

# ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICO

*Manoel Moises F. de Queiroz<sup>1</sup>; Antonio Lopes da Silva<sup>2</sup> & José Wagner A. Garrido<sup>3</sup>*

**RESUMO** - As equações de chuvas intensas são necessárias para maior segurança na elaboração de projetos e dimensionamento de obras hidráulicas. O objetivo deste trabalho foi determinar as equações de chuvas para localidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas. Utilizou-se, então, da metodologia da desagregação da chuva de 24 h e se utilizaram dados pluviométricos de 6 estações disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas e AESA. As séries de dados diários extremos anuais foram adequadamente ajustados através da distribuição GEV e momentos LH. As equações de chuvas intensas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,997 para todas as localidades estudadas. Os parâmetros ajustados apresentaram baixa variabilidade resultando em pequenas diferenças nos valores de precipitações intensas esperadas para as diferentes localidades.

**Palavras chave:** distribuição GEV, momentos LH, semiárido, equação de chuva

**ABSTRACT** - Rain intensity data are necessary to increase security of hydraulic projects. The objective of this study was to determine the rain storm equations for Piranhas watershed river places. The equations were obtained by disaggregation of 24 h rain data from 6 pluviometric stations available in the National Water Agency (ANA) and AESA data bank. The annual extreme daily data were properly adjusted through the GEV distribution and LH moments. The rain equations resulted in coefficients of determination above 0,997 for all localities.. The adjusted parameters showed low variability resulting in small differences for the several locations rain intensities in different places.

**Key words:** GEV distribution, LH moments, semi-arid, rain equation

1

## 1 – INTRODUÇÃO

O conhecimento da chuva de projeto é essencial o bom dimensionamento de obras hidráulicas como: reservatórios de contenção, canais de terraços e bacias de contenção de erosão, drenagem agrícola e urbana, pontes, canais e outras estruturas hidráulicas. A estimativa mais precisa possível

---

<sup>1</sup> Docente adjunto da Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8398214625. E-mail: - moises@ccta.ufcg.edu.br m

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8399003371. E-mail: antoniolopsilva@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8399293891. E-mail: garrido\_wagner@hotmail.com

de uma chuva intensa é extremamente importante para que um projeto seja viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico Mello (2003).

Para estimar os parâmetros de chuvas intensas utilizam-se séries históricas de dados de chuvas máximas com vários tempos de duração, extraídos de pluviogramas. As relações IDF são obtidas por meio de análises estatísticas de longas séries de dados observados em pluviógrafos (Back, 2006). Contudo, esse tipo de dados de chuvas de menor duração, devido à escassez de equipamentos registradores dificilmente são disponíveis e, quando existem, são séries relativamente curtas que apresentam muitas falhas nos registros de dados. Lima et al. (2005), Oliveira et al. (2008) e Back (2009) relatam a dificuldade de obtenção de longas séries de dados de precipitação, principalmente de registros pluviográficos. Algumas metodologias foram desenvolvidas para obtenção das chuvas de menor duração, a partir de dados pluviométricos diários, os quais podem ser obtidos com relativa facilidade no país.

Damé et al. (2006) e (2008) desenvolveram estudos das relações IDF com dados de precipitação estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária, empregando-se procedimentos que se baseiam nas relações entre precipitações de diferentes durações para desagregar a chuva máxima diária em chuva com duração inferior. No Brasil são largamente empregadas as relações entre durações publicadas pela CETESB (1986), como os trabalhos de Mello et. al. (2003), Ferreira et al. (2005), Soprani & Reis (2007) e Oliveira et al. (2008).

Assim, buscou-se neste estudo analisar a intensidade, duração e frequência de chuvas intensas em algumas localidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas, utilizando séries sintéticas de chuvas obtidas da desagregação de dados pluviométricos máximos ajustados através da distribuição GEV e momentos LH..

## **2 - METODOLOGIA**

Neste estudo foram utilizadas séries históricas de dados pluviométricos diários observadas em algumas localidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas, sub bacia do Piranhas Açu, situada no extremo oeste da Paraíba (Figura 1), fornecidos pela Agência Executiva de Gestão de Água na Paraíba – AESA.

As séries sintéticas de chuvas com duração de 5, 10, 15, 20, 25 até 1440 min, para cada localidade, foram obtidas por técnica de desagregação de chuva, empregando os coeficientes apresentados na Tabela 1 (DAEE-CETESB, 1980), a partir dos quantis máximos anuais de chuvas diárias, correspondentes aos períodos de retornos de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 250, 500, 1000 anos,

obtidos dos respectivos ajustes da distribuição generalizada de valores extremos (GEV) através de momentos de estatística de ordens (momentos LH) às séries de valores máximos diários de chuvas observadas nas estações pluviométricas consideradas. Os ajustes da GEV as séries de chuva máximas diárias anuais foram feitos, usando os momentos LH, conforme descrito em Queiroz & Chaudhry (2006), adotando o nível das estatísticas de ordens igual a zero, o que corresponde a momentos L. A qualidade dos ajustes foi avaliada pelos testes de Wang(1998) e Kolmogorv-Smirnov.

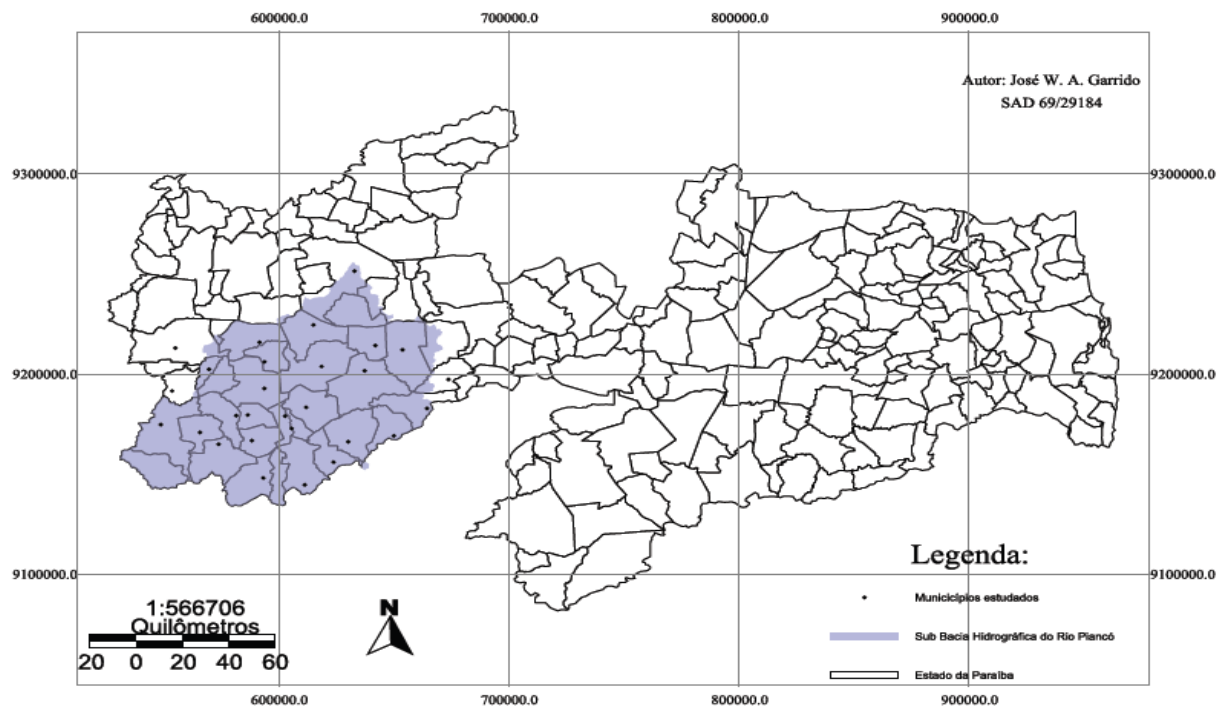


Figura 1 – Localização dos municípios estudados no estado da Paraíba, que fazem parte da sub bacia hidrográfica do Rio Piancó

## 2.1 Distribuição de Probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV)

A função de distribuição generalizada de valores extremos – GEV, que engloba as três formas assintóticas de distribuição de valores extremos conhecidas como valor extremo do tipo I (VEI), valor extremo do tipo II (VEII) e valor extremo do tipo III (VEIII) é definida, segundo Jenkinson (1955), como segue:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[ - \left( 1 - k \frac{x-u}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right], \quad k \neq 0 \quad (1a)$$

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x-u}{\alpha} \right) \right], \quad k=0 \quad (1b)$$

sendo:  $-\infty < x < +\infty$ ,  $k=0$  - distribuição VEI

$\varepsilon \leq x < +\infty$ ,  $k < 0$  - distribuição VEII

$-\infty < x \leq \omega$ ,  $k > 0$  - distribuição VEIII

Em que:  $u$  é um parâmetro de posicionamento com  $-\infty < u < +\infty$ ,  $\alpha$  é um parâmetro de escala com  $0 < \alpha < +\infty$  e  $k$  é um parâmetro de forma com  $-\infty < k < +\infty$ . Assim, quando  $k > 0$  o limite superior da distribuição assintótica VEIII torna-se  $\omega = u + \alpha/k$  e quando  $k < 0$  o limite inferior da distribuição assintótica VEII torna-se  $\varepsilon = u + \alpha/k$ .

O p-ésimo quantil da distribuição GEV é dado tomando a forma inversa das equações (1a) e (1b) as quais resultam nas seguintes relações:

$$x_p = u + \frac{\alpha}{k} \left[ 1 - (-\ln(p))^k \right], \quad k \neq 0, \quad 0 < p < 1 \quad (2a)$$

$$x_p = u - \alpha \ln[-\ln(p)], \quad k=0, \quad 0 < p < 1 \quad (2b)$$

A variável  $z$  definida pela relação abaixo corresponde a variável reduzida de Gumbel

$$z = \frac{x-u}{\alpha} \quad (3)$$

substituindo  $z$  em (1b), obtém-se:  $F(x) = \exp[-\exp(-z)]$  (distribuição de Gumbel), Logo,

$$z = -\ln[\ln(F(x))] \quad (4)$$

onde, neste caso, a variável reduzida de Gumbel,  $z$ , também relaciona-se com o período de retorno ( $T$ ),  $T = 1/F(x)$ .

## Momentos LH

Dada uma amostra de tamanho  $m$  retirada de uma distribuição  $F(x)=P(X\leq x)$ . Baseado na combinação linear das mais elevadas estatísticas de ordem e na equação (6), os momentos LH são definidos como:

$$\lambda_1^\eta = E[X_{(\eta+1)(\eta+1)}] \quad (5a)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{1}{2} E[X_{(\eta+2)(\eta+2)} - X_{(\eta+1)(\eta+2)}] \quad (5b)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{1}{3} E[X_{(\eta+3)(\eta+3)} - 2X_{(\eta+2)(\eta+3)} + X_{(\eta+1)(\eta+3)}] \quad (5c)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{1}{4} E[X_{(\eta+4)(\eta+4)} - 3X_{(\eta+3)(\eta+4)} + 3X_{(\eta+2)(\eta+4)} - X_{(\eta+1)(\eta+4)}] \quad (5d)$$

onde  $\lambda_1^\eta$ , maior valor esperado na amostra de tamanho  $\eta + 1$ , corresponde a uma medida de posicionamento da distribuição;  $\lambda_2^\eta$ , metade da diferença entre o maior e segundo maior valor esperado na amostra de tamanho  $\eta + 2$ , caracteriza a expansão da parte superior da distribuição;  $\lambda_3^\eta$ , reflete como está a assimetria da parte superior da distribuição, através dos três maiores valores esperados na amostra de tamanho  $\eta + 3$ ; e  $\lambda_4^\eta$  prover uma medida da pontiagudez (curtose) da parte superior da distribuição através dos quatros maiores valores esperados na amostra de tamanho  $\eta + 4$ .

Quando  $\eta = 0$ , momentos LH tornam-se iguais aos momentos L. Como  $\eta$  aumenta, os momentos LH refletem mais e mais as características da parte superior da distribuição e dos valores extremos máximos dos dados. Momentos LH é chamado momentos  $L_1$ , momentos  $L_2$ , .... para  $\eta = 1, 2, \dots$  respectivamente.

ordenando a amostra em  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ , a estimativa dos momentos LH é feita como segue:

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{n C_{\eta+1}} \sum_{i=1}^n {}^{i-1}C_\eta x_{(i)} \quad (6a)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{n C_{\eta+2}} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1}C_{\eta+1} - {}^{i-1}C_\eta {}^{n-1}C_1) x_{(i)} \quad (6b)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{n C_{\eta+3}} \sum_{i=1}^n \left( {}^{i-1}C_{\eta+2} - 2 {}^{i-1}C_{\eta+1} {}^{n-i}C_1 + {}^{i-1}C_{\eta} {}^{n-i}C_2 \right) x_{(i)} \quad (6c)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{n C_{\eta+4}} \sum_{i=1}^n \left( {}^{i-1}C_{\eta+3} - 3 {}^{i-1}C_{\eta+2} {}^{n-i}C_1 + 3 {}^{i-1}C_{\eta+1} {}^{n-i}C_2 - {}^{i-1}C_{\eta} {}^{n-i}C_3 \right) x_{(i)} \quad (6d)$$

onde:

$${}^m C_j = \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!} \quad \text{e} \quad {}^m C_j = 0 \quad \text{quando} \quad j > m.$$

#### . Estimativa dos parâmetros da distribuição GEV

Dada uma amostra, os três parâmetros  $u, \alpha, \kappa$  da distribuição GEV podem ser estimados, considerando a estimativa dos momentos LH amostrais através das equações (6a a 6d), para um valor selecionado de  $\eta$  e  $\kappa \neq 0$ , como segue (Wang, 1977):

$$\lambda_1^\eta = u + \frac{\alpha}{\kappa} \left[ 1 - \Gamma(1 + \kappa)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (7a)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{(\eta + 2)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{2!\kappa} \left[ -(\eta + 2)^{-\kappa} + (\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (7b)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{(\eta + 3)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{3!\kappa} \left[ -(\eta + 4)(\eta + 3)^{-\kappa} + 2(\eta + 3)(\eta + 2)^{-\kappa} - (\eta + 2)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (7c)$$

$$\begin{aligned} \lambda_4^\eta = & \frac{(\eta + 4)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{4!\kappa} \left[ -(\eta + 6)(\eta + 5)(\eta + 4)^{-\kappa} + 3(\eta + 5)(\eta + 4)(\eta + 3)^{-\kappa} \right. \\ & \left. - 3(\eta + 4)(\eta + 3)(\eta + 2)^{-\kappa} + (\eta + 3)(\eta + 2)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \end{aligned} \quad (7d)$$

Assim, os parâmetros  $u, \alpha$  e  $k$  da distribuição GEV podem estão ser estimados, substituindo os três primeiros momentos LH (equações 7a, 7b e 7c) pelo seus respectivos estimadores amostrais nas equações 6a, 6b e 6c, para cada valor de  $\eta$  selecionado.

No presente trabalho, para obtenção dos parâmetros da equação IDF de cada estação pluviométrica, foi empregado o procedimento de regressão não-linear múltipla proposto por

Righetto (1998), a fim de estabelecer faixa de valores dentro da série de chuvas intensas que resulte no ajuste de equações representativas.

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação de dados pluviométricos

| Duração      | 24h/1dia | 12h/24h  | 10h/24h  | 8h/24h   | 6h/24h   | 1h/24h  |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Coeficientes | 1,14     | 0,85     | 0,82     | 0,78     | 0,72     | 0,42    |
| Duração      | 30min/1h | 25min/1h | 20min/1h | 15min/1h | 10min/1h | 5min/1h |
| Coeficientes | 0,74     | 0,91     | 0,81     | 0,70     | 0,54     | 0,34    |

## 2.2 - Equação IDF de chuvas intensas

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por:

$$I = \frac{K T^m}{(t + t_0)^n} \quad (8)$$

em que: I é a intensidade máxima média de precipitação em mm/h, T o período de retorno em anos, t a duração da precipitação em min e K, m, n,  $t_0$  os parâmetros relativos à localidade Tucci (1997).

A equação permite sintetizar o feixe de curvas, mas poderá apresentar erros, já que o ajuste nem sempre é perfeito Tucci (1997).

### Método estatístico – modelos não lineares

Foi aplicado o método estatístico de regressão múltipla para modelos não-lineares, conforme define Righetto (1998), conforme descrito a seguir.

Seja  $f(\alpha, \beta_1, \beta_2, X)$  uma função que estima o valor da variável aleatória Y em relação ao valor assumido pela variável independente X, ou seja, por meio dessa função procura-se ajustar um modelo de regressão de maneira que McCuen (1989):

$$Y_i = f(\alpha, \beta_1, \beta_2, X_i) + \varepsilon_i \quad (9)$$

sendo  $i = 1, 2, \dots, n$  os  $n$  valores amostrais de  $Y$  e  $X$ . Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados, isto é, através das seguintes expressões:

$$\frac{\delta}{\delta_{\alpha}} (Y_i - f(\alpha, \beta_1, \beta_2, X_i))^2 := 0 \quad (10a)$$

$$\frac{\delta}{\delta_{\beta_1}} (Y_i - f(\alpha, \beta_1, \beta_2, X_i))^2 := 0 \quad (10b)$$

$$\frac{\delta}{\delta_{\beta_2}} (Y_i - f(\alpha, \beta_1, \beta_2, X_i))^2 := 0 \quad (10c)$$

O seguinte procedimento pode ser utilizado para obtenção das estimativas dos valores desses parâmetros, denotados por  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ . Utilizando a expansão de Taylor e a partir de valores iniciais adotados para esses parâmetros, denotados por  $a^1$ ,  $b_1^1$ ,  $b_2^1$ , tem-se:

$$f(a, b_1, b_2, X) := f(a^1, b_1^1, b_2^1, X) + (a - a^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{\alpha}} + (b_1 - b_1^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_1}} + (b_2 - b_2^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_2}} \quad (11a)$$

ou

$$Y_i := f(a^1, b_1^1, b_2^1, X) + (a - a^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{\alpha}} + (b_1 - b_1^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_1}} + (b_2 - b_2^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_2}} \quad (11b)$$

Definindo:

$$Z_i \blacksquare Y_i - f(a, b_1, b_2, X) := (a - a^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{\alpha}} + (b_1 - b_1^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_1}} + (b_2 - b_2^1) \cdot \frac{\delta}{\delta_{b_2}} \quad (12)$$

e definindo, ainda,  $U_1 = \delta f / \delta a$ ,  $U_2 = \delta f / \delta b_1$ ,  $U_3 = \delta f / \delta b_2$ , obtém-se a seguinte equação de regressão linear múltipla:

$$(Z_i) := (a - a^1) \cdot U_{1,i} + (b_1 - b_1^1) \cdot U_{2,i} + (b_2 - b_2^1) \cdot U_{3,i} \quad (13)$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Sucessivamente, aplica-se o sistema de equações lineares de uma regressão linear múltipla, de modo a se obter valores de  $Z_i$ ,  $(a - a^1)$ ,  $(b_1 - b_1^1)$  e  $(b_2 - b_2^1)$ , cada vez mais próximo de zero.



### 2.3 - Processo de aplicação do método estatístico para o caso da equação IDF

A partir da seguinte equação genérica, usualmente utilizada para exprimir a relação entre intensidade, duração e frequência:

$$f(\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, T, d_c) = \frac{\alpha \cdot T^{\beta_1}}{(\beta_2 + d_c)^{\beta_3}} \quad (14)$$

Aplica-se a metodologia exposta anteriormente, assim:

$$Z_i := (a - a^1) \cdot U_{1,i} + (b_1 - b_1^1) \cdot U_{2,i} + (b_2 - b_2^1) \cdot U_{3,i} + (b_3 - b_3^1) \cdot U_{4,i} \quad (15)$$

Onde:

$$Z := Y - f(\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, T, d_c) \quad (16)$$

Sendo Y a matriz dos valores de intensidade observados e f a matriz dos valores de intensidade calculados pela equação.

Tem-se:

$$U_{1,i} = \frac{\partial f}{\partial a} = \frac{(T_i)^{b_1}}{(b_2 + d_{c,i})^{b_3}} := \frac{f_i}{a} \quad (17)$$

$$U_{2,i} = \frac{\partial f}{\partial b_1} = \frac{a (T_i)^{b_1} \cdot \ln(T_i)}{(b_2 + d_{c,i})^{b_3}} := f_i \cdot \ln(T_i) \quad (18)$$

$$U_{3,i} = \frac{\partial f}{\partial b_2} = \frac{-a \cdot b_3 \cdot (T_i)^{b_1}}{(b_2 + d_{c,i})^{b_3+1}} := \frac{-(f_i \cdot b_3)}{(b_2 + d_{c,i})} \quad (19)$$

$$U_{4,i} = \frac{\partial f}{\partial b_3} = \frac{-a \cdot (T_i)^{b_1} \cdot \ln(b_2 + d_{c,i})}{(b_2 + d_{c,i})^{b_3}} := -(f_i \cdot \ln(b_2 + d_{c,i})) \quad (20)$$

Definindo os seguintes parâmetros:  $\delta_1 = (a - a^1)$ ,  $\delta_2 = (b_1 - b_1^1)$ ,  $\delta_3 = (b_2 - b_2^1)$ ,  $\delta_4 = (b_3 - b_3^1)$ ,  $c_{r,s} = \sum (U_{r,i} * U_{s,i})$  e  $d_r = \sum (U_{r,i} * Z_i)$  para  $r,s = 1,2,3,4$  e  $i = 1, 2, \dots, n$ , sendo  $n$  o numero de valores amostrais do conjunto  $(f_i, T_i, d_{c,i})$ , obtém-se o seguinte sistema de equações lineares:

$$\begin{aligned} c_{11} \cdot \delta_1 + c_{12} \cdot \delta_2 + c_{13} \cdot \delta_3 + c_{14} \cdot \delta_4 &:= d_1 \\ c_{21} \cdot \delta_1 + c_{22} \cdot \delta_2 + c_{23} \cdot \delta_3 + c_{24} \cdot \delta_4 &:= d_2 \\ c_{31} \cdot \delta_1 + c_{32} \cdot \delta_2 + c_{33} \cdot \delta_3 + c_{34} \cdot \delta_4 &:= d_3 \\ c_{41} \cdot \delta_1 + c_{42} \cdot \delta_2 + c_{43} \cdot \delta_3 + c_{44} \cdot \delta_4 &:= d_4 \end{aligned} \quad (21)$$

ou, em notação matricial,

$$[A] * \{\delta\} = \{d\} \quad (22)$$

Para cada interação do processo numérico de busca da solução referente à minimização de  $\sum \delta_i$ , são atualizadas as estimativas dos parâmetros da equação de  $f$ , isto é,  $a^{it+1} = a^{it}$ ,  $b_1^{it+1} = b_1^{it}$ ,  $b_2^{it+1} = b_2^{it}$ ,  $b_3^{it+1} = b_3^{it}$ . Elaborando-se uma pequena rotina de calculo, obtém-se a partir de estimativas iniciais para esses parâmetros ( $K$ ,  $m$ ,  $t_0$ ,  $n$ ) a equação IDF local. Para isto, foi desenvolvida uma rotina em matlab.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores dos parâmetros de ajustes da distribuição GEV e na Tabela 3 os parâmetros de ajuste da equação de chuva para as diferentes localidades, período de retorno e duração da chuva. Todas seres de chuva máxima foram adequadamente ajustadas através da distribuição GEV, usando momentos LH, com nível de significância de 5% de acordo com os testes de aderência de Wang(1998) e Kolmogorov-Smirnov.

Os ajustes da equação de chuvas as series sintéticas de intensidade de chuvas com durações variando de 5 a 1440 min foram adequadamente obtidos, de acordo com os coeficientes de determinação que variaram de 0,997 a 1,000, como podem ser observados na Tabela 2.

Os ajustes das seis localidades resultaram nas três formas de valores extremos, sendo Pombal, Patos, Sousa e Itaporanga do tipo VEII ( $k < 0$ ), Piancó do Tipo VEI ( $k = 0$ ), pois na prática valores de  $k < 0,03$  pode ser considerado como sendo a distribuição de Gumbel, e por fim,

Cajazeiras como VEIII ( $k>0$ ). Na Tabela 4 estão apresentadas as equações de chuva para as seis localidades consideradas na bacia hidrográfica do rio Piranhas.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros de ajustes da distribuição GEV

| Localidade | Latitude | Longitude | Nº<br>de anos | Forma<br>k | Escala<br>$\alpha$ | Posição<br>u | Teste Z<br>Wang* | Teste<br>Ks* |
|------------|----------|-----------|---------------|------------|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Pombal     | -6,77    | -37,80    | 90            | -0,04      | 19,91              | 64,35        | 0,54             | 0,07         |
| Patos      | -7,01    | -37,28    | 17            | -0,42      | 21,14              | 61,8         | 1,19             | 0,21         |
| Piancó     | -7,20    | -37,93    | 100           | 0,02       | 22,53              | 69,28        | 1,39             | 0,04         |
| Cajazeiras | -6,88    | -38,57    | 86            | 0,03       | 18,94              | 72,53        | 1,44             | 0,05         |
| Itaporanga | -7,30    | -38,15    | 17            | -0,04      | 24,21              | 88,21        | 2,29             | 0,15         |
| Sousa      | -6,75    | -38,23    | 16            | -0,11      | 18,47              | 68,9         | 0,51             | 0,1          |

\*Todos os ajustes da GEV foram aceitos com 5% de significância pelo teste de Wan(1998), em que o crítico  $Z_{0.05} = 1,96$  e pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.



Tabela 3 - Valores dos parâmetros da equação de chuva para cada localidade

| Localidade | K      | m     | $t_0$ | n     | $R^2$ |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Pombal     | 887,2  | 0,160 | 13,08 | 0,772 | 0,998 |
| Patos      | 632,3  | 0,407 | 13,08 | 0,772 | 1,000 |
| Piancó     | 989,0  | 0,138 | 13,08 | 0,772 | 0,997 |
| Cajazeiras | 981,6  | 0,123 | 13,08 | 0,772 | 0,998 |
| Itaporanga | 1180,2 | 0,151 | 13,08 | 0,772 | 0,998 |
| Sousa      | 885,7  | 0,18  | 13,08 | 0,772 | 0,999 |

Tabela 4 – Equação de chuva para seis locais da bacia hidrográfica do rio Piranhas

| Município     | Equação                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------|
| Pombal/PB     | $i = \frac{887,2 * T_r^{0,160}}{(t + 13,08)^{0,772}}$    |
| Patos/PB      | $i = \frac{632,3 * T_r^{0,407}}{(t + 13,08)^{0,772}}$    |
| Piancó/PB     | $i = \frac{989 * T_r^{0,138}}{(t + 13,08)^{0,772}}$      |
| Cajazeiras/PB | $i = \frac{981,6 * T_r^{0,123}}{(t + 13,08)^{0,772}}$    |
| Itaporanga/PB | $i = \frac{1180,2 * T_r^{0,151}}{(t + 13,08)^{0,772}}$   |
| Souza/PB      | $i = \frac{885,7 * T_r^{0,180}}{(t + 13,0802)^{0,7722}}$ |

Para uma melhor visualização dos ajustes da distribuição GEV as séries de extremos anuais de chuvas diárias foram construídas os gráficos das seis localidades mostrados na Figura 2. Na Figura 3 estão exibidas relações entre valores de intensidade de chuvas obtidos da desagregação dos quantis de chuvas para os períodos de retornos considerados e os valores de intensidades de chuvas obtidos a partir das equações de chuva mostradas na Tabela 4, para as seis localidades consideradas, e para o intervalo de durações de 5 a 1440 minutos.

Observado os gráficos da Figura 3 verifica-se que a intensidade de chuvas atinge valores acima de 1000 mm/h para a localidade de Patos, quando o período de retorno corresponde a valores acima de 100 anos. Isto decorre do tipo de valor extremo obtido com o ajuste da GEV, como pode ser visto na Figura 2, para a localidade correspondente. Para as demais localidades as intensidades de chuvas encontram-se na mesma faixa de valores, pois apesar dos ajustes resultarem em formas de valores extremos de tipos diferentes, os valores do parâmetro de forma estão muito próximos.

As equações de chuvas, para as seis localidades, apresentam os parâmetros  $t_0$  e  $n$ , com os mesmos valores. Isto decorre da semelhança de regime pluviométrico das localidades e do fato de se usar os mesmos coeficientes de desagregação para as diferentes localidades, não se referindo a valores observados de intensidade de chuva, e sim séries sintéticas.

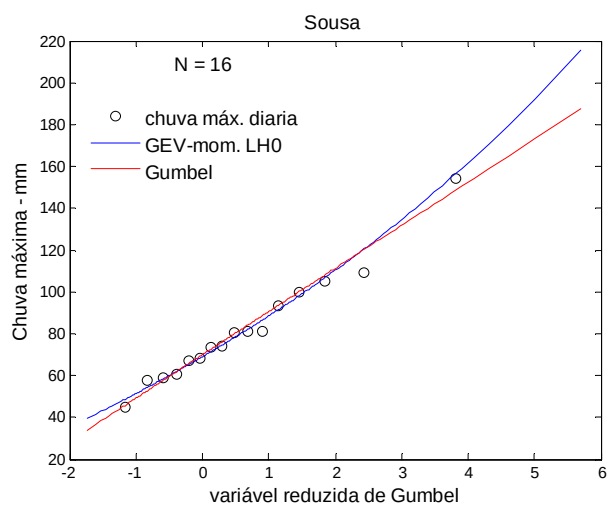
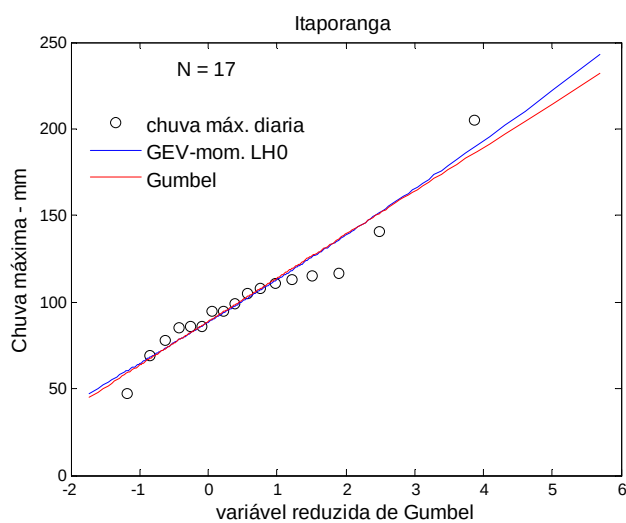
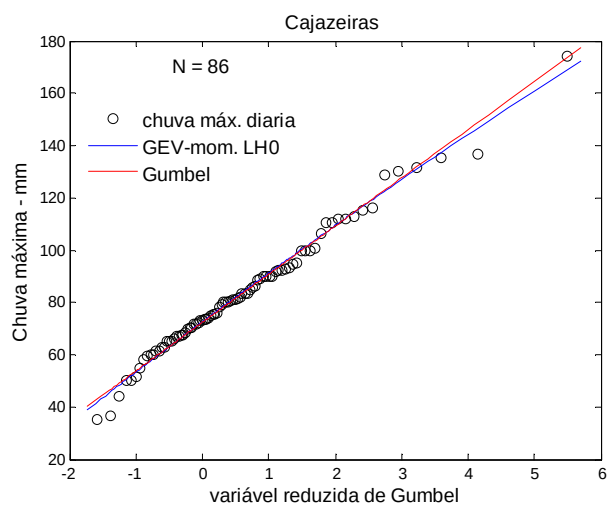
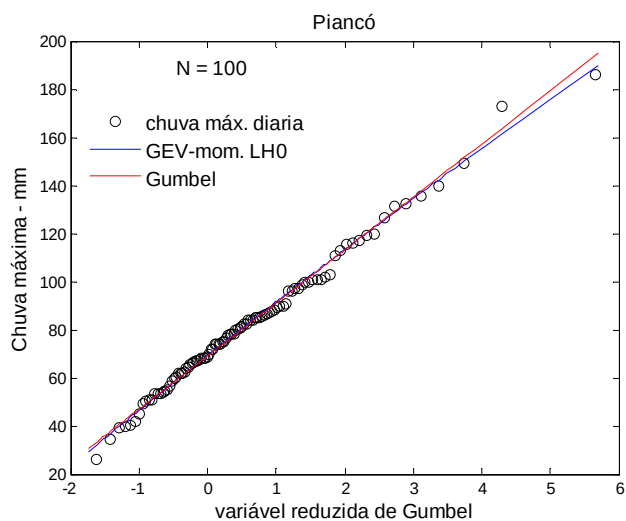
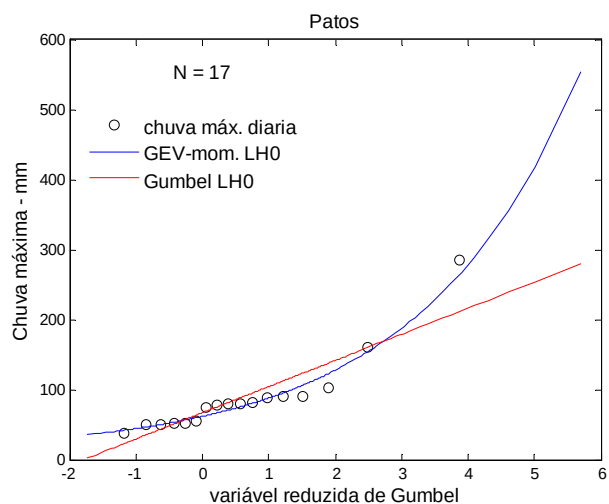
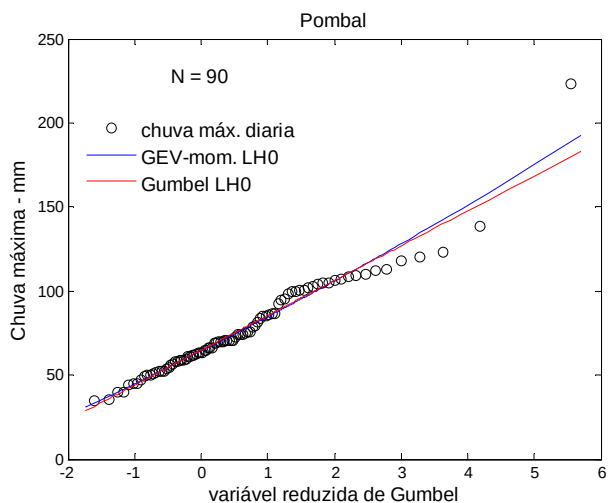


Figura 2 - Ajustes da distribuição GEV as series de chuvas diárias máximas anuais

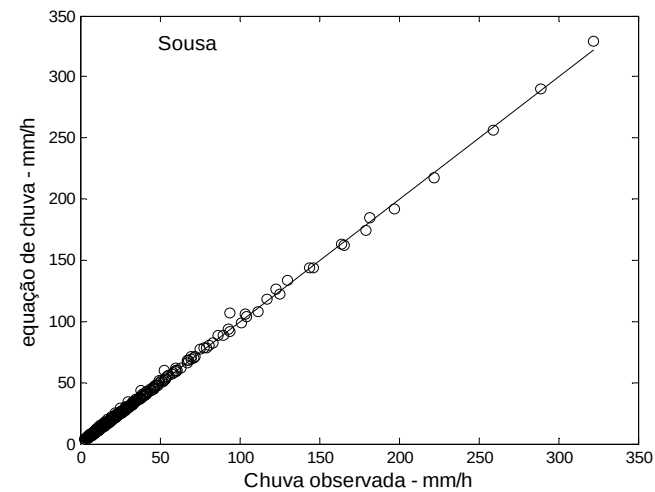
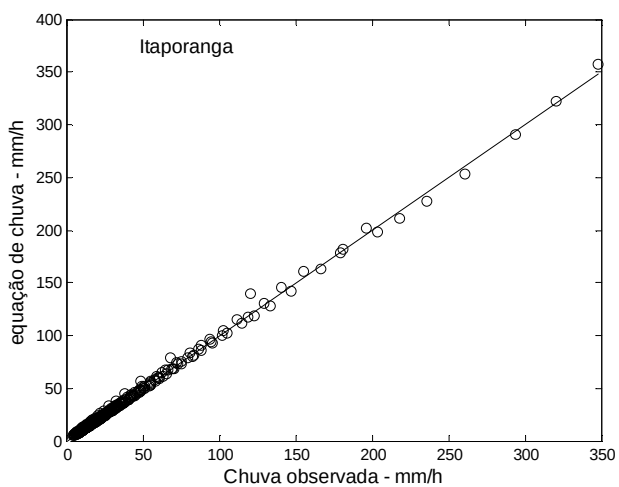
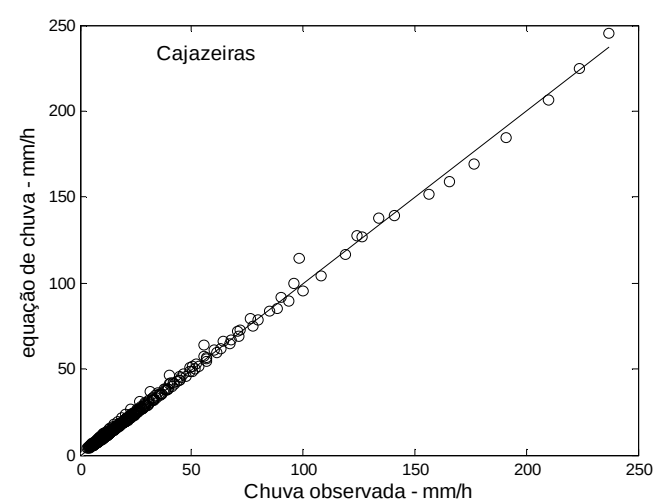
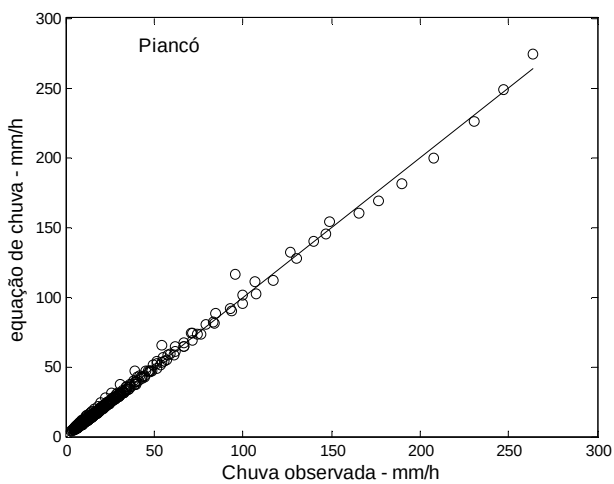
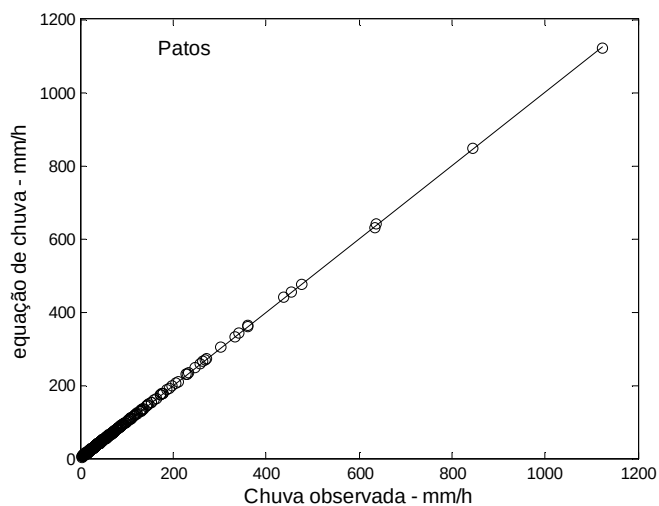
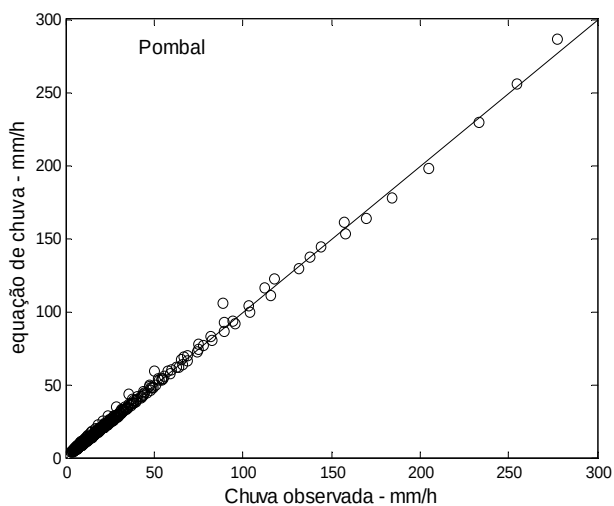


Figura 3 – Relação entre valores de intensidades de chuvas observados e simulados através das equações de chuva ajustadas

#### 4 - CONCLUSÃO

As séries de chuva máxima diária anual das seis localidades foram adequadamente ajustada através da distribuição GEV;

O ajuste da equação de chuva às séries sintéticas, feita através de, resultou em valores de parâmetros

As equações de chuvas intensas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,997 para todas as localidades estudadas, utilizando modelos não lineares para obtenção dos parâmetros da equação

#### BIBLIOGRAFIA

Back, A. J. Relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum, Agronomy*, v.28, p.575-581, 2006.

Back, A. J. Relações entre precipitação intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.170-175, 2009.

DAEE-CETESB. (1980). *“Drenagem urbana: manual de projeto”*. DAEE/Cetesb, São Paulo, SP. 466 p.

Damé, R. C. F.; Pedrotti, C. B. M.; Cardoso, M. A. G.; Silveira, C. P.; Duarte, L. A.; Ávila, M. S. V.; Moreira, A. C. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com àquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.12, p.505-509, 2006.

Damé, R. de C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.10-15, 2008.

Ferreira, J. C.; Daniel, L. A.; Tomazela, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo - Fase I. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.1175-1187, 2005.

JENKINSON, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.81, p.158-171.

Mello, C. R. de; Silva, A. M.; Lima, J. M.; Ferreira, D. F.; Oliveira, M. S. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.121-128, 2003.

McCUEN, R. H. (1989). *“Hydrological Analysis and Design”*, Prentice Hall, 867p.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIEBELER, N. P. (2005). *“Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal”*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.1, p.13-18.

QUEIROZ, M. M. F. DE; CHAUDHRY, F. H. (2006). “*Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.381–389.

RIGHETTO, A. M. (1998). “*Hidrologia e Recursos Hídricos*”. 1º ed. São Carlos: EESC USP Projeto Reenge, 199p.

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, v.13, (suplemento), p.899-905.

Soprani, M. A.; Reis, J. A. T. Proposição de equações de Intensidade-Duração-Frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, v.1, p.18-25, 2007.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C. (1997). “*Precipitação in Hidrologia Ciência e Aplicação*”. 2º ed. Porto Alegre, Universidade Federal de Rio Grande do Sul / São Paulo, Edusp, p. 177 - 231.

WANG, Q. J. (1997). LH moments for statistical analysis of extreme events. *Water Resour. Res.*, v.33, n.12, p.2841-2848.

WANG, Q. J. (1998). Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments. *Water Resou. Res.*, v.34, n.12, p.3497-3502.