

## EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS COM DADOS CPC MORPHING TECHNIQUE (CMORPH) PARA O MUNICÍPIO DE ALTAMIRA - PA

**JOSIAS DA SILVA CRUZ<sup>1</sup>; IGOR HENRIQUE COELHO ALVES<sup>1</sup>; CLEIDSON DA SILVA ALVES<sup>1</sup>; NELIO MOURA DE FIGUEIREDO<sup>2</sup>; EVANICE PINHEIRO GOMES<sup>1</sup> E CARLOS EDUARDO AGUIAR DE SOUZA COSTA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Civil, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, 66075-110, Belém – Pará – Brasil. E-mail: [josias.cruz75@gmail.com](mailto:josias.cruz75@gmail.com), [igor\\_alves12@yahoo.com.br](mailto:igor_alves12@yahoo.com.br), [cleidsonalves.eng.mecanica@gmail.com](mailto:cleidsonalves.eng.mecanica@gmail.com), [yava51.gomes@gmail.com](mailto:yava51.gomes@gmail.com), [eduardoaguiarsc@hotmail.com](mailto:eduardoaguiarsc@hotmail.com)

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, 66075-110, Belém – Pará – Brasil. E-mail: [neliomfigueiredo@outlook.com](mailto:neliomfigueiredo@outlook.com)

### 1 RESUMO

As equações de chuvas intensas são fundamentais para o dimensionamento de projetos hidráulicos, porém, na Amazônia, há dificuldade na obtenção de séries históricas consistentes para a geração dessas equações. Assim, o objetivo deste estudo foi utilizar dados de precipitação obtidos por satélite como uma nova alternativa para gerar equações de chuvas intensas. Além dos dados de pluviômetro, utilizou-se os dados de precipitação obtidos como produtos da *Climate Prediction Center Morphing Technique* (CMORPH) para o município de Altamira, PA. A partir desses últimos, foram escolhidos três pontos de leitura no município, chamados de estações sintéticas 1, 2 e 3. Usou-se a distribuição de extremo tipo I (Gumbel) para gerar curvas IDF para diferentes tempos de retorno (TR) e durações. As estações sintéticas 1 e 3 tiveram bons ajustes às curvas teóricas geradas, porém a sintética 2 subestimou os valores, sendo esta com a menor média de precipitação extrema. As curvas IDF derivadas das equações tiveram coeficiente de ajustes satisfatórios. Deste modo, é possível afirmar que os dados de satélite são alternativas viáveis na geração de curvas IDF, sendo essenciais para locais onde não existem registros históricos de precipitação.

**Palavras-Chave:** Curvas IDF, Distribuição de Gumbel, Obras Hidráulicas.

**CRUZ, J. S.; ALVES, I. H. C.; ALVES, C. S.; FIGUEIREDO, N. M.; GOMES, E. P.; COSTA, C. E. A. S. C.**

**INTENSE RAINFALL EQUATIONS IN THE AMAZON REGION WITH DATA CPC MORPHING TECHNIQUE (CMORPH)**

### 2 ABSTRACT

Intense rainfall equations are fundamental for the design of hydraulic projects, however, in Amazon, it is difficult to obtain consistent historical series to generate these equations. Thus, the objective of this study was to use precipitation data obtained by satellite as a new alternative to generate intense rainfall equations. In addition to rain gauge data, precipitation data obtained as products of the *Climate Prediction Center Morphing Technique* (CMORPH) for the municipality of Altamira, PA were used. From the latter, three reading points were

chosen in the municipality, called synthetic stations 1, 2 and 3. The I-type distribution (Gumbel) was used to generate IDF curves for different return times (TR) and durations. Synthetic stations 1 and 3 had good adjustments to the theoretical curves generated, but synthetic 2 underestimated the values, and presented the lowest average of extreme precipitation. IDF curves derived from the equations had a satisfactory coefficient of adjustment. In this way, it is possible to affirm that satellite data are viable alternatives in the generation of IDF curves, being essential for places where there are no historical records of precipitation.

**Keywords:** IDF curves, Gumbel distribution, Hydraulic Works.

### 3 INTRODUÇÃO

Na análise de frequência hidrológica, a invariância no tempo é conhecida como estacionariedade e forma a base de muitas metodologias estatísticas. O conceito período de retorno é uma dessas abordagens (CHEN et al., 2017). O conceito de período de retorno e o risco de ocorrência associado são considerações críticas no gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente no que diz respeito ao design e operação de estruturas hidráulicas em rios (DU et al., 2015).

Obras de drenagem urbanas, controle de cheias, barragens de contenção de rejeitos e obras hidráulicas em geral são dimensionadas com base em curvas de intensidade, duração e frequência (IDF). Curvas IDF, que relacionam volumes e intensidades pluviométricas extremas à probabilidades de ocorrência, baseiam-se em séries temporais de precipitação extrema com diferentes durações, ajustadas através de funções de distribuição de probabilidade (FARIDZAD et al., 2018).

A distribuição de probabilidade de Gumbel é a distribuição mais amplamente utilizada na análise de IDFs devido à sua adequação a modelagens máximas ser relativamente de simples aplicação e ser adotada, especificamente, em eventos extremos, como observado em: Elsebaie (2012), Souza et al. (2012), Phien (1987), Gao et al. (2018), Yue et al. (1999). Teste não paramétricos devem ser usados para

verificar a aderência de distribuições teóricas a distribuições empíricas. O teste Kolmogorov-Smirnov é o mais utilizado por preservar o princípio da parcimônia, sendo utilizado em diversos estudos (FADHEL; RICO-RAMIREZ; HAN, 2017; LIMA; KWON; KIM, 2016).

Na Amazônia, a obtenção consistente de séries históricas de chuvas é um obstáculo à modelagem hidrológica. Assim, estimativas e quantificações de variáveis hidrológicas obtidas por satélites podem ser uma boa opção para essa problemática da região. Buarque et al. (2011) fizeram uma avaliação nas consistências dos dados de satélites com dados derivados do TRMM e CMORPH na Amazônia, chegando à conclusão de que as estimativas de satélites superestimam valores de precipitação, entretanto ressaltam, que é necessário considerar a correlação espacial. Jiang, Q. et al. (2018) avaliaram dados CMORPH de precipitação para Xangai, encontrando similaridades com os dados dos pluviômetros. Habib et al. (2012) fizeram um estudo focado na técnica CMORPH, os resultados sugerem que este possui alta capacidade de detecção: a probabilidade de detecção bem-sucedida é de ~ 80% para taxas de chuva superficial  $> 2 \text{ mm h}^{-1}$  e probabilidade de detecção falsa  $< 3\%$ .

A cidade de Altamira está passando por mudanças socioeconômicas e ambientais, devido à grande obra da usina hidrelétrica de Belo Monte e ao

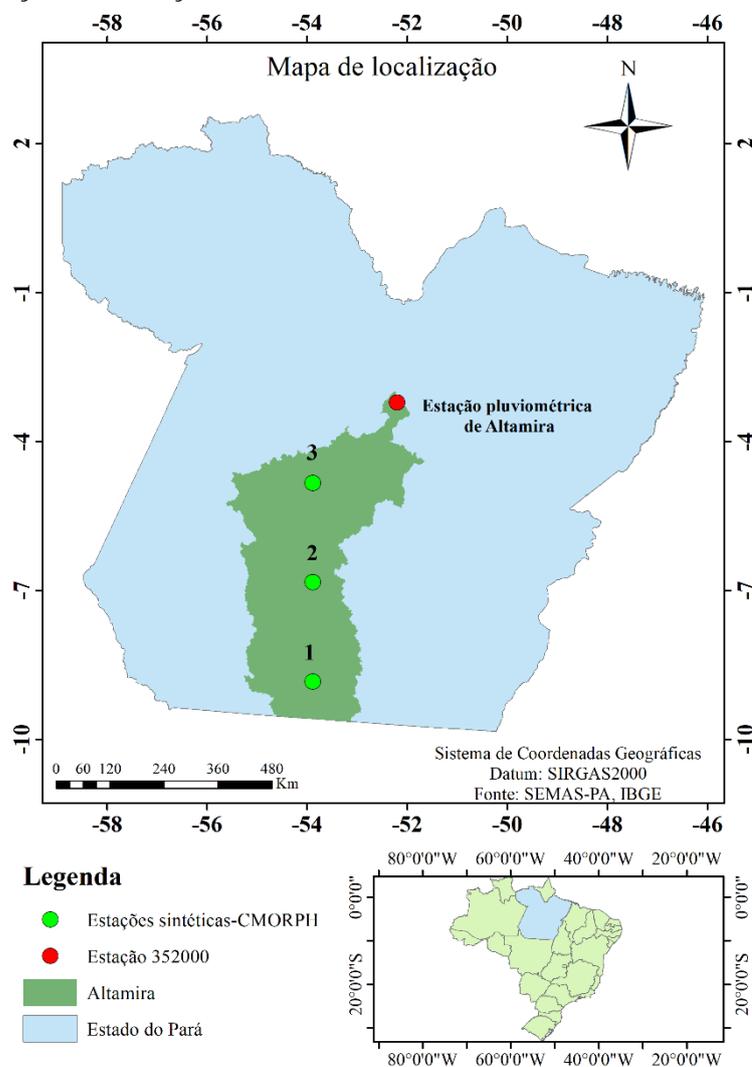
desmatamento, estando inserida no arco do desmatamento (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JUNIOR, 2017). Assim, com o intuito de auxiliar futuros projetos de obras hidráulicas no município, este estudo objetivou desenvolver equações de intensidade de chuva utilizando dados produzidos a partir da técnica *CPC Morphing Technique* (CMORPH), ressaltando que estes dados ainda não foram utilizados na Amazônia para a geração de curvas IDF.

#### 4 METODOLOGIA

#### 4.1 Área de Estudo

O município de Altamira, localiza-se na Mesorregião sudoeste do estado do Pará, microrregião de Altamira, distante 512 km em linha reta da Capital Belém, é o maior município do Estado, com área de 159.533,26 km<sup>2</sup> (Figura 1). Nos últimos anos Altamira ganhou destaque em nível nacional, devido a construção da Hidroelétrica de Belo Monte, com capacidade de geração de energia de 11.233,1 MW (JIANG, X. et al., 2018).

**Figura 1.** Localização das estações utilizadas no estudo



O clima de Altamira, segundo a classificação climática de Köppen (1900) é do grupo “A”, especificamente Am e Aw, isto é, tem clima úmido tropical sem estação fria, com temperaturas médias acima de 18°C (ALVARES et al., 2013), precipitações médias de 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, umidade relativa média de 85 % e ventos fracos de 1,5 m s<sup>-1</sup>. Os meses mais chuvosos vão de janeiro a maio, tendo seu ápice entre fevereiro e abril. Já os meses menos chuvosos vão de junho a novembro, sendo o mês de setembro o com maior déficit chuvoso (TESTON; NOVAES; ALMEIDA JÚNIOR, 2012).

#### 4.2 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram séries sintéticas diárias derivadas de satélite com o uso do CMORPH, disponibilizado operacionalmente pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), simuladas em três pontos, localizados na cidade de Altamira, PA e os obtidos no sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2018), estação pluviométrica Altamira (código ANA: 3520000).

#### 4.3 Preparação dos Dados

A série histórica da estação Altamira tem um período de dados de 57 anos (1961 – 2017). Da série de precipitação diária disponível, foram retirados os anos que continham falhas em mais de dez dias consecutivos, resultando em 31 anos de dados, onde priorizou-se o uso de dados já consistidos e confiáveis.

Dados de precipitação do CMORPH são gerados de 30 em 30 minutos, assim, para tornar viável a comparação, esses dados foram somados para então formar os dados diários.

Formou-se uma série sintética de 19 anos de precipitação diária (1998 – 2016). Assim, de cada ano foi selecionada a máxima precipitação diária (GILROY; MCCUEN, 2012), e em seguida fez-se uma análise estatística para a verificação de ocorrência de outliers, já que a existência de dados periféricos pode afetar a análise dos dados gerais, e assim comprometer os resultados do trabalho (QI; FU; CHEN, 2015).

Antes de utilizar a série de precipitação para fazer a distribuição de probabilidade, fez-se uma análise de consistência nos dados através do método de construção e análise do gráfico *boxplot*, seguindo a mesma metodologia já consolidada proposta por Tukey (1970). Utilizou-se o software SigmaPlot v.12.5 para gerar os gráficos necessários para a metodologia.

É bem conhecido que este gráfico fornece uma maneira agradável e simples de mostrar as características de posição, dispersão e forma relacionadas à amostra, enquanto também indica observações (se houver) que podem ser consideradas *outliers*. Uma observação é detectada como um *outlier* se estiver abaixo do primeiro quartil ou acima do terceiro quartil em mais de 1,5 vezes o intervalo interquartil (SUN; GENTON, 2011; BHAGIA et al., 2016).

#### 4.4 Curvas intensidade-duração-frequência (IDF)

O estabelecimento de curvas IDF de chuva envolve três etapas. Primeiro, uma função de distribuição de probabilidade (FDP) ou uma função de distribuição cumulativa (FDC) é ajustada a cada grupo composto pelo valor de dados para qualquer duração específica (SIMONOVIC et al., 2016). A intensidade máxima de precipitação para cada intervalo de tempo está relacionada com o período de retorno correspondente da função de

distribuição cumulativa. Para um determinado período de retorno  $T$  (Equação 2), a probabilidade pode ser calculada pela Equação 1.

$$P(\text{precipitação} \geq P) = \frac{m}{n+1} \quad (1)$$

Sendo  $P$  a probabilidade de precipitação ser igualada ou superada,  $m$  a ordem do evento organizado do maior para o menor e  $n$  o número de eventos.

$$TR = \frac{1}{P} \quad (2)$$

Foi utilizada a distribuição de Gumbel, por ser uma distribuição amplamente utilizada em análise de frequência de precipitação no Brasil (COLOMBELLI; MENDES, 2013; SOUZA et al., 2012). Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov com significância de 0,05 de intervalo de confiança para confirmar a hipótese de que as precipitações máximas anuais têm aderência à distribuição Gumbel (Equação 3).

$$P_t = \mu + K_t \times \sigma \quad (3)$$

Sendo  $P_t$  o valor de precipitação excedido,  $\mu$  e  $\sigma$  são a média e o desvio padrão dos extremos anuais;  $K_t$  é calculado conforme a Equação 4.

$$k_t = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[ 0,5772 + \ln \left[ \left( \frac{TR}{T-1} \right) \right] \right] \quad (4)$$

A distribuição de Gumbel também pode ser utilizada em sua forma corrigida (Equação 5), conforme descrito por Bhagat (2017).

$$P_t = \bar{\mu} + k \times \sigma \quad (5)$$

Em que,  $k$  é o fator de frequência, calculado pela Equação 6. Em que  $y_t$  é a variável reduzida calculada pela Equação 7,  $\bar{y}_n$  é a média reduzida e  $s_n$  e o desvio padrão da variável reduzida que dependem do tamanho da amostra.

$$k = \frac{y_t - \bar{y}_n}{s_n} \quad (6)$$

$$y_t = - \left[ \ln \left[ \ln \left( \frac{TR}{T-1} \right) \right] \right] \quad (7)$$

Depois da distribuição da precipitação, para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500, 1000 e 10000 anos, foram feitas desagregações para chuvas sub-diárias de 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos utilizando os fatores multiplicativos da CETESB (Tabela 1), sendo este método de uso consolidado no Brasil (DAMÉ et al., 2016; SOUZA et al., 2012).

**Tabela 1.** Coeficiente de desagregação para diferentes durações de chuva

| 5/30<br>min. | 10/30<br>min. | 15/30<br>min. | 20/30<br>min. | 30<br>min./1<br>h | 1/24<br>h | 2/24<br>h | 6/24<br>h | 8/24<br>h | 12/24<br>h | 24 h/1<br>dia |
|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------|
| 0,34         | 0,54          | 0,7           | 0,81          | 0,74              | 0,42      | 0,48      | 0,72      | 0,78      | 0,85       | 1,14          |

Fonte: CETESB (1979).

Assim, dividindo cada lâmina de chuva pelo tempo de duração em minutos, foram calculadas as intensidades de precipitação. Deste modo, fazendo uma relação intensidade em função da duração

são plotadas as curvas de intensidade, frequência e duração (IDF). Usualmente, as equações de intensidade de chuva têm a forma conforme a Equação 8.

$$I = \frac{a \times TR^b}{(t+c)^d} \quad (8)$$

Sendo  $I$ , a intensidade de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $TR$ , o tempo de retorno (anos);  $t$ , a duração (min);  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  parâmetros de ajustes da equação de cada localidade.

O método utilizado para encontrar os parâmetros para área de estudo é a linearização da equação de intensidade,

que aplicando a função logarítmica passa a ter a forma da Equação 9.

$$\log I = \log A - d \log(t + c) \quad (9)$$

$$A = a \times TR^b \quad (10)$$

Sendo  $d$  o coeficiente da reta e  $c$  a correção na duração, que pode ser determinado utilizado uma regressão não linear da duração em função da intensidade para  $TR = N / 5$ , conforme metodologia de Fair-Greyer, sendo  $N$  o número de anos da série histórica (WILKEN, 1978). Ressalta-se que quando o  $TR$  for um decimal, utiliza-se o mais próximo. Assim,

com o tempo de retorno fixado, encontra-se dois pontos na extremidade da reta ( $I_1, t_1$  e  $I_2, t_2$ ) e fazendo uso da Equação 11 e 12 é encontrado um terceiro ponto ( $I_3, t_3$ ), sendo a equação de potência oriunda da regressão não linear. Substituindo a Equação 10 em 8 e na sequência em 11 se obtêm a Equação 13, que isolando  $c$  se torna Equação 14.

$$I_3 = \sqrt{I_1 \times I_2} \quad (11)$$

$$t_3 = \alpha \times I^\beta \quad (12)$$

$$\frac{A}{(t_3+c)^d} = \sqrt{\frac{A}{(t_1+c)^d} \times \frac{A}{(t_2+c)^d}} \quad (13)$$

$$c = \frac{t_3^2 - t_1 \times t_2}{t_1 + t_2 - 2 \times t_3} \quad (14)$$

Realizando a regressão não linear para cada tempo de retorno encontra-se um parâmetro A, que por sua vez, é relacionado com o TR através de regressão

$$\log A = \log a + b \times \log (TR) \quad (15)$$

Por fim, para avaliar os ajustes das equações produzidas, além de verificar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), verificou-se também o erro médio quadrático (RMSE). Este parâmetro de desempenho descreve a diferença entre os valores observados e simulados. Os ajustes perfeitos são indicados com valores próximos de zero (CONVERSA et al., 2015) ou menores do que a metade do

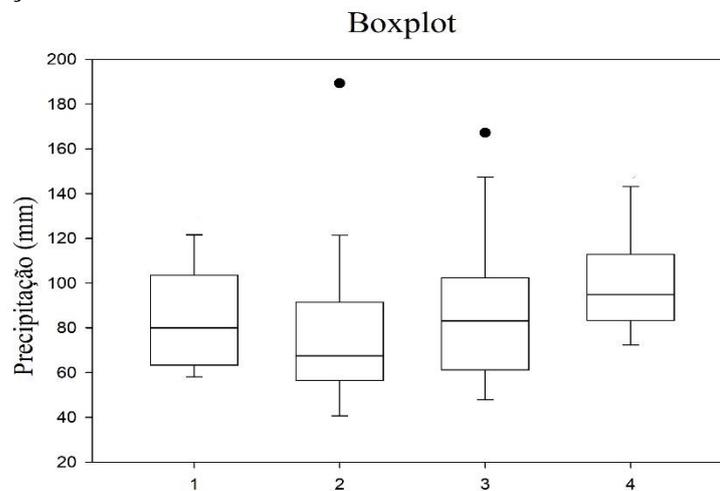
não linear de onde são obtidos os parâmetros a e b, pois a equação resultante terá a forma da Equação 15.

desvio padrão da variável observada (MORIASI et al., 2007).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tratamento nos dados para a verificação de outliers nas séries históricas, resultou nas retiradas de valores das séries históricas da estação sintética 2 e 3, ficando ambas com 18 anos de dados, conforme é apresentado na Figura 2.

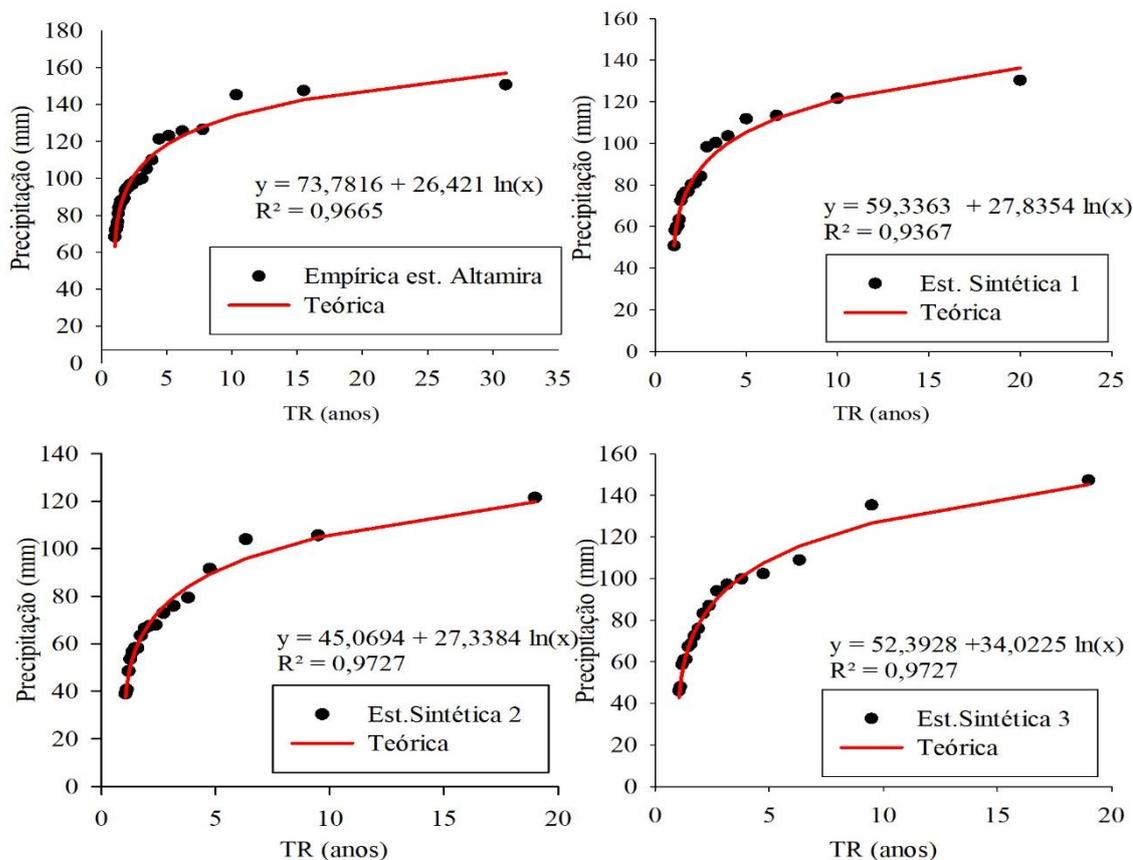
**Figura 2.** Verificação de outliers nas séries históricas



A Figura 3 apresenta os ajustes da distribuição Gumbel em relação à empírica

para as três estações sintéticas e uma analógica.

**Figura 3.** Gráficos de ajuste da distribuição teórica às distribuições empíricas geradas nas estações sintéticas



De acordo com a Figura 3, é possível observar que todas tiveram bons ajustes, o que foi certificado com o teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 5% (Tabela 2), aceitando assim, a hipótese de que a distribuição de

Gumbel se ajusta à empírica, pois a distância encontrada foi menor que as definidas pelo método ( $D_N < D_{N, \alpha}$ ), resultado semelhante foi encontrado por Damé et al. (2016).

**Tabela 2.** Resultados do teste de aderências Kolmogorov-Smirnov

|                 | Estação Altamira | Est. Sintética 1 | Est. Sintética 2 | Est. Sintética 3 |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $D_N$           | 0,1134           | 0,1188           | 0,0805           | 0,0764           |
| $D_{N, \alpha}$ | 0,2417           | 0,3014           | 0,3094           | 0,3094           |

Alguns estudos (TEODORO et al., 2014; BRAGA et al., 2018; ARBOIT; MANCUSO; FIOREZE, 2019) utilizaram a distribuição de Gumbel para gerar as equações de intensidade de precipitação alcançando bons resultados, sendo esta também recomendada para trabalhos com eventos extremos pela *Environment*

*Canada* (SRIVASTAV; SCHARDONG; SIMONOVIC, 2014).

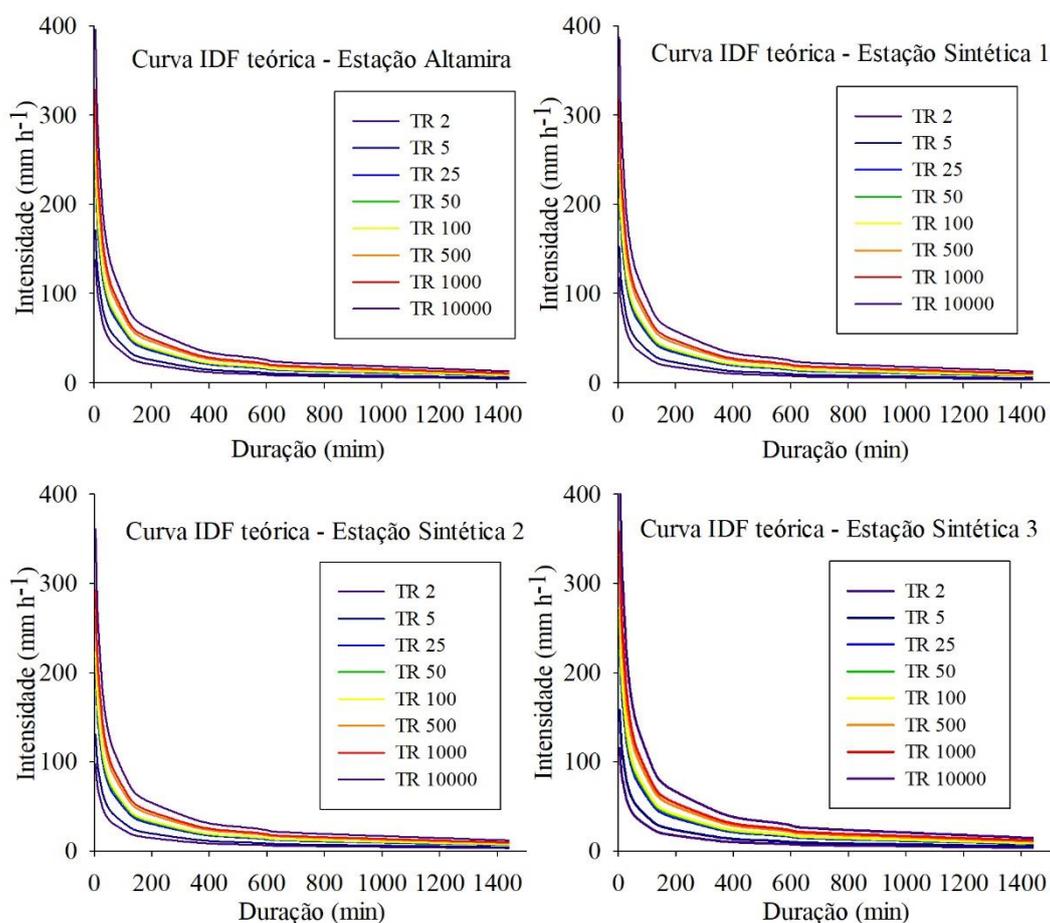
Braga et al. (2018) encontraram uma ótima aderência dos dados empíricos a distribuição de Gumbel, apresentando resultados eficazes no ajuste de eventos meteorológicos extremos no Rio de Janeiro, assim como o observado no

trabalho de Teodoro et al. (2014) em Aquidauana (MS). Neste último, os autores utilizaram Gumbel relacionando com a metodologia de coeficiente de desagregação, citando este método o mais indicado para ser aplicado em valores extremos máximos. Arboite, Mancuso e Fioreze (2019) também obtiveram resultados satisfatórios na utilização de Gumbel com esses coeficientes para a estimativa de chuvas com duração menores que um dia para o município de Iraí (RS).

A Figura 4 apresenta as curvas teóricas para as estações sintéticas e pluviométrica de Altamira. Conforme metodologia de Fair-Greyer, para as IDFs da estação Altamira foi utilizado o TR 5

anos para estimar o parâmetro  $c$  da equação de intensidade de chuva e das estações sintéticas foram utilizadas a com TR de 4 anos. Sendo que o parâmetro variou de 5,688 a 7,009, bem abaixo do valor (9,7894) encontrado por Souza et al. (2012) para o mesmo Município. Essa diferença possivelmente ocorreu devido aos autores terem utilizado uma série histórica de 28 anos para o município, e neste trabalho a metodologia possibilitou a obtenção de 31 anos de dados. Ressalta-se também que os autores não utilizaram auxílio de dados de satélite, o que engloba diferença nos coeficientes obtidos para esses dados.

**Figura 4.** Curvas IDFs para a estação do município de Altamira e as estações sintéticas geradas



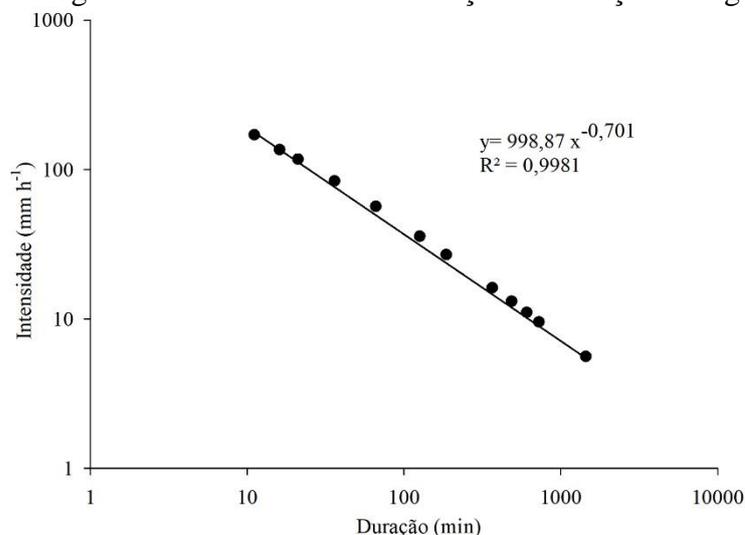
A abordagem usual baseada em pluviômetros fornece, na maioria das vezes, parâmetros específicos para um determinado local, mas as incertezas surgem quando ocorre variação na quantidade de anos utilizados. Além disso, a representatividade das IDF's derivadas do medidor analógico diminui à medida que se afasta do local de origem, muitas vezes limitando a sua utilização (MARRA et al., 2017).

As técnicas de regionalização e interpolação continuam assumindo a homogeneidade espacial para derivar as curvas IDF para locais onde não ocorrem as medições, como é o caso de onde as estações sintéticas estão localizadas. No entanto, a homogeneidade dos extremos de chuvas é uma suposição fraca quando são consideradas áreas amplas (PELEG et al., 2018).

Um importante estudo demonstrando isso foi o de Marra et al. (2017), que comparou as curvas geradas a partir de dados do CMORPH sobre o Mediterrâneo Oriental e quantificou as incertezas relacionadas aos registros limitados em climas variados. Os autores concluíram que a utilização de sensoriamento remoto para a geração de curvas IDF's induz confiança em seu uso para áreas onde não há disponibilidade de dados.

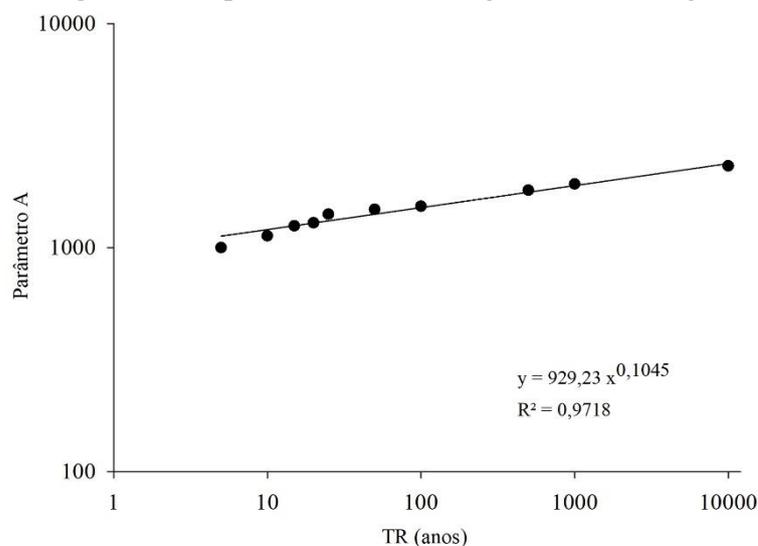
Pode-se considerar também que o parâmetro  $c$  teve um bom ajuste, pois o gráfico da regressão não linear da intensidade em função duração corrigida ( $t + c$ ) apresentou uma reta, tendo o  $R^2$  igual a 0,9981 (Figura 5). Além de aferir o parâmetro  $c$ , foi encontrado o parâmetro  $d$ , sendo este o expoente da Equação da regressão não linear (0,701).

**Figura 5.** Gráfico bi logaritmo da intensidade em função da duração corrigida ( $t+c$ )



Os parâmetros  $A$  ( $TR$  5 anos = 998,87) foram encontrados fazendo a regressão não linear para os demais tempos de retornos, gerando um parâmetro  $A$  para cada tempo de retorno. Assim, aplicou-se

novamente a regressão não linear no parâmetro  $A$  em função do  $TR$  para encontrar os parâmetros  $a = 929,23$  e  $b = 0,1045$  (Figura 6).

**Figura 6.** Gráfico bi logaritmo do parâmetro A em função de TR (estação Altamira)

A Tabela 3 apresenta os parâmetros das equações de intensidade geradas com as series históricas da estação analógica da estação Altamira (352000), das estações

synéticas (S.1, S.2 e S.3) derivados do CMORPH e da equação do estudo de Souza et al. (2012).

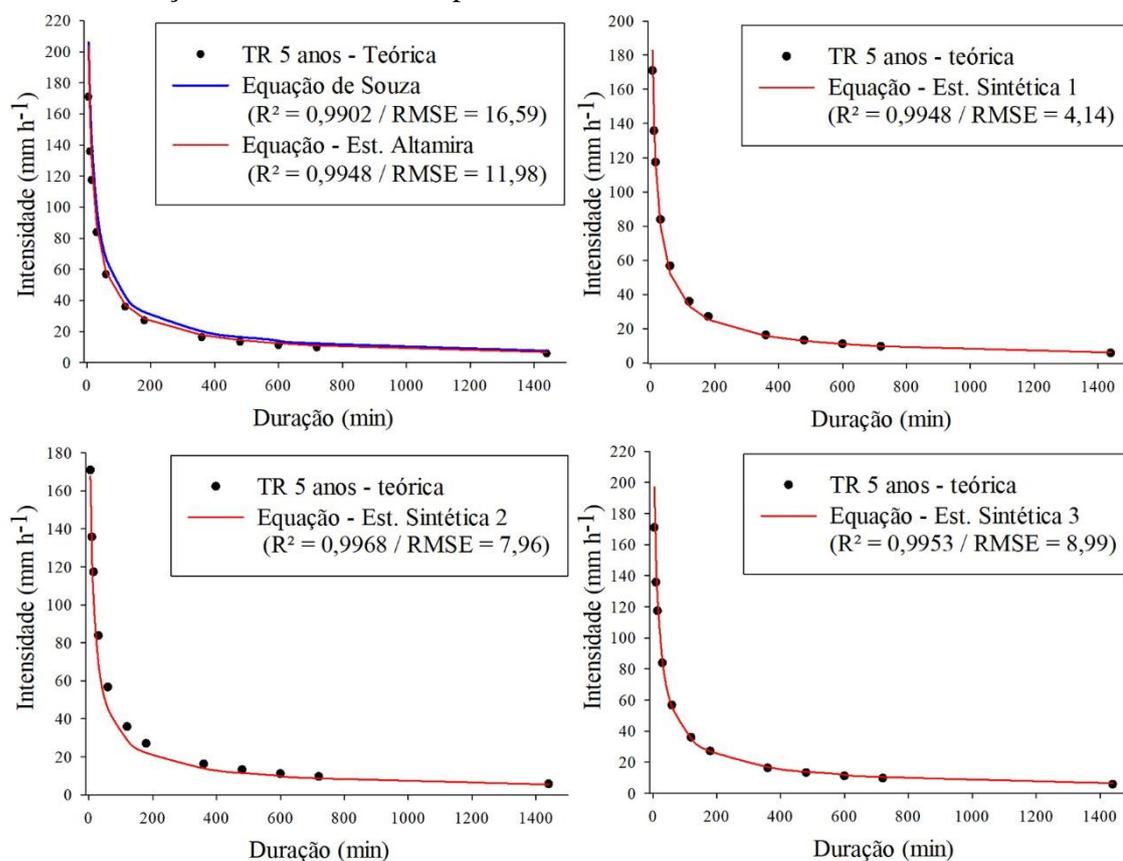
**Tabela 3.** Parâmetros das equações de intensidades de chuvas para as estações analógicas e sintéticas de Altamira e para Souza et al. (2012)

| Parâmetros | Estação S.1 | Estação S.2 | Estação S.3 | Estação Altamira | Souza et al. (2012) |
|------------|-------------|-------------|-------------|------------------|---------------------|
| a          | 807,92      | 650,56      | 836,48      | 929,23           | 1068,86             |
| b          | 0,1235      | 0,1056      | 0,1277      | 0,1045           | 0,1055              |
| c          | 6,084       | 7,009       | 5,688       | 6,082            | 9,7894              |
| d          | 0,701       | 0,712       | 0,697       | 0,701            | 0,7244              |

A Figura 7 apresenta a curva IDF para TR de 5 anos e durações de 5, 10,15, 30, 60, 120, 180, 360, 480, 600, 720, 1440 minutos utilizando as três equações geradas com dados da estação sintéticas e uma com dados da estação analógica. A

equação com dados da estação Altamira foi comparada com a curva teórica da mesma estação e com a curva geradas pela equação de Souza et al. (2012), as demais equações são comparadas somente com a curva teórica.

**Figura 7.** Gráficos comparando as equações de intensidade com a distribuição teórica da estação Altamira com tempo de retorno de 5 anos



A equação da estação Altamira apresentou bom ajuste; assim como a S.1 teve um bom ajuste à curva teórica, mesmo sendo a mais distante da estação analógica. A estação sintética 1 apresentou valores abaixo dos gerados para os dados observados (estação Altamira), variando de - 2,28% para o tempo de retorno de 10.000 anos até - 14,45% para o tempo de retorno de 2 anos. Assim, estes foram os menores valores de diferença, o que pode comprovar o seu melhor ajuste.

As diferenças percentuais foram baixas quando comparadas a outros estudos semelhantes, por exemplo, Bernardi et al. (2015) que também utilizaram dados de satélite alinhados a uma metodologia de desagregação indicaram que, para os TR de 2, 5, 10 e 15 anos, esses dados apresentaram uma diferença de em média 24,7% na precipitação. Esses resultados demonstram

o grande potencial de uma equação de chuvas intensas unida a dados de sensoriamento remoto para descrever e compreender a distribuição espacial e temporal de eventos hidrológicos extremos. Isso é importante para uma região com escassez de dados, especialmente para chuvas de menor duração.

A equação com dados da estação S.3 variou de 12,04% (10.000 anos) a - 16,25% (2 anos) com relação aos dados observados. Esta é a estação mais próxima da analógica, porém, ainda está localizada em uma área pouco urbanizada, o que induz os valores de intensidades diferentes. A estação S.2 subestimou os valores da intensidade de chuva e apresentou a menor precipitação média entre as estações sintéticas. Esta estação apresentou também as maiores diferenças com relação aos dados observados, variando de - 8,89%

(10.000 anos) a - 29,59% (2 anos). Porém, este fato não descarta a utilização da equação para esta localidade, visto que a diferença é com relação a estação de dados observados (área urbana), que por consequência não condiz com as características mesoclimáticas da S.2.

Damé et al. (2014) afirmam que a falta de relações IDF para certas localidades de pesquisa atuais constituem um fator limitante para estimar um projeto de chuva. Neste caso, o IDF de um local próximo à área do projeto pode ser usado, desde que tenha condições climáticas semelhantes.

## 6 CONCLUSÃO

1. De maneira geral a distribuição de extremo tipo I (Gumbel) teve boa aderência aos eventos de chuvas intensas

para a cidade de Altamira, como comprovado pelo teste Kolmogorov-Smirnov;

2. Os dados adquiridos pela técnica CMORPH são alternativas viáveis para locais onde existem escassez de dados de precipitação pluviométrica, que não possuem séries históricas longas e a rede de informação pluviométrica esparsas;

3. As equações de chuvas geradas apresentaram coeficientes de ajuste satisfatórios, demonstrando que são ferramentas eficazes para os possíveis dimensionamentos de obras hídricas e gerenciamento de riscos futuros;

4. É de suma importância que os dados geradores das equações de chuvas intensas sejam o mais próximo possível do local de implantação, não descartando a possibilidade da utilização para outras localidades com características climáticas semelhantes.

## 7 REFERÊNCIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Viena, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ARBOIT, N. K. S.; MANCUSO, M. A.; FIOREZE, M. Ajuste de Equação IDF por Desagregação de Chuvas Diárias para o Município de Iraí, RS. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 248-253, 2019. DOI: 10.11137/2017\_3\_248\_253.

BERNARDI, E. S.; ALLASIA, D.; BASSO, R.; FERREIRA, P. F.; TASSI, R. TRMM rainfall estimative coupled with Bell (1969) methodology for extreme rainfall characterization. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, Göttingen, v. 369, p. 163-168, 2015. DOI: 10.5194/piahs-369-163-2015.

BHAGAT, N. Flood Frequency Analysis Using Gumbel's Distribution Method: A Case Study of Lower Mahi Basin, India. **Journal of Water Resources and Ocean Science**, Nova Iorque, v. 6, n. 4, p. 51-54, 2017. DOI: 10.11648/j.wros.20170604.11.

BHAGIA, S.; MUCHERO, W.; KUMAR, R.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E. Natural genetic variability reduces recalcitrance in poplar. **Biotechnology for Biofuels**, Nova Iorque, v. 9, n. 1, p. 106, 2016. DOI: 10.1186/s13068-016-0521-2.

BOUCHARDET, D. A.; PORSSE, A. A.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Analyzing the

Spatial Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazon. **Geographical Analysis**, Columbus, v. 49, n. 1, p. 23-35, 2017.

BRAGA, S.; R. N.; LYRA, G. B.; NASCENTES, A. L. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2018. DOI: 10.4136/ambi-agua.2076.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas-HidroWeb**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2018. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf> . Acesso em: 10 jun. 2018.

BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; CLARKE, R. T.; MENDES, C. A. B. A comparison of Amazon rainfall characteristics derived from TRMM, CMORPH and the Brazilian national rain gauge network. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v. 116, n. D19, 2011. DOI: 10.1029/2011JD016060.

CETESB. **Drenagem urbana**: São Paulo: Manual de Projetos. São Paulo: CETESB, 1979.

CHEN, P. C.; WANG, Y. H.; YOU, G. J. Y.; WEI, C. C. Comparison of methods for non-stationary hydrologic frequency analysis: Case study using annual maximum daily precipitation in Taiwan. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 545, p. 197-211, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.12.001.

COLOMBELLI, K.; MENDES, R. Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC. **Unoesc & Ciência**, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 169-180, 2013.

CONVERSA, G.; BONASIA, A.; DI GIOIA, F.; ELIA, A. A decision support system (GesCoN) for managing fertigation in vegetable crops. Part II—model calibration and validation under different environmental growing conditions on field grown tomato. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 495, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00495.

DAMÉ, R. D. C.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F.; VILLELA, F. A.; SANTOS, J. P. D.; WINKLER, A. S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in southern Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 660-670, 2014. DOI: 10.1590/S0100-69162014000400006.

DAMÉ, R. D. C.; Teixeira-Gandra, C. F.; GUEDES, H. A.; SILVA, G. M. D.; SILVEIRA, S. C. Intensity-duration-frequency relationships: stochastic modeling and disaggregation of daily rainfall in the lagoa mirim watershed, rio grande do sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 4430, p. 492-502, 2016. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p492-502/2016.

DU, T.; XIONG, L.; XU, C. Y.; GIPPEL, C. J.; GUO, S.; LIU, P. Return period and risk analysis of nonstationary low-flow series under climate change. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 527, p. 234–250, 2015. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.04.041.

ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two

regions in Saudi Arabia. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, Amsterdã, v. 24, n. 2, p. 131-140, 2012. DOI: 10.1016/j.jksues.2011.06.001.

FADHEL, S.; RICO-RAMIREZ, M. A.; HAN, D. Uncertainty of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 547, p. 600-612, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.013.

FARIDZAD, M.; YANG, T.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S.; XIAO, C. Rainfall Frequency Analysis for Ungauged Regions using Remotely Sensed Precipitation Information. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 563, p. 123-142, 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.05.071.

GAO, C.; HE, Z.; PAN, S.; XUAN, W.; XU, Y. P. Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. **Journal of Hydro-environment Research**, Amsterdã, v. 23, n. 2, p. 1-42, 2018. DOI: 10.1016/j.jher.2018.02.005.

GILROY, K. L.; MCCUEN, R. H. A nonstationary flood frequency analysis method to adjust for future climate change and urbanization. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 414/415, p. 40-48, 2012. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.10.009.

HABIB, E.; HAILE, A. T.; TIAN, Y.; JOYCE, R. J. Evaluation of the high-resolution CMORPH satellite rainfall product using dense rain gauge observations and radar-based estimates. **Journal of Hydrometeorology**, Nova Iorque, v. 13, n. 6, p. 1784-1798, 2012. DOI: 10.1175/JHM-D-12-017.1.

JIANG, Q.; LI, W.; WEN, J.; QIU, C.; SUN, W.; FANG, Q.; XU, M.; TAN, J. Accuracy evaluation of two high-resolution satellite-based rainfall products: TRMM 3B42V7 and CMORPH in Shanghai. **Water**, Basileia, v. 10, n. 1, p. 40, 2018. DOI: 10.3390/w10010040.

JIANG, X.; LU, D.; MORAN, E.; CALVI, M. F.; DUTRA, L. V.; LI, G. Examining impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on land-cover changes using multitemporal Landsat imagery. **Applied Geography**, Amsterdã, v. 97, p. 35-47, 2018. DOI: 10.1016/j.apgeog.2018.05.019.

LIMA, C. H. R.; KWON, H. H.; KIM, J. Y. A Bayesian beta distribution model for estimating rainfall IDF curves in a changing climate. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 540, p. 744–756, 2016. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.06.062.

MARRA, F.; MORIN, E.; PELEG, N.; MEI, Y.; ANAGNOSTOU, E. N. Intensity–duration–frequency curves from remote sensing rainfall estimates: comparing satellite and weather radar over the eastern Mediterranean. **Hydrology and Earth System Sciences**, Karlsruhe, v. 21, n. 5, p. 2389-2404, 2017. DOI: 10.5194/hess-21-2389-2017.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. DOI: 10.13031/2013.23153.

PELEG, N.; MARRA, F.; FATICHI, S.; PASCHALIS, A.; MOLNAR, P.; BURLANDO, P.

Spatial variability of extreme rainfall at radar subpixel scale. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 556, p. 922-933, 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.05.033.

PHIEN, H. N. A review of methods of parameter estimation for the extreme value type-1 distribution. **Journal of Hydrology**, Amsterdã v. 90, n. 3/4, p. 251-268, 1987. DOI: 10.1016/0022-1694(87)90070-9.

QI, M.; FU, Z.; CHEN, F. Outliers detection method of multiple measuring points of parameters in power plant units. **Applied Thermal Engineering**, Amsterdã, v. 85, p. 297-303, 2015. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.008.

SIMONOVIC, S. P.; SCHARDONG, A.; SANDINK, D.; SRIVASTAV, R. A web-based tool for the development of Intensity Duration Frequency curves under changing climate. **Environmental Modelling and Software**, Amsterdã, v. 81, p. 136-153, 2016. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.03.016.

SOUZA, R. O. D. M.; SCARAMUSSA, P. H.; AMARAL, M. A.; NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, São Paulo, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000900011.

SRIVASTAV, R. K.; SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P. Equidistance quantile matching method for updating IDF Curves under climate change. **Water Resources Management**, Basileia, v. 28, n. 9, p. 2539-2562, 2014. DOI: 10.1007/s11269-014-0626-y.

SUN, Y.; GENTON, M. G. Functional boxplots. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, London, v. 20, n. 2, p. 316-334, 2011.

TEODORO, P. E.; NEIVOCK, M. P.; MARQUES, J. R. F.; FLORES, A. M. F.; BRAGA, C. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 9, n. 2, 2014. DOI: 10.5216/reec.v9i2.28701.

TESTON, J. A.; NOVAES, J. B.; ALMEIDA JÚNIOR, J. O. B. Abundância, Composição e Diversidade de Arctiinae (Lepidoptera, Arctiidae) em um fragmento de floresta na Amazônia Oriental em Altamira, PA, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 105-114, 2012. DOI: 10.1590/S0044-59672012000100013.

YUE, S.; OUARDA, T. B. M. J.; BOBÉE, B.; LEGENDRE, P.; BRUNEAU, P. The Gumbel mixed model for flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 226, n. 1/2, p. 88-100, 1999. DOI: 10.1016/S0022-1694(99)00168-7.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis: limited preliminary**. Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 1970.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.