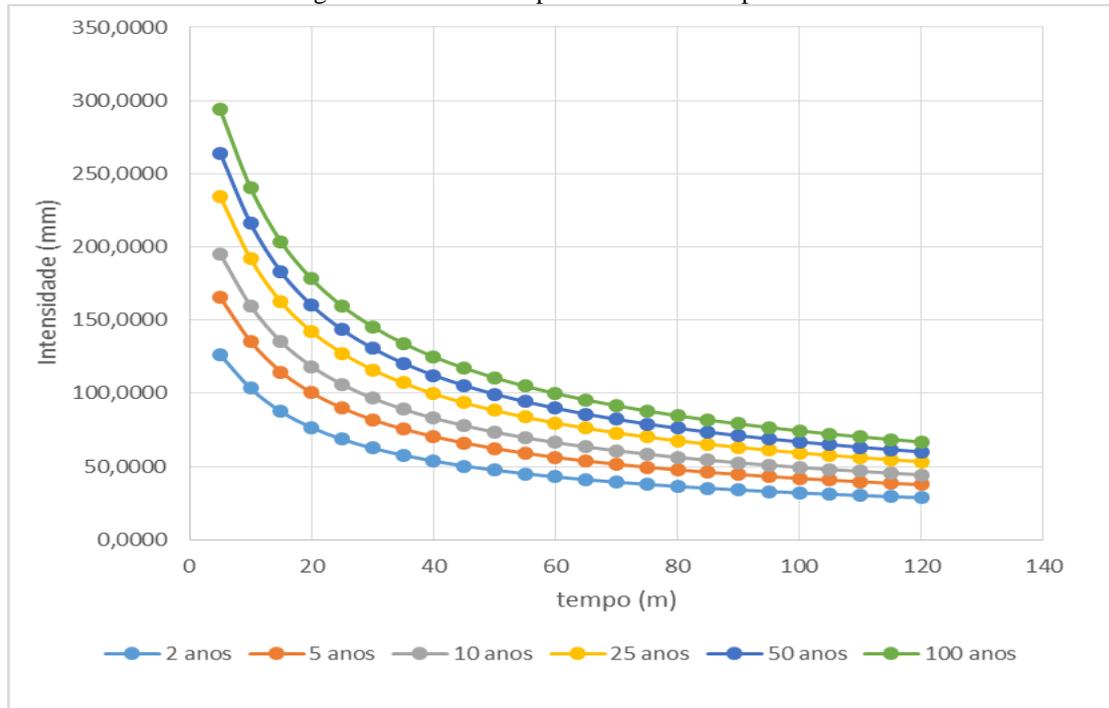


Fonte: Autores (2020).

A distribuição de Gumbel foi obtida através do uso dos dados consistidos e pode ser observada na Figura 2. Verificou-se a diferença máxima entre os valores da curva empírica e teórica, assim como é feito no teste de Kolmogov-Smirnov e, dessa forma, obteve-se o valor de 0,067 que é menor do que o critério de 0,238 sendo este a diferença máxima para significância de 5%, possibilitando então a utilização dessa distribuição para se fazer as equações IDF do município de Andaraí.

Com a equação gerada pela curva empírica foi possível determinar os parâmetros e gerar as curvas IDF para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos (Figura 3). A Tabela 2 apresenta as estimativas dos parâmetros ajustados para as relações IDF para a região do posto de Andaraí.

Figura 3 - Curvas IDF para diferentes tempos de retornos.



Fonte: Autores (2020).

A observação dos valores extremos de intensidade máxima média de precipitação para cada duração revela valores crescentes com o aumento da duração. Isso evidencia que erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinado local, considerando-se os dados pertinentes a outro local, tendem a crescer com o aumento da duração.

Tabela 2- Valores dos parâmetros da equação IDF da estação 1241008, Andaraí-BA.

| Estação 1241008 | | | | |
|-----------------|---------|--------|---------|--------|
| Parâmetros | a | b | c | d |
| | 1227,16 | 0,2137 | 17,2392 | 0,7887 |

Fonte: Autores (2020).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Silva *et al.* (2002) que realizaram estudos semelhantes para outras estações pluviométricas de 19 municípios do estado da Bahia. A diferença dos valores dos parâmetros observados entre os obtidos pelo autor e os obtidos no presente trabalho reforça a necessidade de se determinar os parâmetros da equação IDF para cada localidade para melhor estimativa da precipitação, proporcionando assim mais segurança nos resultados obtidos a partir de sua aplicação.

4 - CONCLUSÃO

Conforme verificou-se nas Figuras 1 e 2 o preenchimento de falhas foi consistente com valores de R^2 próximos a 1, indicando a linearidade dos dados, e conseqüentemente, comprovando a consistência dos dados analisados.

A partir dos resultados pode-se observar o bom ajuste da equação de chuva intensa, com coeficiente de determinação médio de 98,76%. Também se mostrou pertinente a existência de uma grande variabilidade dos valores da intensidade máxima média com o aumento da duração da precipitação, principalmente nos valores extremos.

Através da comparação com curvas IDF obtidas para outras localidades no estado da Bahia, percebeu-se a necessidade de determinar os parâmetros da equação para cada região, permitindo assim um melhor conhecimento do regime pluviométrico local e mais segurança na utilização dos dados obtidos em suas aplicações.

REFERÊNCIAS

- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. (2003). “*Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal, SP, pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia 11(1), pp.141-147.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. (2009). “*Precipitação*”, in *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Org. por Tucci, C.E.M., ABRH, 2ª ed, UFRGS, Porto Alegre - RS, pp. 177-241.
- BONFANTE, A.; VENTURA, T.; OLIVEIRA, A.; MARQUES, H.; OLIVEIRA, R.; MARTINS, C.; FIGUEIREDO, J. (2013). “*Uma abordagem computacional para preenchimento de falhas em dados micro meteorológicos*”. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), n. 27, p. 61-70.
- CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. (2002). “*Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 6(1), pp.76-82.
- LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FORTANA, D. C.(2006). “*Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10(2), pp. 387-407.

- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A (2007). *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 552 p.
- NASCIMENTO, T. S. do; SARAIVA, J. M. B.; SENNA, R.o; AGUIAR, F. E. O. (2010). “*Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): estudo de caso do Rio Solimões-Amazonas*”. Revista Brasileira de Climatologia, [S.L.], v. 7, p. 143-158. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v7i0.25643>.
- OLIVEIRA, L. F. C., FIOREZE, P. A., MEDEIROS, A. M. M., SILVA, M. A. S. (2010). “*Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação anual*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14(11), pp. 1186-1192.
- SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C. DE; OLIVEIRA, L. F. C. DE; GRIEBELER, N. P. (2009). “*Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13, pp. 899-905.
- SILVA, D. D. da; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. de. (2002). “*Chuvas intensas no Estado da Bahia*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 6(2).
- SIROIS, A. (1990). “*The effects of missing data on the calculation of precipitation-weighted-mean concentrations in wet deposition*”. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, [S.L.], v. 24, n. 9, p. 2277-2288. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686\(90\)90321-d](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686(90)90321-d).
- TUCCI, C. E. M. (2009). *Hidrologia ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS.