



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO PIRANHAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

**ANTONIO LOPES DA SILVA**

**POMBAL- PB**

**2012**

**ANTONIO LOPES DA SILVA**

**ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO PIRANHAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

**Orientador:** Dr. Manoel Moises F. de Queiroz

**POMBAL-PB**

**2012**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA  
SETORIAL CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

S586a Silva, Antonio Lopes da.

Análise de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Piranhas a partir de dados pluviométricos. / Antonio Lopes da Silva. – Pombal: UFCG/CCTA, 2012.

36 f.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) –  
UFCG/ CCTA/UACTA.

1. Chuva intensa – Equação. 2. Chuva - Desagregação. 3. Distri-  
buição GEV. 4. Momentos LH. I. Queiroz, Manoel  
Moises Ferreira de II. Título.

UFCG/CCTA

CDU 551.578(813.3)(043)

**ANTONIO LOPES DA SILVA**

**ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO PIRANHAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 24/10/2012

BANCA EXAMINADORA:

---

Orientador - Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz  
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UACTA)

---

Examinador - Prof. Dr. Paulo Xavier Pamplona  
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UACTA)

---

Examinador – Prof. Me. Eivaldo Alves Ferreira  
(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pernambuco –  
Campus Petrolina)

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, pelo dom da vida e presença constante em minha vida;

À Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, pela oportunidade para realização do curso;

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz, por todos ensinamentos, paciência e profissionalismo no transcorrer das atividades;

Aos professores Paulo Pamplona e Erivaldo Alves pelas contribuições acadêmicas e participação na banca examinadora;

À Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, nas pessoas de Camilo e Everton, pela eficiência, atenção e amizade extensivas a todos os alunos;

Aos Professores da Unidade Acadêmica de Ciência e Tecnologia Ambiental - UACTA, CCTA, UFCG - Campus de Pombal pelos ensinamentos;

À minha esposa Giovanna, meu filho Antonio Kennedy pela paciência, compreensão, dos momentos ausentes, pelo amor, companheirismo, incentivo e momentos de desconcentração que foi fundamental durante essa caminhada;

Aos meus pais, minhas irmãs e meus sobrinhos que acreditaram e sempre torceram por mim.

Ao técnico do laboratório de hidrologia, Antonio Gadelha pelos esclarecimentos nos momentos de dúvidas;

Ao colega graduando em engenharia ambiental, Aristodemo por me ajudar na confecção do mapa, utilizando o ArcGIS;

Aos meus amigos e colegas da 1ª turma de Engenharia Ambiental da UFCG, pelo convívio e amizade durante essa trajetória;

A todos que contribuíram de forma direta e indiretamente para que eu pudesse chegar até aqui, muito obrigado!

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de desagregação de dados pluviométricos.....	9
Tabela 2. Valores dos parâmetros de ajustes da distribuição GEV.....	18
Tabela 3. Quantis de chuva em mm, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 250, 500 e 1000 anos.....	19
Tabela 4. Desagregação de quantis de chuva (mm) a partir dos coeficientes da DAEE – CETESB (1980), para os períodos de retorno em anos para a cidade de Pombal – PB. ....	20
Tabela 5. Valores de intensidade de chuva (mm/h) a partir dos coeficientes da DAEE – CETESB (1980), para os períodos de retorno em anos para a cidade de Pombal – PB. ....	20
Tabela 6. Equação de chuva para algumas cidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas .....	21

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Precipitações .....	4
3.2 Chuvas intensas .....	5
3.3 Equação de Chuvas intensas .....	6
3.4 Regressão Múltipla .....	7
4. METODOLOGIA.....	8
4.1 Distribuição de Probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV).....	9
4.2 Momentos LH .....	10
4.3 Estimativa dos parâmetros da distribuição GEV.....	12
4.4 Equação IDF de chuvas intensas .....	12
4.5 Método estatístico – modelos não lineares.....	13
4.6 Processo de aplicação do método estatístico para o caso da equação IDF....	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
6. CONCLUSÃO .....	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

## RESUMO

ANTONIO LOPES DA SILVA. **ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS**. Pombal-PB, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, UFCG, Outubro de 2012. 36 f. il. Trabalho de Graduação. Curso de Engenharia Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz.

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 utilizaram-se dados pluviométricos de 31 estações, disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas e Agência Executiva em Gestão de Recursos Hídricos da Paraíba. As séries de dados diários extremos anuais foram adequadamente ajustadas através da distribuição GEV e momentos LH. As equações de chuvas intensas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,993 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**

ANTONIO LOPES DA SILVA. **ANALYSIS OF INTENSE RAINFALL IN THE PIRANHAS RIVER BASIN FROM RAINFALL DATA.** PB-Pombal, Centre for Agri-food Science and Technology, UFCG, October 2012. 36 f. il. Undergraduate work. Environmental Engineering Course. Advisor: Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz.

The equations of intense rains are necessary for safety in project preparation and design of hydraulic structures. The aim of this study was to determine the equations of rainfall for locations of Piranhas river basin. It was used, then the methodology of desegregation of rain 24 h and used - if rainfall data from 31 stations available in the database of the National Water Agency and Executive Agency for Water Resources Management of Paraíba. The series of annual extreme daily data were properly adjusted by the GEV distribution and moments LH. The equations of heavy rains showed good fit, with correlation coefficients greater than 0.993 for all locations studied. The adjusted parameters showed low variability resulting in small differences in the amounts of heavy rainfall expected for the different locations.

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

# 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da chuva de projeto é essencial ao 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 de uma chuva intensa é extremamente importante para que um projeto seja viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, Mello (2003). Park et al. (2002) afirmaram que a modelagem de chuvas extremas é essencial, pois com a mesma pode-se minimizar custo em relação à agricultura e principalmente ter um bom entendimento em relação às modificações do clima e do tempo.

Clarke et al. (2004) sugeriu que as séries de dados têm que ser suficientemente longas e representativas do local de estudo, então 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 entre Intensidade, Duração, Freqüência – IDF, são obtidas por meio de análises estatísticas de longas séries de dados observados em pluviógrafos (Back, 2006).

Oliveira et al. (2008) e Back (2009) relatam a dificuldade de obtenção dos dados de precipitação, principalmente de registros pluviográficos, devido os obstáculos para sua obtenção, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observações disponível, e quando existem, são séries relativamente curtas que apresentam muitas falhas nos registros de dados. Ressalta-se ainda que a metodologia para obtenção de registros necessite de um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas.

Por esta razão, poucos trabalhos no Brasil tem sido desenvolvidos com esta finalidade. O trabalho clássico de estudos de chuvas intensas no Brasil foi publicado por Pfafstetter em 1957. 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. Estudos pioneiros sobre chuvas intensas no Estado da Paraíba foram conduzidos por Pfafstetter (1957) e Souza (1972) que utilizaram dados de registros de chuva de estações localizadas em João

Pessoa, no Litoral, e em São Gonçalo, no Sertão. Tendo em vista a utilização de séries históricas com poucos anos, no tempo em que foi publicado.

É nesse contexto em que esse estudo se faz necessário na bacia do rio Piranhas-Açú, porque em quase todos os municípios paraibanos, há disponibilidade de dados pluviométricos, no qual são monitorados pela Agência Executiva em Gestão de Recursos Hídricos da Paraíba (AESA), bem como a Agência Nacional de Águas (ANA), operadores coletam os dados e os enviam para estes órgãos, alimentando o banco de dados da ANA, disponível na Hidroweb e também um banco de dados na AESA.

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).

## **2. OBJETIVO**

Buscou-se neste estudo estabelecer relação entre a intensidade, duração e frequência de chuvas intensas em algumas localidades do Estado da Paraíba, no contexto da bacia hidrográfica do rio piranhas, utilizando séries sintéticas de chuvas obtidas a partir de dados diários de chuvas fornecidos pela AESA e ANA, empregando a metodologia da desagregação da chuva de 24 horas. Esses dados pluviométricos máximos ajustados através da distribuição GEV e momentos LH, através de procedimentos computacionais desenvolvidos no programa Matlab, busca encontrar a faixa de duração que resulte no melhor ajuste, bem como determinar os parâmetros da equação de chuva para cada localidade.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Precipitações

Segundo VILLELA & MATTOS (1975), o termo precipitação é definido como qualquer deposição d'água em forma líquida ou sólida proveniente da atmosfera, incluindo a chuva, granizo, neve, neblina, chuveiro, orvalho e outros hidrômetros. A precipitação é medida em altura, normalmente expressa em milímetros. Uma precipitação de 1 mm é equivalente a um volume de 1 litro de água numa superfície de 1 m<sup>2</sup>.

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. A precipitação é o processo pelo qual a água volta a terra, pela condensação do vapor atmosférico, portanto é um dos fatores climáticos mais importantes, pois é o principal "input" do balanço hidrológico de uma região.

O conhecimento das características das precipitações tem enorme interesse de ordem técnica por suas aplicações em projetos de vertedouros de barragens, no dimensionamento de canais, na determinação de galerias de águas pluviais, no cálculo de bueiros, projetos de irrigação e drenagem e no abastecimento de água (VILLELA & MATTOS, 1975).

A precipitação é o elemento que mais afeta a produtividade agrícola em todo o mundo. A quantidade e a distribuição da precipitação que incide anualmente sobre certa região é bastante importante, determinando o tipo de vegetação e influenciando a programação das atividades agrícolas. Assim, épocas de plantio e colheita, atividades mecanizadas e mesmo a escolha de espécies e variedades de plantas estão intimamente relacionadas com o padrão de precipitação local.

De acordo com HOLTZ (1976), é interessante que se possa construir uma obra que atenda a qualquer tipo de vazão possível de ocorrer, ou seja, não se deve assumir um risco de ordem econômica que a estrutura venha a falhar durante seu tempo de vida útil, por isso o conhecimento da distribuição das precipitações torna a estrutura mais confiável podendo reduzir o risco a zero.

As precipitações convectivas são típicas de regiões tropicais. A sua formação se dá através do aquecimento desigual da superfície terrestre, provocando o

aparecimento de camadas de ar com densidade diferente, o que gera uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Se esse equilíbrio, por qualquer motivo (vento, superaquecimento), for quebrado, provoca-se uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes. Essas precipitações caracterizam-se pela grande intensidade e curta duração e por serem concentradas em pequenas áreas. Este tipo de precipitação é o causador das vazões críticas em pequenas bacias hidrográficas (VILLELA & MATTOS, 1975).

### **3.2 Chuvas intensas**

Os projetos de obras hidráulicas que visam o controle dos recursos hídricos ou a proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento baseiam-se nos resultados dos estudos hidrológicos desenvolvidos para estimar a magnitude das vazões correspondentes às freqüências de ocorrências desejadas ou vazões de projeto. Sempre que possível essa estimativa deve ser obtida a partir da série histórica de vazões referente ao local da obra. No caso de pequenas bacias hidrográficas, essas séries históricas geralmente não existem. Neste caso, a estimativa da vazão de projeto é feita a partir da análise de chuvas intensas observadas numa ou mais estação meteorológica ou climatológica da região (MOLIN et al., 1996).

A determinação da intensidade da chuva é importante para planejar o controle de inundações e erosão do solo, além de outros. Sendo a chuva um fenômeno meteorológico do tipo aleatório, o interesse se concentra na determinação, além da intensidade máxima para cada duração de chuva, da freqüência com que ela pode ocorrer (CARDOSO et. al., 1996).

CRUCIANI et. al. (2002) afirmam que em áreas urbanas, as chuvas intensas causam enchentes, e geram caos nos sistemas de drenagens naturais, além de gerarem picos nos sistemas de galerias pluviais.

Já no meio rural, as chuvas intensas são um fator expressivo no processo de erodibilidade dos solos (REYES et. al., 1993).

Segundo HOLTZ (1976), não se pode fixar valores para se estabelecer chuvas intensas uma vez que o impacto pode ser diferente, dependendo do local de incidência.

Para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedouros de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, entre outros, é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e freqüência - IDF (TUCCI, 1997).

A relação entre intensidade, duração e freqüência da precipitação utiliza a intensidade máxima média, a qual é definida como a relação entre a máxima altura pluviométrica ocorrida no intervalo de tempo considerado e o intervalo de tempo, sendo expressa, usualmente, em mm/h. A intensidade de precipitação decresce com o aumento da duração e, evidentemente, aumenta com a diminuição da freqüência, ou seja, com o aumento do período de retorno (GARCEZ, 1976).

É comum serem adotados períodos de retorno de 1000 a 10000 anos em projetos de contenção de cheias, como barragens, em que acidentes ocasionam grandes prejuízos, com alto grau de risco à vida humana. Nestes casos, é importante que se tenha uma longa série de dados, que permitam a extrapolação dos valores, com segurança, para grandes períodos de retorno. No caso de obras de canalização de curso d'água de pequenas bacias de drenagem, para controle de inundações, o período de retorno usualmente utilizado varia de 5 a 50 anos (KESSLER, 1978; WILKEN, 1978).

Um dos mais importantes usos das chuvas intensas de certa freqüência é a estimativa de vazões máximas para rios com pouca ou nenhuma medição de vazões, geralmente cursos d'água de pequenas bacias, urbanas ou rurais, e que constituem a macro-drenagem natural dessas bacias. Para estimar essas precipitações para os locais onde não se dispõe de dados de fluviógrafos ou onde as séries observadas são muito pequenas, vários estudos têm sido desenvolvidos, de tal forma a se estabelecer às relações entre chuvas de diferentes durações, através das equações de Intensidade, Duração, Freqüência ou ainda mapas de isoietas. As equações IDF são também chamadas de equações de chuvas intensas (GENOVEZ & ZUFFO, 2000).

### **3.3 Equação de Chuvas intensas**

De acordo com RIGHETTO (1998), a quantificação das precipitações não pode ser respondida deterministicamente a partir do conhecimento acumulado de observações dos fenômenos hidrometeorológicos, pois, observações demonstram

que os fenômenos físicos envolvidos são extremamente complexos e que as variáveis hidrológicas assumem valores que só podem ser interpretados por modelos matemáticos e leis probabilísticas.

Para determinação da chuva de projeto, são utilizadas relações do tipo intensidade-duração-frequência, representadas por equações derivadas empiricamente por meio da série de observações obtidas dos registros pluviográficos (GENOVEZ & ZUFFO, 2000).

Correlacionando intensidade e duração das chuvas, verifica-se que quanto mais intensa for a precipitação, menor será sua duração. A relação cronológica das maiores intensidades para cada duração pode ser obtida em uma série de registros pluviométricos de tormentas intensas. Da mesma forma, quanto menor for o risco maior será a intensidade. A função  $i = f(t, p)$ , onde  $i$  = intensidade,  $t$  = duração,  $p$  = probabilidade ou  $Tr = 1/p$ ,  $Tr$  = período de retorno, é determinada com base nos dados dos pluviógrafos do local de interesse ou estimada com base nos dados dos postos vizinhos (TUCCI, 1997).

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

### **3.4 Regressão Múltipla**

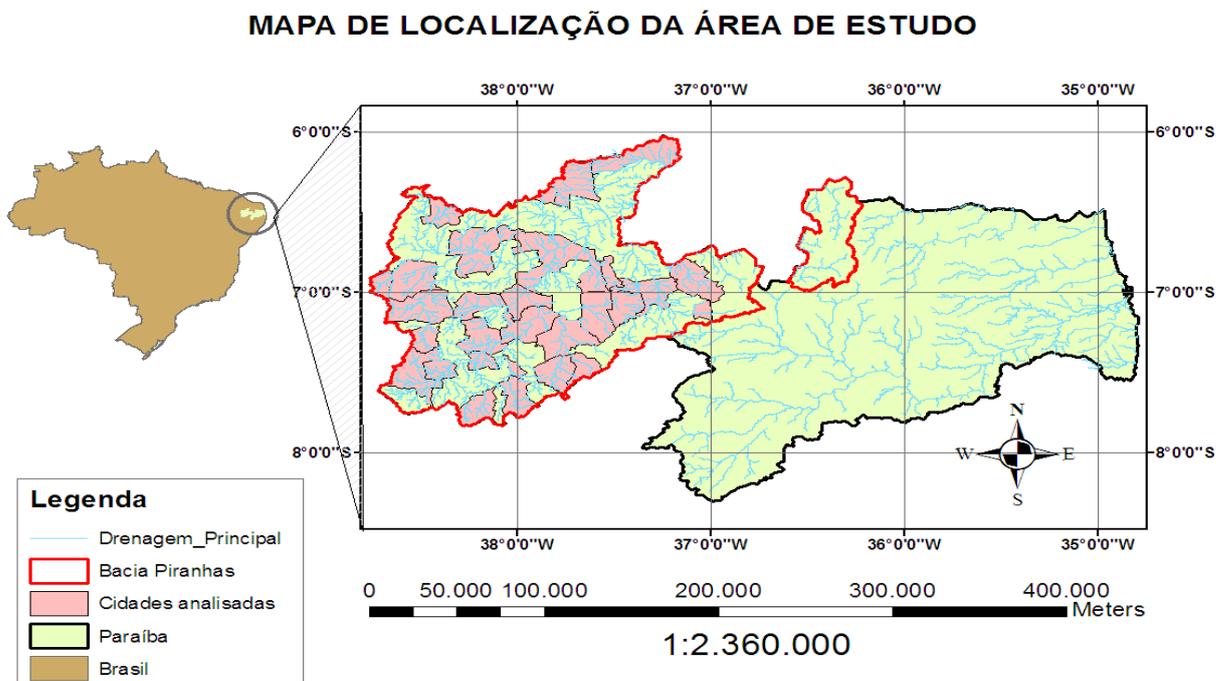
RIGHETO (1998) demonstra o procedimento a ser adotado para determinação dos parâmetros que compõem a equação IDF. O modelo probabilístico a ser utilizado para a modelagem da variável  $Y$  é construído com a equação de regressão múltipla não-linear introduzindo-se um termo aleatório,  $\varepsilon$ , que exprime a diferença entre o valor de  $Y$  observado e o valor previsto pela equação de regressão.

## 4. METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu está situada no Nordeste do Brasil, pertencente ao território dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, totalmente inserida no clima semi-árido nordestino. Possui uma área total de drenagem de 43.681,50 Km<sup>2</sup>, sendo 26.183,00 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 60% da área no Estado da Paraíba, e o restante no Estado do Rio Grande do Norte. O principal rio da bacia é o rio Piranhas-Açu, de domínio federal, uma vez que nasce no município de Bonito de Santa Fé, no Estado da Paraíba, e segue seu curso natural pelo Estado do Rio Grande do Norte, desaguando no Oceano Atlântico, na Costa Potiguar.

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 e Agencia Nacional de Águas – ANA.

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



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 às 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 pelo teste de Wang(1998).

**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

Fonte: DAEE-CETESB (1980)

#### 4.1 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:

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

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

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 ( $T$ ),  $T = 1/F(x)$ .

## 4.2 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:

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

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

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

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

Em que  $\lambda_1^\eta$ , 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:

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

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

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

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

Em que:

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

### 4.3 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, 1997):

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

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

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

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

Assim, os parâmetros  $u, \alpha$  e  $k$  da distribuição GEV podem então ser estimados, substituindo os três primeiros momentos LH (equações 7a, 7b e 7c), pelos 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.

### 4.4 Equação IDF de chuvas intensas

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação geral de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por (Bernard, 1930):

$$I = \frac{KT^m}{(t + t_0)^n}$$

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;  
 $K, m, n, t_0$ , são os parâmetros relativos à localidade.

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

#### 4.5 Método estatístico – modelos não lineares

Aplicou-se o método estatístico de regressão múltipla para modelos não-lineares, conforme define Righetto (1998), segundo 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):

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

Em que  $i = 1, 2, \dots, n$  são 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:

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

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

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

O seguinte procedimento pode ser utilizado para obtenção das estimativas dos valores desses parâmetros, denotados por  $\alpha, b_1, b_2$ . 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:

$$f(a, b_1, b_2, X) = f(a^1, b_1^1, b_2^1, X) + (a - a^1) * \frac{\delta}{\delta a} + (b_1 - b_1^1) * \frac{\delta}{\delta b_1} + (b_2 - b_2^1) * \frac{\delta}{\delta b_2}$$

ou

$$Y_i = f(a^1, b_1^1, b_2^1, X) = (a - a^1) * \frac{\delta}{\delta a} + (b_1 - b_1^1) * \frac{\delta}{\delta b_1} + (b_2 - b_2^1) * \frac{\delta}{\delta b_2}$$

Definindo:

$$Z_i = Y_i - f(a^1, b_1^1, b_2^1, X) = (a - a^1) * \frac{\delta}{\delta a} + (b_1 - b_1^1) * \frac{\delta}{\delta b_1} + (b_2 - b_2^1) * \frac{\delta}{\delta b_2}$$

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:

$$Z_i = (a - a^1) * U_{1, i} + (b_1 - b_1^1) * U_{2, i} + (b_2 - b_2^1) * U_{3, i}$$

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.

#### 4.6 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:

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

aplica-se a metodologia exposta anteriormente. Assim:

$$Z_i = (a - a^1) * U_{1, i} + (b_1 - b_1^1) * U_{2, i} + (b_2 - b_2^1) * U_{3, i} + (b_3 - b_3^1) * U_{4, i}$$

Em que:

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

Sendo  $Y$  a matriz dos valores de intensidade observados e  $f$  a matriz dos valores de intensidade calculados pela equação, tem – se;

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

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

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

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

Definindo os seguintes parâmetros:  $\delta_1 = (a - a^1)$ ,  $\delta_2 = (b_1 - b_1^1)$ ,  $\delta_3 = (b_2 - b_2^1)$ ,  $\delta_4 = (b_3 - b_3^1)$ ,  $c_{r,s} = \sum(U_{r,i} \cdot U_{s,i})$  e  $d_r = \sum(U_{r,i} \cdot Z_i)$  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:

$$c_{11} \cdot \delta_1 + c_{12} \cdot \delta_2 + c_{13} \cdot \delta_3 + c_{14} \cdot \delta_4 := d_1$$

$$c_{21} \cdot \delta_1 + c_{22} \cdot \delta_2 + c_{23} \cdot \delta_3 + c_{24} \cdot \delta_4 := d_2$$

$$c_{31} \cdot \delta_1 + c_{32} \cdot \delta_2 + c_{33} \cdot \delta_3 + c_{34} \cdot \delta_4 := d_3$$

$$c_{41} \cdot \delta_1 + c_{42} \cdot \delta_2 + c_{43} \cdot \delta_3 + c_{44} \cdot \delta_4 := d_4$$

ou, em notação matricial,

$$[A] \cdot \{\delta\} = \{d\},$$

onde;

$$A = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & C_{1,4} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & C_{2,4} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & C_{3,4} \\ C_{4,1} & C_{4,2} & C_{4,3} & C_{4,4} \end{bmatrix}, \quad \delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \end{bmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix}$$

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,  $a^{it+1} = a^{it}$ ,  $b1^{it+1} = b1^{it}$ ,  $b2^{it+1} = b2^{it}$ ,  $b3^{it+1} = b3^{it}$ .

Elaborando-se uma pequena rotina de cálculo, obtém-se a partir de estimativas iniciais para esses parâmetros ( $K$ ,  $m$ ,  $t_0$ ,  $n$ ) numa equação IDF local. Para isto, foi desenvolvida uma rotina em Matlab com os procedimentos de ajuste da distribuição GEV, com base em momentos LH e do teste de qualidade de ajuste para a mesma, desenvolvida por Queiroz & Chaudhry (2006) e que procede ao ajuste para qualquer tamanho da amostra.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores dos parâmetros de ajustes da distribuição GEV, a tabela 3 apresenta os valores de precipitação para todas as localidades estudadas a partir da equação (2a), com os diferentes períodos de retorno. Tomando como exemplo a cidade de Pombal-PB foi feita a desagregação de quantis de chuvas em mm, utilizando os coeficientes obtidos na DAEE-CETESB (1980), no qual os valores obtidos são apresentados na tabela 4, obtiveram-se a partir desses dados, os valores de intensidade de chuvas para a cidade de Pombal - PB apresentados na tabela 5, calculados através da equação de intensidade de chuva:

$$I = \frac{P}{d},$$

em que: I – Intensidade de chuva; P – precipitação em mm; d – duração da chuva em h ou min.

Na Tabela 6 os parâmetros de ajuste da equação de chuva para as diferentes localidades, período de retorno e duração da chuva.

Todas as séries 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).

Os ajustes da equação de chuvas com as series sintéticas de intensidade de chuvas com durações variando de 5 a 1440 min, foram adequadamente obtidos pelo método de regressão múltipla proposto por Righeto (1998), de acordo com os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que variaram de 0,993 a 0,999, como podem ser observados na Tabela 6.

Os ajustes dos dados pluviométricos das diferentes localidades resultaram nas três formas de valores extremos, sendo que 32,5% das mesmas convergiram para a forma VEII, e 22,5% resultaram na forma do Tipo VEI, pois na prática valores compreendidos entre  $-0,03 < k < 0,03$  podem ser considerado como sendo a distribuição de Gumbel, segundo Queiroz & Chaudhry (2006), e por fim, 45% das localidades estudadas resultaram na forma do tipo VEIII.

**Tabela 2.** Valores dos parâmetros de ajustes da distribuição GEV

Localidade	Coordenadas Geográficas (Graus)		Nº de anos	Forma K	Escala $\alpha$	Posição u	Teste Z Wang*
	Latitude	Longitude					
Aguiar	-7,09330	-38,1733	74	-0,05	22,28	72,40	0,86
Belém B. do Cruz	-6,1864	-37,5356	65	-0,02	24,26	65,49	1,85
Boa Ventura	-7,4206	-38,2178	44	0,01	20,26	78,12	0,71
Bonito de Santa Fé	-7,3144	-38,5144	74	0,07	24,71	70,14	0,55
Brejo do Cruz	-6,3483	-37,4997	80	-0,16	21,15	58,65	1,77
Cachoeira dos Índios	-6,9297	-38,6781	38	-0,04	22,38	68,96	0,81
Cajazeiras	-6,8942	-38,5444	76	0,03	18,94	72,53	1,44
Catingueira	-7,1283	-37,6083	74	0,18	23,22	78,13	0,10
Catolé do Rocha	-6,3439	-37,7467	61	-0,13	24,74	66,70	0,12
Conceição	-7,5600	-38,5019	97	0,04	24,57	66,20	1,27
Condado	-6,9231	-37,5947	59	0,10	23,24	63,78	1,41
Coremas	-7,0250	-37,9428	67	0,004	20,91	75,80	1,70
Ibiara	-7,5064	-38,4072	47	0,18	30,27	77,16	1,24
Itaporanga	-7,3000	-38,1500	91	0,12	25,18	73,36	1,83
Jericó	-6,5500	-37,8000	37	0,20	22,20	72,92	0,18
Juru	-7,5478	-37,8067	47	0,12	20,00	70,84	0,03
Malta	-6,9033	-37,5197	77	-0,07	23,84	74,49	1,50
Manaíra	-7,7069	-38,1525	72	0,24	28,18	70,83	0,41
Nova Olinda	-7,4819	-38,0425	74	-0,10	24,39	78,48	0,02
Olho D'água	-7,2278	-37,7506	76	0,36	28,13	73,61	0,86
Passagem	-7,1364	-37,0475	47	0,05	21,41	67,33	0,42
Patos	-7,0008	-37,3131	76	-0,20	20,58	63,01	1,70
Piancó	-7,2150	-37,9258	100	0,02	22,53	69,28	1,38
Pombal	-6,7719	-37,8006	91	0,01	21,80	63,63	0,67
Princesa Isabel	-7,7331	-37,9944	97	-0,07	18,89	63,34	0,30
Santa Terezinha	-7,5061	-37,2702	47	0,03	20,11	71,13	1,72
São Francisco	-6,6178	-38,0947	38	0,36	20,55	70,73	0,43
São J. de Piranhas	-7,1156	-38,4967	70	-0,08	17,80	67,06	0,55
São Mamede	-6,9306	-37,1036	37	0,25	25,70	71,17	0,19
Sousa	-6,7694	-38,2194	81	-0,10	18,06	62,16	0,03
Uiraúna	-6,5231	-38,4092	36	0,48	20,52	66,29	1,48

\*Todos os ajuste da GEV foram aceitos com 5% de significância pelo teste de Wang (1998), em que o crítico é  $Z_{0,05} = 1,96$ . Fonte: Dados da pesquisa (2012)

**Tabela 3.** Quantis de chuva em mm, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 250, 500 e 1000 anos.

Localidade	2	5	10	20	30	50	100	250	500	1000
Aguiar	80,6	107,0	125,3	143,4	154,1	167,8	186,8	212,8	233,2	254,2
Belém B, do Cruz	74,4	102,5	121,5	140,0	150,8	164,4	183,0	208,0	227,3	246,8
Boa Ventura	85,5	108,2	123,0	137,2	145,2	155,2	168,6	186,0	199,1	212,0
Bonito de Santa Fé	79,0	104,9	121,0	135,6	143,7	153,4	166,0	181,6	192,7	203,3
Brejo do Cruz	66,6	94,5	115,9	139,0	153,6	173,2	202,3	246,0	283,4	325,2
Cachoeira dos Índios	77,2	103,5	121,7	139,5	150,0	163,4	182,0	207,2	227,0	247,1
Cajazeiras	79,4	100,3	113,8	126,5	133,7	142,6	154,3	169,4	180,6	191,6
Catingueira	86,4	108,6	120,9	131,3	136,6	142,8	150,2	158,6	164,0	168,9
Catolé do Rocha	76,0	107,7	131,2	156,1	171,5	191,9	221,7	265,1	301,5	341,2
Conceição	75,1	102,0	119,1	135,1	144,1	155,1	169,7	188,3	201,8	215,0
Condado	76,1	100,0	114,2	126,8	133,6	141,8	152,0	164,4	173,0	180,9
Coremas	83,4	107,0	122,6	137,5	146,0	156,7	171,0	190,0	204,0	218,2
Ibiara	87,9	117,0	133,3	147,0	154,1	162,3	172,2	183,5	191,0	197,5
Itaporanga	82,4	108,0	123,0	136,4	143,5	152,0	162,6	175,3	184,0	192,0
Jericó	80,8	101,6	113,0	122,5	127,4	132,9	139,5	146,8	151,5	155,6
Juru	78,0	98,2	110,2	120,6	126,2	132,9	141,2	151,1	157,8	164,0
Malta	83,3	112,1	132,5	153,0	165,2	181,1	203,4	234,4	259,1	285,0
Manaíra	80,7	106,2	119,6	130,3	135,7	141,7	148,6	156,2	160,9	164,8
Nova Olinda	87,6	118,0	140,1	163,1	177,0	195,4	221,7	259,3	290,1	323,2
Olho D'água	83,3	106,2	117,0	124,9	128,6	132,6	136,8	141,0	143,4	145,3
Passagem	75,1	98,3	113,0	126,5	134,1	143,4	155,6	171,0	182,2	193,0
Patos	70,8	99,2	121,9	147,4	163,8	186,4	221,0	274,8	322,8	378,2
Piarcó	77,5	102,5	118,7	133,9	142,6	153,3	167,6	186,0	199,7	213,1
Pombal	71,2	95,6	111,8	126,9	135,5	146,1	160,4	178,9	192,7	206,3
Princesa Isabel	70,3	93,3	109,6	126,1	136,0	148,8	166,9	192,1	212,4	233,7
Santa Terezinha	78,5	100,7	115,0	128,5	136,1	145,5	158,0	174,1	186,0	197,6
São Francisco	77,8	94,5	102,4	108,2	110,9	113,8	116,9	120,0	121,7	123,1
São J, de Piranhas	73,7	95,4	110,9	126,8	136,3	148,7	166,2	190,8	210,6	231,6
São Mamede	80,1	103,3	115,3	124,9	129,7	135,0	141,1	147,7	151,8	155,2
Sousa	68,9	91,6	108,2	125,4	136,0	149,8	169,8	198,5	222,2	247,7
Uiraúna	73,2	88,2	94,4	98,6	100,5	102,3	104,1	105,5	106,6	107,2

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

**Tabela 4.** Desagregação de quantis de chuva (mm) a partir dos coeficientes da DAEE – CETESB (1980), para os períodos de retorno em anos para a cidade de Pombal – PB.

Duração(min)	2	5	10	20	30	50	100	250	500	1000
5	11,6	15,6	18,2	20,6	22,0	23,8	26,1	29,1	31,4	33,6
10	18,5	24,8	28,9	32,8	35,0	37,8	41,5	46,2	49,8	53,3
15	24,0	32,1	37,5	42,5	45,4	49,0	53,7	60,0	64,5	69,1
20	27,8	37,2	43,4	49,2	52,5	56,7	62,2	69,4	74,7	80,0
25	31,2	41,8	48,7	55,3	59,0	63,7	69,9	77,9	83,9	89,9
30	25,4	34,0	39,6	45,0	48,0	51,8	56,8	63,4	68,3	73,1
60	34,3	45,9	53,5	60,7	64,9	70,0	76,8	85,6	92,3	98,8
360	58,7	78,7	91,8	104,2	111,2	120,0	131,6	146,8	158,1	169,3
480	63,7	85,3	99,4	112,8	120,5	130,0	142,6	159,0	171,3	183,5
600	66,9	89,7	104,5	118,6	126,6	136,6	150,0	167,2	180,1	192,9
720	69,4	93,0	108,4	123,0	131,3	141,6	155,4	173,3	186,7	200,0
1440	81,6	109,4	127,5	144,7	154,5	166,6	182,8	203,9	219,7	235,2

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

**Tabela 5.** Valores de intensidade de chuva (mm/h) a partir dos coeficientes da DAEE – CETESB (1980), para os períodos de retorno em anos para a cidade de Pombal – PB.

Duração(min)	2	5	10	20	30	50	100	250	500	1000
5	139,2	187,2	218,4	247,2	264	285,6	313,2	349,2	376,8	403,2
10	111	148,8	173,4	196,8	210	226,8	249	277,2	298,8	319,8
15	96	128,4	150	170	181,6	196	214,8	240	258	276,4
20	83,4	111,6	130,2	147,6	157,5	170,1	186,6	208,2	224,1	240
25	74,88	100,3	116,8	132,7	141,6	152,9	167,7	186,9	201,3	215,7
30	50,8	68	79,2	90	96	103,6	113,6	126,8	136,6	146,2
60	34,3	45,9	53,5	60,7	64,9	70,0	76,8	85,6	92,3	98,8
360	9,78	13,11	15,3	17,4	18,53	20	21,93	24,5	26,35	28,21
480	7,96	10,66	12,42	14,1	15,06	16,25	17,8	19,9	21,41	22,9
600	6,69	8,97	10,45	11,86	12,66	13,66	15	16,72	18,01	19,29
720	5,78	7,75	9,03	10,25	10,94	11,8	12,95	14,44	15,55	16,66
1440	3,4	4,55	5,31	6,02	6,43	6,94	7,61	8,5	9,15	9,8

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

**Tabela 6.** Equação de chuva para algumas cidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas

Município	Equação	R <sup>2</sup>
Aguiar/PB	$i = \frac{1145,9 * T_r^{0,126}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9970
Belém do Brejo do Cruz/PB	$i = \frac{733,4 * T_r^{0,255}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9996
Boa Ventura/PB	$i = \frac{1084,1 * T_r^{0,173}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9983
Bonito de Santa Fé/PB	$i = \frac{971,7 * T_r^{0,155}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9981
Brejo do Cruz/PB	$i = \frac{1011,7 * T_r^{0,167}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9960
Cachoeira dos Índios/PB	$i = \frac{1021,5 * T_r^{0,105}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9970
Cajazeiras/PB	$i = \frac{738,8 * T_r^{0,268}}{(t + 13,08)^{0,772}}$	0.9999
Catingueira/PB	$i = \frac{875,2 * T_r^{0,175}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9993
Catolé do Rocha/PB	$i = \frac{889,6 * T_r^{0,181}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9983
Conceição/PB	$i = \frac{1029,9 * T_r^{0,073}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9952
Condado/PB	$i = \frac{1086,5 * T_r^{0,171}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9976
Coremas/PB	$i = \frac{1068,8 * T_r^{0,133}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9980
Ibiara/PB	$i = \frac{1224,1 * T_r^{0,065}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9938
Itaporanga/PB	$i = \frac{1180,2 * T_r^{0,151}}{(t + 13,08)^{0,772}}$	0.9981
Jericó/PB	$i = \frac{822,2 * T_r^{0,110}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9992

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

**Cont. da tabela 6** – Equação de chuva para algumas cidades da bacia hidrográfica do rio Piranhas

<b>Município</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Juru/PB	$i = \frac{1068,9 * T_r^{0,05}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9960
Malta/PB	$i = \frac{1216,1 * T_r^{0,102}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9956
Manaíra/PB	$i = \frac{1088,7 * T_r^{0,138}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9959
Nova Olinda/PB	$i = \frac{1143,5 * T_r^{0,07}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9961
Olho D'água/PB	$i = \frac{1100,5 * T_r^{0,111}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9981
Passagem/PB	$i = \frac{1009,2 * T_r^{0,100}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9957
Patos/PB	$i = \frac{631,7 * T_r^{0,407}}{(t + 13,08)^{0,772}}$	0.9995
Piancó/PB	$i = \frac{988,97 * T_r^{0,138}}{(t + 13,08)^{0,772}}$	0.9968
Pombal/PB	$i = \frac{887,17 * T_r^{0,160}}{(t + 13,08)^{0,772}}$	0.9977
Princesa Isabel/PB	$i = \frac{886,6 * T_r^{0,114}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9962
Santa Terezinha/PB	$i = \frac{980,6 * T_r^{0,128}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9973
São Francisco/PB	$i = \frac{1008,6 * T_r^{0,057}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9961
São José de Piranhas/PB	$i = \frac{873,8 * T_r^{0,165}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9986
São Mamede/PB	$i = \frac{1071,1 * T_r^{0,083}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9947
Sousa/PB	$i = \frac{901,09 * T_r^{0,145}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9963
Uiraúna/PB	$i = \frac{951,7 * T_r^{0,045}}{(t + 13,0802)^{0,772}}$	0.9961

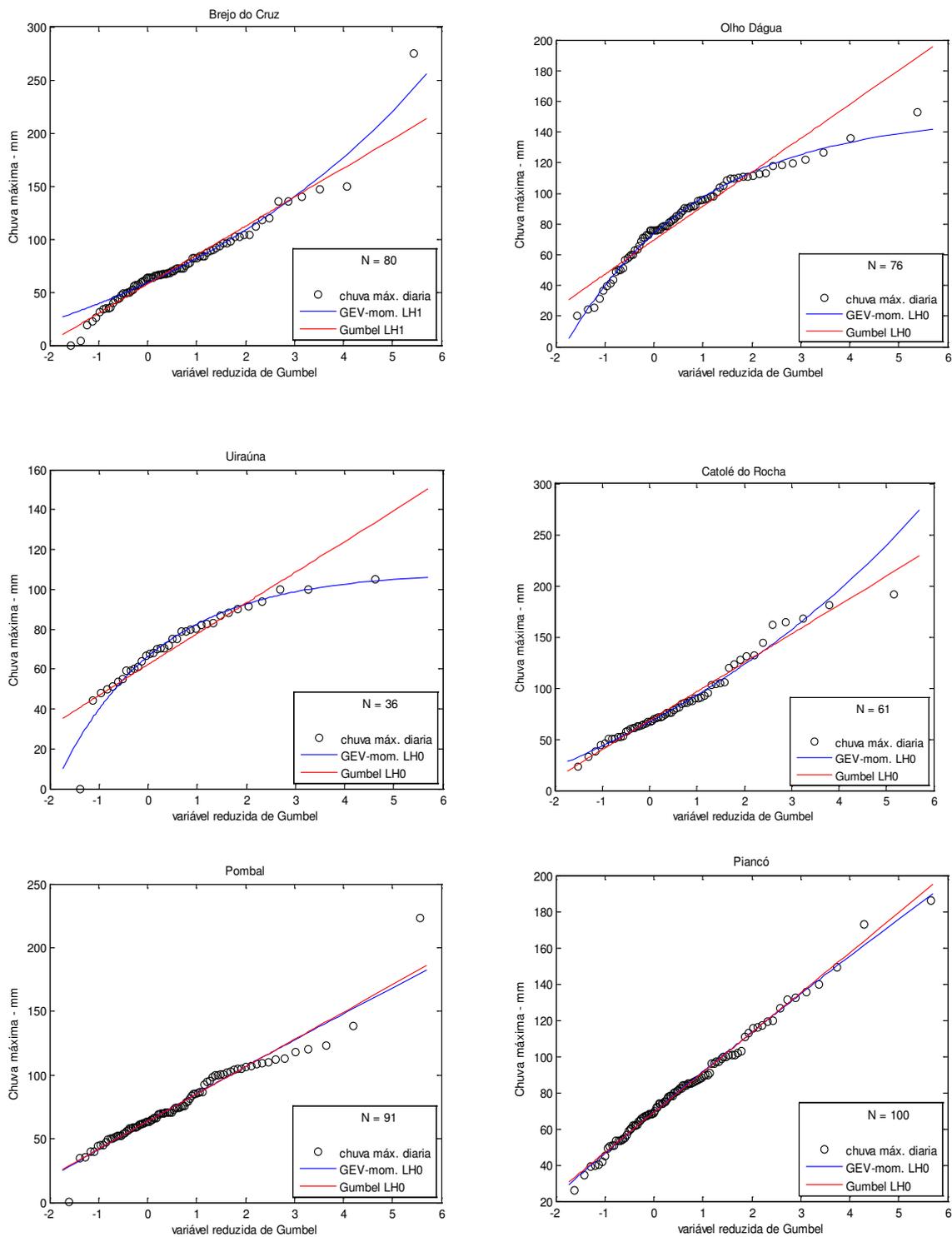
Fonte: Dados da pesquisa (2012)

Para uma melhor visualização dos ajustes da distribuição GEV as séries de extremos anuais de chuvas diárias, foram construídas os gráficos de algumas das 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 3, para algumas das localidades consideradas, e para o intervalo de durações de 5 a 1440 minutos.

Observando os gráficos da Figura 3 verifica-se que a intensidade de chuvas atinge valores entre 200 e 300mm/h, para as diversas localidades, 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 os demais municípios 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.

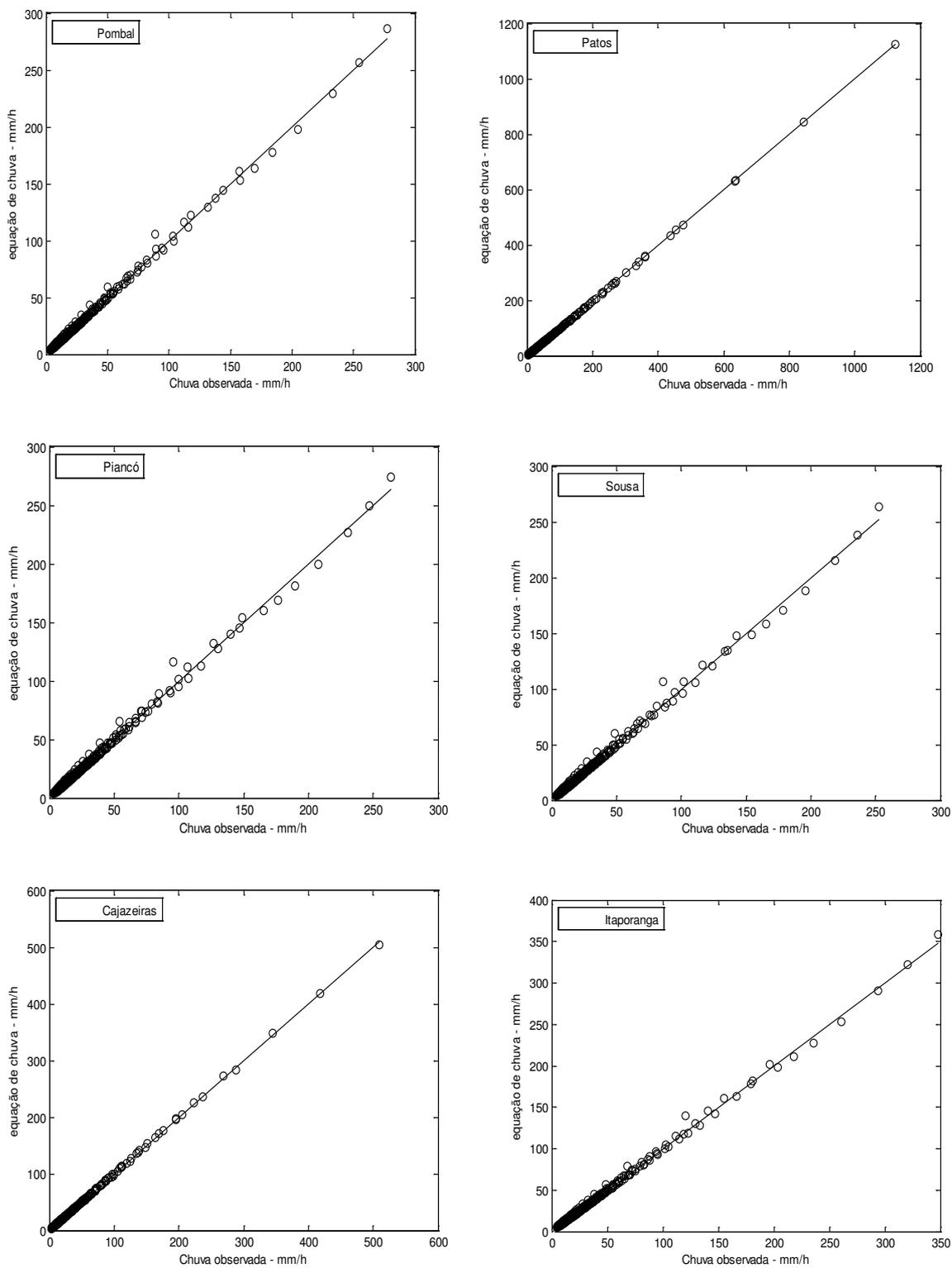
As equações de chuvas, para os municípios estudados, apresentam os parâmetros  $t_0$  e  $n$ , com os mesmos valores. Isto decorre da semelhança do regime pluviométrico das localidades e do fato de se usar os mesmos coeficientes de desagregação para as diferentes localidades, não se referindo a valores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

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



Fonte: Dados da pesquisa (2012)

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



Fonte: Dados da pesquisa (2012)

## 6. CONCLUSÃO

As séries de chuva máxima diária anual das localidades foram adequadamente ajustadas através da distribuição GEV, com o nível de significância de 5% pelo teste de wang;

As séries sintéticas, obtidas pelo processo de desagregação de chuvas diárias utilizando os coeficientes da CETESB, resultaram em equação de chuvas com ótimos ajustes com  $R^2$  variando de 0,993 a 0,999 como mostra a tabela3.

As equações de chuvas obtidas descrevem adequadamente o comportamento das séries sintéticas de chuvas de cada localidade, para período de retorno variando de 2 a 1000 anos de recorrência, ampliando o seu emprego para o direcionamento de obras hidráulicas dentro da referida faixa de recorrência.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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

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

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. **Análise de chuvas intensas a partir da desagregação de chuvas diárias para Santa Catarina - etapa i - Lages e Campos Novos**. Faculdade de Agronomia – CAV – UDESC - Lages – SC, 1996.

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, **“Drenagem Urbana: manual de projeto”** 3ª ed. São Paulo: 1986. 464p.

CLARKE, R. T.; SILVA, B. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, p. 265-272, 2004.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. modelos de distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.

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

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1976. 249p.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C.; Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudos Existentes e Análise Comparativa: RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v.5, p. 45-58, 2000.

HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Precipitação in Hidrologia Básica**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 1976. p. 7-34.

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

KESSLER, J. Critérios de drenaje agrícola. In: International Institute For Land Reclamation and Improvement. Principios y aplicaciones del drenaje. **Wageningen**: v.3, p.16-57. Publication, 16, 1978.

McCUEN, R. H. "**Hydrological Analysis and Design**", Prentice Hall, 1989. 867p.

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.

MOLIN, L., DEVILLA, I., GOULART, J. P., MAESTRINI A. P. Distribuição temporal de chuvas intensas em Pelotas - RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre – RS, v. 1, n. 2, p. 43-51, 1996.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. "Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.620-625, 2008.

PARK, J. S.; JUNG, H. S. Modeling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate. **Theoretical and Applied Climatology**. v.72, p. 55-64. 2002.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS, Rio de Janeiro: edição de 1982, (1957). 419p.

QUEIROZ, M. M. F. de; CHAUDHRY, F. H. "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. 2006.

REYES, M. R.; BENGTON, R. L.; ROBBINS, K. D. Rip and Wmrip. New measures of rainfall intensity distribution. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.6, p.1619-1623, 1993.

RIGHETTO, A. M. "**Hidrologia e Recursos Hídricos**". 1ª ed. São Carlos: EESC USP Projeto Reenge, 1998. 199p.

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.

SOUZA, J. A. Estudo das Chuvas Intensas nas Zonas Rural e Urbana de João Pessoa. **Dissertação de mestrado**. Escola Politécnica da UFPB, Campina Grande-PB. 1972.

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

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. “**Hidrologia aplicada**”. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP. 1975. 245p.

WANG, Q. J. LH moments for statistical analysis of extreme events. **Water Resources Researchs**. Washington v.33, n.12, p.2841-2848. 1997.

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

WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 487p. 1978. In: FREITAS, A. J.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A.; PEREIRA, S. B.; GOMES, R. R. F.; TEIXEIRA, A. F.; BAENA, L. G. N.; MELLO, L. T. A.; NOVAES, L. F. **Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais**. Univesidade Federal de Viçosa e COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. 2001.