

# EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA SÃO LUÍS - MA

*Jeferson da Costa<sup>1</sup>; Jonair Mongin<sup>2</sup> & Antônio José de Brito<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- Este trabalho tem como objetivo primordial a obtenção de equações de chuvas intensas para a cidade de São Luís, no Estado do Maranhão, a partir da análise de registros pluviométricos verificados em cinco estações, sendo duas estações com dados diários e três estações com dados diários e horários. Em virtude dos dados horários disponibilizados estarem incompletos e com falhas, foi elaborada somente uma série histórica, com totais diários precipitados, abrangendo um período de 75 anos. O cálculo de chuvas de um dia em distintos tempos de recorrência foi realizado pelo método estatístico da distribuição da probabilidade da série natural, associada a distribuição probabilística teórica de Gumbel e Log-Pearson III. Para efeito de comparação da coerência dos dados calculados com a série selecionada, foram avaliados outros trabalhos já desenvolvidos, indicando um comportamento que merece investigações mais detalhadas.

**ABSTRACT** --- This paper has the main objective of obtaining intensity-duration-frequency rainfall relationships, for the Sao Luis city, Maranhao State, from data of rainfall intensity collected from five local recording rain gauges. The hour data was incomplete and with problems, so it was created 75 years of total daily maximum rainfall rates. The daily rainfall was calculated in different return periods, by the probability distribution statistic model with theory probabilistic distribution of Guambel and Log-Pearson III. The results were compared with others papers and indicate that the behavior has to be examine with more detail.

**Palavras-chave:** Equação de Chuvas, Chuvas Intensas.

---

1) Engenheiro Civil da Cooperativa Coopersane e Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pelo PTARH/UnB. QI 07, Bl. "S" Apt. 204, Guará I / DF, Brasil, 71.020-196. Tel.: 55-61-30374447. E-mail: jefcosta@gmail.com.

2) Engenheiro Civil da Cooperativa Coopersane e Mestre em Hidrologia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

3) Engenheiro Civil da Cooperativa Coopersane e Consultor em Saneamento Ambiental.

# 1 - INTRODUÇÃO

A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema de uma chuva, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. Esta precipitação intensa pode atuar de forma nefasta, provocando a erosão dos solos, assoreamento de reservatórios e estuários, inundações em áreas rurais e populações urbanas, acarretando devastadoras consequências que muito bem se conhece.

Correlacionando-se intensidades ou altura de precipitação com a duração, verifica-se que quanto mais intensa for uma precipitação menor será sua duração. A relação cronológica das maiores precipitações para cada duração pode ser obtida de uma série de registros pluviográficos de tormentas intensas.

A disponibilidade de longas séries de precipitação é em geral muito mais freqüente do que as de descargas líquidas. Desta forma, o estudo das chuvas intensas é um dos procedimentos metodológicos clássicos adotados em hidrologia para se conhecer a magnitude das cheias de projeto de uma bacia em um dado local de interesse.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal a obtenção de equações de chuvas intensas para a cidade de São Luís, no Estado do Maranhão, a partir da análise de registros pluviométricos verificados em cinco estações, sendo duas estações com dados diários e três estações com dados diários e horários. Em virtude dos dados horários disponibilizados estarem incompletos e com falhas, foi elaborada somente uma série histórica, com totais diários precipitados, abrangendo um período de 75 anos.

O cálculo de chuvas de um dia em distintos tempos de recorrência foi realizado pelo método estatístico da distribuição da probabilidade da série natural, associada à distribuição probabilística teórica de Gumbel e Log-Pearson III. Para efeito de comparação da coerência dos dados calculados com a série selecionada, foram avaliados outros trabalhos já desenvolvidos.

## 2 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Segundo relatou Back (2006), há diversos modelos de probabilidade empregados para a análise de chuvas extremas, sendo mais utilizados: a distribuição Log-Normal com dois parâmetros; a distribuição Log-Normal com três parâmetros; a distribuição Pearson tipo III; a distribuição Log-Pearson tipo III; a distribuição de extremos tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel (Kite, 1978). Chow (1964) apresentou um método de estimativa dos parâmetros da distribuição de Gumbel em função do tamanho da amostra e a distribuição, assim ajustada, é chamada de Gumbel-Chow.

A distribuição de Gumbel tem tido grande aplicação para o estudo de eventos extremos e é utilizada de forma generalizada nos trabalhos de chuvas intensas. Cruciani (1980) afirma que a distribuição de Gumbel é a mais apropriada para essas análises. Eltz *et al.* (1992) analisaram séries de chuvas máximas diárias de Santa Maria, com duração variando de dez minutos a 48 horas, por meio das distribuições Log-Normal com 2 parâmetros, Log-Normal com três parâmetros, extremos tipo I e II, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. Os autores concluíram que a distribuição de Gumbel foi a única capaz de apresentar resultados satisfatórios. Pinto (1995) ajustou as distribuições Gumbel, Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III para dados de vinte e nove estações pluviográficas do estado de Minas Gerais, com duração entre 5 minutos a 1440 minutos. Utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov concluiu que as distribuições de Gumbel e Log-Normal a dois parâmetros foram as que melhor se ajustaram aos dados observados. Aron *et al.* (1987) estimaram alturas de chuva com duração de 1 a 24 horas e período de retorno de 1 a 100 anos em regiões da Pensilvânia (EUA), a partir de séries parciais por meio da distribuição Log-Pearson tipo III. Osborn *et al.* (1980) submeteram séries de valores máximos anuais de chuva às distribuições de Gumbel, Log-Normal, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III e observaram que a distribuição que melhor se ajustou aos dados de cada série disponível foi a distribuição de Gumbel. Com base nesses trabalhos muitos autores utilizam a distribuição de Gumbel em seus estudos assumindo a hipótese que os dados amostrais seguem a distribuição de Gumbel, sem testar essa hipótese ou procurar outra distribuição que poderia proporcionar um ajuste melhor.

O estudo de Back (2001), a partir de dados de chuvas máximas diárias de cem estações pluviométricas de Santa Catarina, verificou que a distribuição de Gumbel-Chow apresentou o melhor ajuste aos dados observados em 60 % das estações, e em 93 % das estações com menos de vinte anos de dados.

Conforme explicitou Sevruk e Geiger (1981), a definição da melhor distribuição de probabilidade pode ser feita com base empírica, usando técnicas visuais subjetivas ou testes estatísticos mais objetivos. O resultado dos testes depende, em parte, dos parâmetros do modelo e da posição de plotagem usada, observando-se que há controvérsias na utilização desses dados. Além disso, o teste pode mostrar que mais de uma distribuição é adequada.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Coleta dos Dados Pluviométricos Básicos

Inicialmente, foram identificadas as estações pluviométricas no local de interesse, detentoras de séries históricas de dados pluviográficos e pluviométricos horários e diários. Assim, foram verificadas as estações constantes do Quadro 1.

Quadro 1 – Estações Pluviométricas Existentes em São Luís.

| Código   | Nome da Estação              | Entidade Operadora                       | Latitude  | Longitude | Data de Instalação |
|----------|------------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|
| 00244006 | São Luis 82280               | Instituto Nacional de Meteorologia-INMET | -02 32 00 | -44 18 00 | 03/1910            |
| 00244007 | São Luis                     | SUDENE                                   | -02 32 00 | -44 18 00 | 11/1910 a 07/1976  |
| 00244008 | São Luis                     | SUDENE                                   | -02 32 00 | -44 18 00 | 12/1969            |
| 00244009 | São Luis (Tirirical SBSL)    | DEPV                                     | -02 25 00 | -44 14 00 | 11/1946            |
|          | Praia do Boqueirão –São Luís | CVRD                                     | -02 33 22 | -44 21 32 | 06/1985            |
|          | UEMA-PCD                     | UEMA                                     | -02 35    | -44 12    | 09/2002            |

Estas seis estações operam em locais próximo uma das outras, como pode ser observado pelas coordenadas geográficas do Quadro 01. As estações do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e da extinta Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE apresentam as mesmas coordenadas, concluindo que elas estão instaladas bem próximas uma da outra. As duas estações da extinta SUDENE, na realidade, é uma só operando em períodos distintos. O INMET e a extinta SUDENE operaram praticamente a mesma estação e dispõem de duas séries idênticas de precipitações pluviométricas diárias.

Excetuando a estação da Diretoria Eletrônica de Proteção ao Vôo do Ministério da Aeronáutica - DEPV, conseguiram-se séries de dados das demais outras cinco estações. Nas estações do INMET e SUDENE, conseguiram-se séries de dados diários. As estações da Companhia Vale do Rio Doce - CVRD e da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA representam séries de dados diários e horários.

#### 3.2 – Estabelecimento das Séries Anuais

Os dados coletados apresentaram uma vasta série de dados diários e uma pequena série de dados horários. Assim, o critério adotado para o estabelecimento das séries históricas foi o valor anual, que consiste em identificar as séries de intensidades de precipitações com as máximas

observadas em cada ano, desprezando-se os demais valores, mesmo que esses sejam superiores às máximas dos demais anos. Dessa forma, foi possível construir uma série confiável com 75 anos de dados de precipitações máximas diárias anual.

Descrevem-se, a seguir, para cada estação, os procedimentos utilizados na seleção da série confiável com 75 anos de dados, utilizada como série básica para este estudo.

### **ESTAÇÃO DO INMET**

Esta estação dispõe de uma série de dados de chuvas diárias com início em 01/06/1910 e término em 01/12/1998.

### **ESTAÇÃO DA SUDENE**

Esta estação iniciou sua operação no mesmo período que a do INMET. Ela dispõe de uma série de dados de chuvas diárias com início em 01/05/1910 e término em 01/12/1988.

### **ESTAÇÃO DA CVRD**

Esta estação iniciou sua operação oficialmente em 06/1985. Todavia somente passou a disponibilizar os dados de chuvas diárias a partir de 01/1997.

Esta estação dispõe ainda de arquivos de séries pluviográficas, com registros horários correspondente ao período 2001 a 2005, porém com diversas falhas, as quais justificaram a sua exclusão para o presente estudo.

### **ESTAÇÃO DA UEMA**

Esta estação pluviográfica foi instalada em 09/2002. Os dados do ano 2002 não apresentaram confiança, em virtude de sua pequena significância.

Para o ano de 2003 foram observados os seguintes valores e datas: janeiro com 73,5 mm, fevereiro com 92,25 mm ocorrida no dia 02 e 179,5 mm, valor pouco confiável, ocorrido no dia 14. A experiência indica que houve uma falha no equipamento que acumulou registros anteriores. Esse valor não foi considerado. Em março com 133,0 mm, sendo um valor aceitável ocorrido em 03/12. Os dados para o ano de 2004 não se apresentaram confiáveis, pois em janeiro o valor foi de 3,5mm, em fevereiro de 27,5 mm, em março com 0,0mm e abril com 71,5 mm. Os anos de 2005 e 2006 não apresentaram valores confiáveis.

### **ESTAÇÃO DA NEMRH**

Foi disponibilizada uma série de 13 anos de chuvas diárias, sendo utilizado o ano de 2000 para integrar a série confiável.

O Quadro 2, a seguir, apresenta a série de precipitações pluviométricas máximas diária anual definida para o presente estudo.

Quadro 2 – Série de Precipitações Pluviométricas Máximas Diária Anual.

| <b>Ordem</b> | <b>Ano</b> | <b>INMET<br/>(mm)<br/>244006</b> | <b>SUDENE<br/>(mm)<br/>244007</b> | <b>CVRD<br/>P<br/>(mm)</b> | <b>CVRD<br/>PR<br/>(mm)</b> | <b>UEMA<br/>I Pr<br/>(mm)</b> | <b>UEMA<br/>II<br/>Pr(mm)</b> | <b>NEMRH<br/>P(mm)</b> | <b>Série<br/>Adotada<br/>(mm)</b> |
|--------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1            | 1910       | 107,5                            | 102,5                             |                            |                             |                               |                               |                        | 102,5                             |
|              | 1911       |                                  |                                   |                            |                             |                               |                               |                        |                                   |
| 2            | 1912       | 70,0                             | 73,6                              |                            |                             |                               |                               |                        | 73,6                              |
| 3            | 1913       | 65,5                             | 65,5                              |                            |                             |                               |                               |                        | 65,5                              |
| 4            | 1914       | 88,2                             | 88,2                              |                            |                             |                               |                               |                        | 88,2                              |
| 5            | 1915       | 72,0                             | 72,0                              |                            |                             |                               |                               |                        | 72,0                              |
| 6            | 1916       | 91,6                             | 91,6                              |                            |                             |                               |                               |                        | 91,6                              |
| 7            | 1917       | 106,2                            | 106,2                             |                            |                             |                               |                               |                        | 106,2                             |
| 8            | 1918       | 128,6                            | 128,6                             |                            |                             |                               |                               |                        | 128,6                             |
| 9            | 1919       | 90,4                             | 90,4                              |                            |                             |                               |                               |                        | 90,4                              |
| 10           | 1920       | 110,6                            | 110,6                             |                            |                             |                               |                               |                        | 110,6                             |
| 11           | 1921       | 105,1                            | 105,1                             |                            |                             |                               |                               |                        | 105,1                             |
| 12           | 1922       | 73,4                             | 73,4                              |                            |                             |                               |                               |                        | 73,4                              |
| 13           | 1923       | 92,1                             | 92,1                              |                            |                             |                               |                               |                        | 100,4                             |
| 14           | 1924       | 100,4                            | 100,4                             |                            |                             |                               |                               |                        | 100,4                             |
| 15           | 1925       | 73,4                             | 73,4                              |                            |                             |                               |                               |                        | 73,4                              |
| 16           | 1926       | 128,2                            | 128,2                             |                            |                             |                               |                               |                        | 128,2                             |
| 17           | 1927       | 87,5                             | 87,5                              |                            |                             |                               |                               |                        | 87,5                              |
| 18           | 1928       | 99,0                             | 99,0                              |                            |                             |                               |                               |                        | 99,0                              |
| 19           | 1929       | 100,0                            | 99,9                              |                            |                             |                               |                               |                        | 99,9                              |
| 20           | 1930       | 98,4                             | 94,4                              |                            |                             |                               |                               |                        | 94,4                              |
| 21           | 1931       | 102,8                            | 102,8                             |                            |                             |                               |                               |                        | 102,8                             |
| 22           | 1932       | 81,0                             | 81,0                              |                            |                             |                               |                               |                        | 81,0                              |
| 23           | 1933       | 79,3                             | 79,3                              |                            |                             |                               |                               |                        | 79,3                              |
| 24           | 1934       | 116,0                            | 116,0                             |                            |                             |                               |                               |                        | 116,0                             |
| 25           | 1935       | 69,6                             | 114,2                             |                            |                             |                               |                               |                        | 114,2                             |
| 26           | 1936       | 70,6                             | 70,6                              |                            |                             |                               |                               |                        | 70,6                              |
| 27           | 1937       | 122,2                            | 122,2                             |                            |                             |                               |                               |                        | 122,2                             |
| 28           | 1938       | 90,2                             | 92,2                              |                            |                             |                               |                               |                        | 92,2                              |
| 29           | 1939       | 98,8                             | 98,8                              |                            |                             |                               |                               |                        | 98,8                              |
| 30           | 1940       | 125,0                            | 125,0                             |                            |                             |                               |                               |                        | 125,0                             |
| 31           | 1941       | 142,1                            | 142,1                             |                            |                             |                               |                               |                        | 142,1                             |
| 32           | 1942       | 72,3                             | 72,3                              |                            |                             |                               |                               |                        | 72,3                              |
| 33           | 1943       | 87,0                             | 87,0                              |                            |                             |                               |                               |                        | 87,0                              |
| 34           | 1944       | 82,4                             | 82,4                              |                            |                             |                               |                               |                        | 82,4                              |

Quadro 2 – Série de Precipitações Pluviométricas Máximas Diária Anual (Continuação 1).

| Ordem | Ano  | INMET<br>(Pmm)<br>244006 | SUDENE<br>(Pmm)<br>244007 | CVRD<br>P<br>(mm) | CVRD<br>PR<br>(mm) | UEMA<br>I Pr<br>(mm) | UEMA<br>II<br>Pr(mm) | NEMRH<br>P(mm) | Série<br>Adotada<br>(mm) |
|-------|------|--------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------------------|
|       | 1945 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1946 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1947 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1948 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1949 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1950 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1951 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1952 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1953 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1954 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1955 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1956 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1957 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1958 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1959 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1960 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1961 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
| 35    | 1962 | 102,5                    |                           |                   |                    |                      |                      |                | 102,5                    |
|       | 1963 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1964 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
|       | 1965 |                          |                           |                   |                    |                      |                      |                |                          |
| 36    | 1966 |                          | 84,0                      |                   |                    |                      |                      |                | 84,0                     |
| 37    | 1967 |                          | 60,5                      |                   |                    |                      |                      |                | 60,5                     |
| 38    | 1968 |                          | 70,5                      |                   |                    |                      |                      |                | 70,5                     |
| 39    | 1969 |                          | 110,2                     |                   |                    |                      |                      |                | 110,2                    |
| 40    | 1970 |                          | 108,0                     |                   |                    |                      |                      |                | 108,0                    |
| 41    | 1971 | 103,6                    | 78,2                      |                   |                    |                      |                      |                | 78,2                     |
| 42    | 1972 | 61,5                     | 85,6                      |                   |                    |                      |                      |                | 85,6                     |
| 43    | 1973 | 49,5                     | 97,4                      |                   |                    |                      |                      |                | 97,4                     |
| 44    | 1974 | 177,2                    | 165,0                     |                   |                    |                      |                      |                | 165,0                    |
| 45    | 1975 | 78,3                     | 118,8                     |                   |                    |                      |                      |                | 118,8                    |
| 46    | 1976 | 130,5                    | 104,6                     |                   |                    |                      |                      |                | 104,6                    |
| 47    | 1977 | 103,4                    | 103,4                     |                   |                    |                      |                      |                | 103,4                    |
| 48    | 1978 | 85,9                     | 85,9                      |                   |                    |                      |                      |                | 85,9                     |
| 49    | 1979 | 129,5                    | 129,5                     |                   |                    |                      |                      |                | 129,5                    |
| 50    | 1980 | 90,4                     | 99,2                      |                   |                    |                      |                      |                | 99,2                     |

Quadro 2 – Série de Precipitações Pluviométricas Máximas Diária Anual (Continuação 2).

| Ordem | Ano  | INMET<br>(Pmm)<br>244006 | SUDENE<br>(Pmm)<br>244007 | CVRD<br>P<br>(mm) | CVRD<br>Pr(mm) | UEMA<br>I Pr<br>(mm) | UEMA II<br>Pr(mm)  | NEMRH<br>P(mm) | Série<br>Adotada<br>(mm) |
|-------|------|--------------------------|---------------------------|-------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------------|--------------------------|
| 51    | 1981 | 126,5                    | 126,5                     |                   |                |                      |                    |                | 126,5                    |
| 52    | 1982 | 79,0                     | 79,0                      |                   |                |                      |                    |                | 79,0                     |
| 53    | 1983 | 120,0                    | 120,0                     |                   |                |                      |                    |                | 120,0                    |
| 54    | 1984 | 155,2                    | 155,2                     |                   |                |                      |                    |                | 155,2                    |
| 55    | 1985 | 161,4                    | 161,4                     |                   |                |                      |                    |                | 161,4                    |
| 56    | 1986 | 108,9                    | 108,9                     |                   |                |                      |                    |                | 108,9                    |
| 57    | 1987 | 122,2                    | 122,2                     |                   |                |                      |                    |                | 122,2                    |
| 58    | 1988 | 109,7                    | 109,7                     |                   |                |                      |                    |                | 109,7                    |
| 59    | 1989 | 130,3                    |                           |                   |                |                      |                    |                | 130,3                    |
| 60    | 1990 | 149,8                    |                           |                   |                |                      |                    |                | 149,8                    |
| 61    | 1991 | 152,5                    |                           |                   |                |                      |                    |                | 152,5                    |
| 62    | 1992 | 126,5                    |                           |                   |                |                      |                    | 95,3           | 126,5                    |
| 63    | 1993 | 120,8                    |                           |                   |                |                      |                    | 89,2           | 120,8                    |
| 64    | 1994 | 134,4                    |                           |                   |                |                      |                    | 125,6          | 134,4                    |
| 65    | 1995 | 91,5                     |                           |                   |                |                      |                    | 99,3           | 91,5                     |
| 66    | 1996 | 124,3                    |                           |                   |                |                      |                    | 74,3           | 124,3                    |
| 67    | 1997 | 71,3                     |                           | 111,0             |                |                      |                    | 89,9           | 111,0                    |
| 68    | 1998 | 80,3                     |                           | 190,0             |                |                      |                    | 34,2           | 190,0                    |
| 69    | 1999 |                          |                           | 74,0              |                |                      |                    | 72,1           | 74,0                     |
| 70    | 2000 |                          |                           |                   |                |                      |                    | 108,5          | 108,5                    |
| 71    | 2001 |                          |                           | 154,0             | 56,1           |                      |                    | 103,9          | 154,0                    |
|       | 2002 |                          |                           | 71,5              | 71,5           |                      | não<br>aproveitada | 70,0           |                          |
| 72    | 2003 |                          |                           | 68,5              | 64,0           | 133,0                | 92,5               | 92,3           | 133,0                    |
| 73    | 2004 |                          |                           |                   |                | 71,5                 | 82,5               |                | 82,5                     |
| 74    | 2005 |                          |                           |                   |                |                      | 90,5               |                | 90,5                     |
| 75    | 2006 |                          |                           |                   |                |                      | 78,5               |                | 78,5                     |

### 3.3 – Análise Estatística das Intensidades de Precipitações na Distribuição de Probabilidade de Gumbel e Log Pearson Tipo III

O cálculo das chuvas de um dia nos tempos de recorrência de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, denominada chuvas de projeto, foi feito pelo método estatístico da distribuição de probabilidade da série natural, associada a distribuição probabilística teórica de Gumbel e Log Pearson Tipo III. Assim, ordenou-se a série confiável de chuvas máximas diárias anuais em ordem decrescente. Dessa forma, calculou-se a probabilidade (P) de cada evento ser igualado ou ultrapassado segundo o método de Kimbal.

A formulação das equações da distribuição probabilística utilizada é apresentada a seguir.

#### 3.3.1 Equação de Probabilidade de o Evento Extremo ser Igualado ou Superado

$$P = \frac{(2n-1)}{2m} \cdot 100 \quad (01)$$

Em que: P (adimensional); n (ordem); m (número total de eventos).

### 3.3.2 Equação de Cálculo do Tempo de Recorrência

$$Tr = \frac{1}{P} \cdot 100 \quad (02)$$

Em que: Tr (anos); P (adimensional); m (número total de eventos).

### 3.3.3 Equação da Chuva de Projeto

$$Htr = Hmd + \sigma K \quad (03)$$

Em que: Htr (anos); Hmd (mm);  $\sigma$  (mm); K (adimensional).

### 3.3.4 Equação de Função Densidade de Probabilidade

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)_0}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (04)$$

Em que: f,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $x_0$  e  $\Gamma$  (adimensional).

### 3.3.5 Equação da Função $\gamma$

$$f_x(x) = \frac{1}{[\beta]x\Gamma(\alpha)} \left( \frac{\log x - \xi}{\beta} \right) e^{\left( -\frac{\log x - \xi}{\beta} \right)} \quad (05)$$

Em que: Para  $\alpha > 0 \Rightarrow -\infty < \beta < 1$ ;  $x \geq e^\xi$  para  $\beta > 0$

### 3.3.6 Equação da Função Cumulativa de Probabilidade

$$f_x(x) = \int_{e^\xi}^x f(u) du \quad (06)$$

### 3.3.7 Equação da Função Cumulativa de Probabilidade

$$Y = \frac{\log X - \xi}{\beta} \quad (07)$$

### 3.3.8 Equação da Função Cumulativa de Probabilidade

$$f_y(y) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} e^{-y} \quad (08)$$

### 3.3.9 Equação da Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Gama

$$f_x(x) = \int_{e^s}^x f(u) du \quad (09)$$

A aplicação dos dados pluviométricos selecionados às equações anteriores resultaram nos valores constantes do Quadro 3, sendo o resumo do processamento estatístico da série adotada.

Quadro 3 – Tratamento Estatístico da Série de Precipitações Pluviométricas Máximas – 1910 a 2006.

| Ordem | Ano  | S.<br>Adotada<br>(mm) | S.<br>Ordenada<br>(mm) | LogP<br>(mm) | Probabilidade | Tr(Anos) |
|-------|------|-----------------------|------------------------|--------------|---------------|----------|
| 1     | 1910 | 102,5                 | 190,0                  | 2,27875      | 0,7           | 150,00   |
| 2     | 1912 | 73,6                  | 165,0                  | 2,21748      | 2,0           | 50,00    |
| 3     | 1913 | 65,5                  | 161,4                  | 2,20790      | 3,3           | 30,00    |
| 4     | 1914 | 88,2                  | 155,2                  | 2,19089      | 4,7           | 21,43    |
| 5     | 1915 | 72,0                  | 154,0                  | 2,18752      | 6,0           | 16,67    |
| 6     | 1916 | 91,6                  | 152,5                  | 2,18327      | 7,3           | 13,64    |
| 7     | 1917 | 106,2                 | 149,8                  | 2,17551      | 8,7           | 11,54    |
| 8     | 1918 | 128,6                 | 142,1                  | 2,15259      | 10,0          | 10,00    |
| 9     | 1919 | 90,4                  | 134,4                  | 2,12840      | 11,3          | 8,82     |
| 10    | 1920 | 110,6                 | 133,0                  | 2,12385      | 12,7          | 7,89     |
| 11    | 1921 | 105,1                 | 130,3                  | 2,11494      | 14,0          | 7,14     |
| 12    | 1922 | 73,4                  | 129,5                  | 2,11227      | 15,3          | 6,52     |
| 13    | 1923 | 92,1                  | 128,6                  | 2,10924      | 16,7          | 6,00     |
| 14    | 1924 | 100,4                 | 128,2                  | 2,10789      | 18,0          | 5,56     |
| 15    | 1925 | 73,4                  | 126,5                  | 2,10209      | 19,3          | 5,17     |
| 16    | 1926 | 128,2                 | 126,5                  | 2,10209      | 20,7          | 4,84     |
| 17    | 1927 | 87,5                  | 125,0                  | 2,09691      | 22,0          | 4,55     |
| 18    | 1928 | 99,0                  | 124,3                  | 2,09447      | 23,3          | 4,29     |
| 19    | 1929 | 99,9                  | 122,2                  | 2,08707      | 24,7          | 4,05     |
| 20    | 1930 | 94,4                  | 122,2                  | 2,08707      | 26,0          | 3,85     |
| 21    | 1931 | 102,8                 | 120,8                  | 2,08207      | 27,3          | 3,66     |
| 22    | 1932 | 81,0                  | 120,0                  | 2,07918      | 28,7          | 3,49     |
| 23    | 1933 | 79,3                  | 118,8                  | 2,07482      | 30,0          | 3,33     |
| 24    | 1934 | 116,0                 | 116,0                  | 2,06446      | 31,3          | 3,19     |
| 25    | 1935 | 114,2                 | 114,2                  | 2,05767      | 32,7          | 3,06     |
| 26    | 1936 | 70,6                  | 111,0                  | 2,04532      | 34,0          | 2,94     |
| 27    | 1937 | 122,2                 | 110,6                  | 2,04376      | 35,3          | 2,83     |
| 28    | 1938 | 92,2                  | 110,2                  | 2,04218      | 36,7          | 2,73     |
| 29    | 1939 | 98,8                  | 109,7                  | 2,04021      | 38,0          | 2,63     |
| 30    | 1940 | 125,0                 | 108,9                  | 2,03703      | 39,3          | 2,54     |
| 31    | 1941 | 142,1                 | 108,5                  | 2,03543      | 40,7          | 2,46     |
| 32    | 1942 | 72,3                  | 108,0                  | 2,03342      | 42,0          | 2,38     |
| 33    | 1943 | 87,0                  | 106,2                  | 2,02612      | 43,3          | 2,31     |
| 34    | 1944 | 82,4                  | 105,1                  | 2,02160      | 44,7          | 2,24     |
| 35    | 1962 | 102,5                 | 104,6                  | 2,01953      | 46,0          | 2,17     |

|    |      |       |       |         |      |      |
|----|------|-------|-------|---------|------|------|
| 36 | 1966 | 84,0  | 103,4 | 2,01452 | 47,3 | 2,11 |
| 37 | 1967 | 60,5  | 102,8 | 2,01199 | 48,7 | 2,05 |
| 38 | 1968 | 70,5  | 102,5 | 2,01072 | 50,0 | 2,00 |
| 39 | 1969 | 110,2 | 102,5 | 2,01072 | 51,3 | 1,95 |
| 40 | 1970 | 108,0 | 100,4 | 2,00173 | 52,7 | 1,90 |

Quadro 3 – Tratamento Estatístico da Série de Precipitações Pluviométricas Máximas – 1910 a 2006. (Continuação).

| <b>Ordem</b> | <b>Ano</b> | <b>S.<br/>Adotada<br/>(mm)</b> | <b>S.<br/>Ordenada<br/>(mm)</b> | <b>LogP<br/>(mm)</b> | <b>Probabilidade</b> | <b>Tr(Anos)</b> |
|--------------|------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| 41           | 1971       | 78,2                           | 99,9                            | 1,99957              | 54,0                 | 1,85            |
| 42           | 1972       | 85,6                           | 99,2                            | 1,99651              | 55,3                 | 1,81            |
| 43           | 1973       | 97,4                           | 99,0                            | 1,99564              | 56,7                 | 1,76            |
| 44           | 1974       | 165,0                          | 98,8                            | 1,99476              | 58,0                 | 1,72            |
| 45           | 1975       | 118,8                          | 97,4                            | 1,98856              | 59,3                 | 1,69            |
| 46           | 1976       | 104,6                          | 94,4                            | 1,97497              | 60,7                 | 1,65            |
| 47           | 1977       | 103,4                          | 92,2                            | 1,96473              | 62,0                 | 1,61            |
| 48           | 1978       | 85,9                           | 92,1                            | 1,96426              | 63,3                 | 1,58            |
| 49           | 1979       | 129,5                          | 91,6                            | 1,96190              | 64,7                 | 1,55            |
| 50           | 1980       | 99,2                           | 91,5                            | 1,96142              | 66,0                 | 1,52            |
| 51           | 1981       | 126,5                          | 90,5                            | 1,95665              | 67,3                 | 1,49            |
| 52           | 1982       | 79,0                           | 90,4                            | 1,95617              | 68,7                 | 1,46            |
| 53           | 1983       | 120,0                          | 88,2                            | 1,94547              | 70,0                 | 1,43            |
| 54           | 1984       | 155,2                          | 87,5                            | 1,94201              | 71,3                 | 1,40            |
| 55           | 1985       | 161,4                          | 87,0                            | 1,93952              | 72,7                 | 1,38            |
| 56           | 1986       | 108,9                          | 85,9                            | 1,93399              | 74,0                 | 1,35            |
| 57           | 1987       | 122,2                          | 85,6                            | 1,93247              | 75,3                 | 1,33            |
| 58           | 1988       | 109,7                          | 84,0                            | 1,92428              | 76,7                 | 1,30            |
| 59           | 1989       | 130,3                          | 82,5                            | 1,91645              | 78,0                 | 1,28            |
| 60           | 1990       | 149,8                          | 82,4                            | 1,91593              | 79,3                 | 1,26            |
| 61           | 1991       | 152,5                          | 81,0                            | 1,90849              | 80,7                 | 1,24            |
| 62           | 1992       | 126,5                          | 79,3                            | 1,89927              | 82,0                 | 1,22            |
| 63           | 1993       | 120,8                          | 79,0                            | 1,89763              | 83,3                 | 1,20            |
| 64           | 1994       | 134,4                          | 78,5                            | 1,89487              | 84,7                 | 1,18            |
| 65           | 1995       | 91,5                           | 78,2                            | 1,89321              | 86,0                 | 1,16            |
| 66           | 1996       | 124,3                          | 74,0                            | 1,86923              | 87,3                 | 1,15            |
| 67           | 1997       | 111,0                          | 73,6                            | 1,86688              | 88,7                 | 1,13            |
| 68           | 1998       | 190,0                          | 73,4                            | 1,86570              | 90,0                 | 1,11            |
| 69           | 1999       | 74,0                           | 73,4                            | 1,86570              | 91,3                 | 1,09            |
| 70           | 2000       | 108,5                          | 72,3                            | 1,85914              | 92,7                 | 1,08            |
| 71           | 2001       | 154,0                          | 72,0                            | 1,85733              | 94,0                 | 1,06            |
| 72           | 2003       | 133,0                          | 70,6                            | 1,84880              | 95,3                 | 1,05            |
| 73           | 2004       | 82,5                           | 70,5                            | 1,84819              | 96,7                 | 1,03            |
| 74           | 2005       | 90,5                           | 65,5                            | 1,81624              | 98,0                 | 1,02            |
| 75           | 2006       | 78,5                           | 60,5                            | 1,78176              | 99,3                 | 1,01            |

### 3.4 – Análise Comparativa das Chuvas Calculadas com Outros Trabalhos Existentes

Os resultados encontrados pela metodologia anterior foram comparados com outros trabalhos existentes, sendo Pfafstetter (1957), TCBR (2005) e UFV (2007).

#### 3.4.1 Chuvas Intensas no Brasil

Em dezembro de 1957 o Engenheiro do extinto DNOS Dr. Otto Pfafstetter publicou o memorável trabalho pioneiro intitulado CHUVAS INTENSAS NO BRASIL. Trabalhando com dados pluviográficos determinou a equação IDF para 98 diferentes localidades do Brasil e também para São Luis, onde utilizou uma série pluviográfica de 26,67 anos correspondente ao período de 1911 a 1944. Este posto se constitui no mesmo utilizado neste trabalho, onde se conseguiu selecionar uma série de precipitações pluviométricas máximas diária com 63 anos de dados correspondente ao período de 1911 a 1998.

Definiu a precipitação máxima (P) em mm, pela seguinte equação empírica:

*Equação de Precipitação Máxima*

$$P = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} * [at + b * \log(1 + ct)] \quad (10)$$

Em que: P (mm); T (anos), t (horas) e  $\gamma$ , a, b, c (adimensionais para cada posto).

O Fator de Probabilidade (K) é definido como:

*Equação de Fator de Probabilidade*

$$K = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} \quad (11)$$

Esse fator define a forma da curva a ser ajustada à representação gráfica das precipitações em função do tempo de recorrência. Os valores  $\alpha$  e  $\beta$  dependem da duração da precipitação e  $\gamma$  é equivalente a 0,25, sendo igual para todos os postos estudados.

O fator restante da equação (10) calcula o valor da precipitação em mm, para o tempo de recorrência de 1 ano, porque K se torna igual a unidade para esse valor. Assim, esse fator permite calcular a precipitação para outros tempos de recorrência.

No Quadro 4, apresentam-se os valores válidos para todos os 98 postos estudados para duração entre 5min e 6 dias. No Quadro 5 apresentam-se os valores de coeficientes em função da duração para todos os postos estudados.

Desta forma, os parâmetros da equação IDF para a cidade de São Luis, para um tempo de 24 horas de duração, segundo Pfafstetter, são os seguintes valores:

$$\gamma = 0,25; \alpha = 0,17; \beta = 0,08; a = 0,4; b = 42; c = 10$$

Quadro 4 – Valores de  $\alpha$

| Duração  | 5min  | 15min | 30min | 1h    | 2h    | 4h    | 8h    | 14h   | 24h   | 48h   | 3d    | 4d    | 6d    |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha$ | 0,108 | 0,122 | 0,138 | 0,156 | 0,166 | 0,174 | 0,176 | 0,174 | 0,170 | 0,166 | 0,160 | 0,156 | 0,152 |

Quadro 5 – Valores de  $\beta$ , a, b, c

| Postos            | Valores de $\beta$ |       |       |         | a   | b  | c  |
|-------------------|--------------------|-------|-------|---------|-----|----|----|
|                   | 5min               | 15min | 30min | 1h a 6d |     |    |    |
| Aracaju SE        | 0,00               | 0,04  | 0,08  | 0,20    | 0,6 | 24 | 20 |
| Barra do Corda MA | -0,08              | 0,04  | 0,08  | 0,12    | 0,1 | 28 | 20 |
| Belém PA          | -0,04              | 0,00  | 0,00  | 0,04    | 0,4 | 31 | 20 |
| BH MG             | 0,12               | 0,12  | 0,12  | 0,04    | 0,6 | 26 | 20 |
| Catalão GO        | 0,04               | 0,04  | 0,04  | 0,04    | 0,5 | 27 | 20 |
| Caxias do Sul RS  | 0,00               | 0,08  | 0,08  | 0,08    | 0,5 | 23 | 20 |
| Cuiabá MT         | 0,08               | 0,08  | 0,08  | 0,04    | 0,1 | 30 | 20 |
| Curitiba PR       | 0,16               | 0,16  | 0,16  | 0,08    | 0,2 | 25 | 20 |
| Florianópolis SC  | -0,04              | 0,12  | 0,20  | 0,20    | 0,3 | 33 | 10 |
| Formosa GO        | 0,08               | 0,08  | 0,08  | 0,04    | 0,5 | 27 | 20 |
| Fortaleza CE      | 0,04               | 0,04  | 0,08  | 0,08    | 0,2 | 36 | 20 |
| Goiânia GO        | 0,08               | 0,08  | 0,08  | 0,12    | 0,2 | 30 | 20 |
| Rio de Janeiro RJ | -0,04              | 0,12  | 0,12  | 0,20    | 0,0 | 35 | 10 |
| João Pessoa PB    | 0,00               | 0,00  | 0,04  | 0,08    | 0,6 | 33 | 10 |
| Maceió AL         | 0,00               | 0,04  | 0,08  | 0,20    | 0,5 | 29 | 10 |
| Manaus AM         | 0,04               | 0,00  | 0,00  | 0,04    | 0,1 | 33 | 20 |
| Natal RN          | -0,08              | 0,00  | 0,08  | 0,12    | 0,7 | 23 | 20 |
| Niterói RJ        | 0,08               | 0,12  | 0,12  | 0,12    | 0,2 | 27 | 20 |
| Paracatu MG       | -0,04              | 0,00  | 0,04  | 0,12    | 1,2 | 45 | 10 |
| Paranaguá PR      | 0,04               | 0,12  | 0,12  | 0,16    | 0,3 | 42 | 10 |
| Porto Alegre RS   | 0,00               | 0,08  | 0,08  | 0,08    | 0,4 | 22 | 20 |
| Porto Velho RO    | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 0,04    | 0,3 | 35 | 20 |
| Rio Branco AC     | -0,08              | 0,00  | 0,04  | 0,08    | 0,3 | 31 | 20 |
| Salvador BA       | -0,04              | 0,08  | 0,08  | 0,12    | 0,6 | 33 | 10 |
| São Luis MA       | -0,08              | 0,00  | 0,00  | 0,08    | 0,4 | 42 | 10 |
| São Carlos SP     | -0,04              | 0,08  | 0,08  | 0,12    | 0,4 | 29 | 20 |
| Uruguaiana RS     | -0,04              | 0,08  | 0,08  | 0,12    | 0,2 | 38 | 10 |

### 3.4.2 Estudos da Empresa TCBR (2005)

Neste trabalho intitulado PROGRAMA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DA BACIA DO RIO BACANGA - Estudos Hidrológicos - Tomo I e II, Versão Final, datado de setembro de 2005. A definição da equação IDF para a cidade de São Luis foi feita utilizando uma série temporal muito curta, de apenas seis anos de dados. 1997 a 1999 e 2001 a 2003.

### 3.4.3 Estudos da Universidade Federal de Viçosa - UFV (2007)

A UFV, por meio do grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola, desenvolveu e disponibiliza na internet um sistema computacional denominado HIDROS, contendo entre outros aplicativos o PLUVIO 2.1 CHUVAS INTENSA PARA O BRASIL.

Esse programa utiliza a equação IDF na seguinte forma:

### *Equação de Precipitação Máxima*

$$i = \frac{K * T^a}{(t + b)^c} \quad (12)$$

Em que: i (mm/h); T (anos), t (minutos) e K, a, b, c (adimensionais relativos à localidade).

Este aplicativo calcula os parâmetros da IDF para diferentes localidades brasileiras e também para a cidade de São Luis do Maranhão. Essa localidade encontra-se nas seguintes coordenadas geográficas: 02° 32' na Latitude Sul e 44° 17' de Longitude Oeste. Tais coordenadas são idênticas aos do posto do INMET, utilizado neste trabalho.

Dessa forma, os parâmetros encontrados são: K = 1.131,57; a = 0,18; b = 24 e c = 0,74.

### **3.5 – Processamento de Dados para a Análise Comparativa**

Para efeito de comparação, extraiu-se da série maior de 75 anos, uma série com 34 anos de dados do posto INMET, correspondente ao mesmo período utilizado por Pfafstetter (1957) em seu trabalho (1911 a 1944). Assim, calcularam-se as chuvas de projeto de um dia pelo método Gumbel para essa série reduzida e plotaram-se os resultados com as chuvas de um dia calculados com a metodologia de cada trabalho anteriormente descritos. O Quadro 6 apresenta o tratamento estatístico da série de precipitações pluviométricas máximas diária anual para a série de 1910 a 1944.

Quadro 6 – Tratamento Estatístico da Série de Precipitações – 1910 a 1944

| Ordem | Ano  | Série Adotada(mm) | Série Ordenada (mm) | LogP(mm) | Probabilidade | Tr(Anos) |
|-------|------|-------------------|---------------------|----------|---------------|----------|
| 1     | 1910 | 102,5             | 142,1               | 2,15259  | 1,5           | 68,00    |
| 2     | 1912 | 73,6              | 128,6               | 2,10924  | 4,4           | 22,67    |
| 3     | 1913 | 65,5              | 128,2               | 2,10789  | 7,4           | 13,60    |
| 4     | 1914 | 88,2              | 125,0               | 2,09691  | 10,3          | 9,71     |
| 5     | 1915 | 72,0              | 122,2               | 2,08707  | 13,2          | 7,56     |
| 6     | 1916 | 91,6              | 116,0               | 2,06446  | 16,2          | 6,18     |
| 7     | 1917 | 106,2             | 114,2               | 2,05767  | 19,1          | 5,23     |
| 8     | 1918 | 128,6             | 110,6               | 2,04376  | 22,1          | 4,53     |
| 9     | 1919 | 90,4              | 106,2               | 2,02612  | 25,0          | 4,00     |
| 10    | 1920 | 110,6             | 105,1               | 2,02160  | 27,9          | 3,58     |
| 11    | 1921 | 105,1             | 102,8               | 2,01199  | 30,9          | 3,24     |
| 12    | 1922 | 73,4              | 102,5               | 2,01072  | 33,8          | 2,96     |
| 13    | 1923 | 92,1              | 100,4               | 2,00173  | 36,8          | 2,72     |
| 14    | 1924 | 100,4             | 99,9                | 1,99957  | 39,7          | 2,52     |
| 15    | 1925 | 73,4              | 99,0                | 1,99564  | 42,6          | 2,34     |
| 16    | 1926 | 128,2             | 98,8                | 1,99476  | 45,6          | 2,19     |
| 17    | 1927 | 87,5              | 94,4                | 1,97497  | 48,5          | 2,06     |
| 18    | 1928 | 99,0              | 92,2                | 1,96473  | 51,5          | 1,94     |
| 19    | 1929 | 99,9              | 92,1                | 1,96426  | 54,4          | 1,84     |

|    |      |       |      |         |      |      |
|----|------|-------|------|---------|------|------|
| 20 | 1930 | 94,4  | 91,6 | 1,96190 | 57,4 | 1,74 |
| 21 | 1931 | 102,8 | 90,4 | 1,95617 | 60,3 | 1,66 |
| 22 | 1932 | 81,0  | 88,2 | 1,94547 | 63,2 | 1,58 |
| 23 | 1933 | 79,3  | 87,5 | 1,94201 | 66,2 | 1,51 |
| 24 | 1934 | 116,0 | 87,0 | 1,93952 | 69,1 | 1,45 |
| 25 | 1935 | 114,2 | 82,4 | 1,91593 | 72,1 | 1,39 |
| 26 | 1936 | 70,6  | 81,0 | 1,90849 | 75,0 | 1,33 |
| 27 | 1937 | 122,2 | 79,3 | 1,89927 | 77,9 | 1,28 |
| 28 | 1938 | 92,2  | 73,6 | 1,86688 | 80,9 | 1,24 |
| 29 | 1939 | 98,8  | 73,4 | 1,86570 | 83,8 | 1,19 |
| 30 | 1940 | 125,0 | 73,4 | 1,86570 | 86,8 | 1,15 |
| 31 | 1941 | 142,1 | 72,3 | 1,85914 | 89,7 | 1,11 |
| 32 | 1942 | 72,3  | 72,0 | 1,85733 | 92,6 | 1,08 |
| 33 | 1943 | 87,0  | 70,6 | 1,84880 | 95,6 | 1,05 |
| 34 | 1944 | 82,4  | 65,5 | 1,81624 | 98,5 | 1,01 |

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – Resultados da Distribuição de Probabilidade para a Série Completa (1910-2006)

Nos Quadros 7 e 8, apresentam-se os parâmetros estatísticos e as chuvas de projeto de um dia, nos tempos de recorrência de 5; 10; 25; 50 e 100 anos da série natural e das distribuições de Gumbel e Log Pearson Tipo III, respectivamente, para a série completa de 1910 a 2006.

Quadro 7 – Parâmetros Estatísticos da Série Natural – 1910 a 2006

| Parâmetros        | SÉRIE Natural | LOG(Série) | Nº Eventos  |
|-------------------|---------------|------------|-------------|
| <b>MÉDIA</b>      | 105,42        | 2,01       | <b>m=75</b> |
| <b>DESVIO</b>     | 26,45         | 0,11       |             |
| <b>ASSIMETRIA</b> | 0,75          | 0,17       |             |

Quadro 8 – Chuvas de Projeto de Um Dia – 1910 a 2006

| PLOT POSITION |              | P<br>Tr     | DISTRIBUIÇÃO             |                |                            |
|---------------|--------------|-------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
| 1-(Fx)        | Tr(Anos<br>) |             | Série<br>natural<br>(mm) | Gumbel<br>(mm) | Log<br>Pearson III<br>(mm) |
| 0,2000        | 5            | <b>P5</b>   | 121,7                    | 126,8          | 125,5                      |
| 0,1000        | 10           | <b>P10</b>  | 139,6                    | 143,7          | 140,3                      |
| 0,0400        | 25           | <b>P25</b>  | 163,2                    | 165,0          | 158,3                      |
| 0,0200        | 50           | <b>P50</b>  | 181,1                    | 178,2          | 171,2                      |
| 0,0100        | 100          | <b>P100</b> | 199,0                    | 195,8          | 184,0                      |

As Figuras 1 a 2 apresentam a distribuição de Gumbel e Log Pearson Tipo III, respectivamente, para a série de 1910 a 2006.

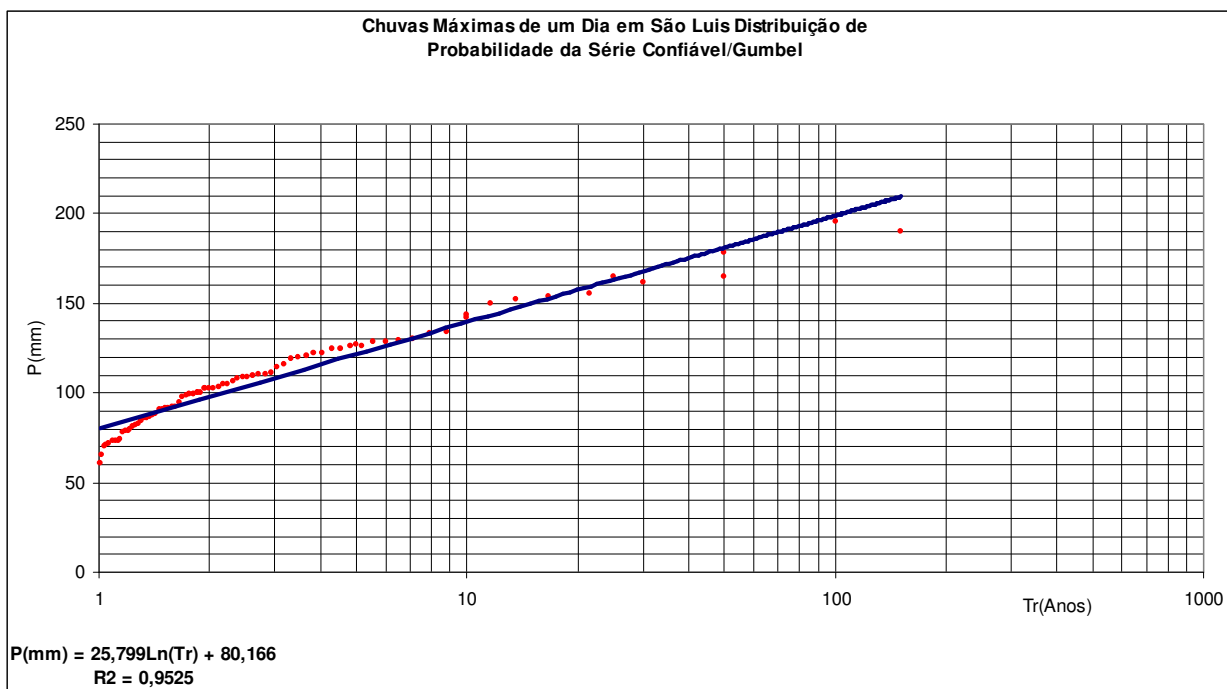


Figura 1 – Distribuição de Gumbel – 1910 a 2006.

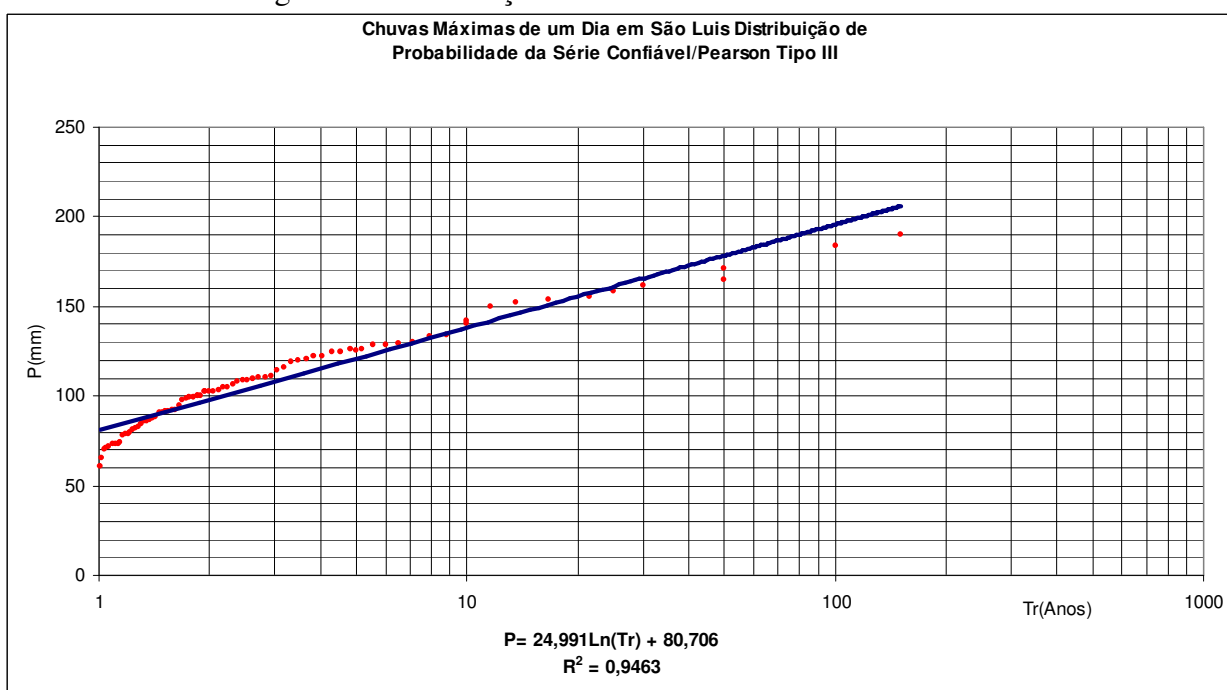


Figura 2 – Distribuição de Log Pearson Tipo III – 1910 a 2006.

A distribuição de Gumbel apresentou o coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9525$ , sendo ligeiramente maior que a Log Pearson Tipo III, ou seja,  $R^2 = 0,9463$ . Assim, a distribuição de Gumbel apresentou, dessa forma, melhor aderência aos dados da série natural, sendo, portanto, mais representativa.

## 4.2 – Resultados da Distribuição de Probabilidade para a Série Reduzida (1910-1944)

Inicialmente, nos Quadros 9 e 10, apresentam-se os parâmetros estatísticos e as chuvas de projeto de um dia, nos tempos de recorrência de 5; 10; 25; 50 e 100 anos da série natural e das distribuições estatísticas para a série reduzida de 1910 a 1944.

Quadro 9 – Parâmetros Estatísticos da Série Natural – 1910 a 1944

| Parâmetros | SÉRIE Natural | LOG(Série) | Nº Eventos |
|------------|---------------|------------|------------|
| MÉDIA      | 96,13         | 1,97       | m=34       |
| DESVIO     | 19,26         | 0,09       |            |
| ASSIMETRIA | 0,47          | 0,09       |            |

Quadro 10 – Chuvas de Projeto de Um Dia – 1910 a 1944

| PLOT POSITION |          | P<br>Tr | DISTRIBUIÇÃO       |             |                      |
|---------------|----------|---------|--------------------|-------------|----------------------|
| 1-(Fx)        | Tr(Anos) |         | Série natural (mm) | Gumbel (mm) | Log Pearson III (mm) |
| 0,2000        | 5        | P5      | 108,4              | 112,6       | 111,3                |
| 0,1000        | 10       | P10     | 121,8              | 125,4       | 121,9                |
| 0,0400        | 25       | P25     | 139,6              | 141,6       | 134,4                |
| 0,0200        | 50       | P50     | 153,0              | 153,7       | 143,3                |
| 0,0100        | 100      | P100    | 166,4              | 165,6       | 151,9                |

## 4.3 – Análise Comparativa das Chuvas Calculadas com outras Metodologias Existentes

Os Quadros 11 e 12 apresentam as alturas pluviométricas para os tempos de recorrência de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para as distintas metodologias

Quadro 11 – Alturas Precipitadas Comparativas – Chuva de Um Dia – 1910 a 2006.

| Tr(Anos) | Chuvas de Projeto Metodologias |                   |           |          |
|----------|--------------------------------|-------------------|-----------|----------|
|          | Atual Estudo (mm)              | Pfaffstetter (mm) | TCBR (mm) | UFV (mm) |
| 100      | 184,0                          | 269,5             | 287,0     | 282,7    |
| 50       | 171,2                          | 239,8             | 256,0     | 249,6    |
| 25       | 158,3                          | 212,6             | 225,0     | 220,3    |
| 10       | 140,3                          | 179,9             | 183,0     | 186,8    |
| 5        | 125,5                          | 157,1             | 149,0     | 164,9    |

Quadro 12 – Alturas Precipitadas Comparativas – Chuva de Um Dia – 1910 a 1944.

| Tr(Anos) | Chuvas de Projeto Metodologias |                   |           |          |
|----------|--------------------------------|-------------------|-----------|----------|
|          | Atual Estudo (mm)              | Pfaffstetter (mm) | TCBR (mm) | UFV (mm) |
| 100      | 165,6                          | 269,5             | 287,0     | 282,7    |
| 50       | 153,7                          | 239,8             | 256,0     | 249,6    |
| 25       | 141,6                          | 212,6             | 225,0     | 220,3    |
| 10       | 125,4                          | 179,9             | 183,0     | 186,8    |
| 5        | 112,6                          | 157,1             | 149,0     | 164,9    |

As Figuras 3 e 4 apresentam a distribuição de probabilidade para todas as metodologias estudadas, para a série completa (1910 a 2006) e para a série reduzida (1910 a 1944), respectivamente.

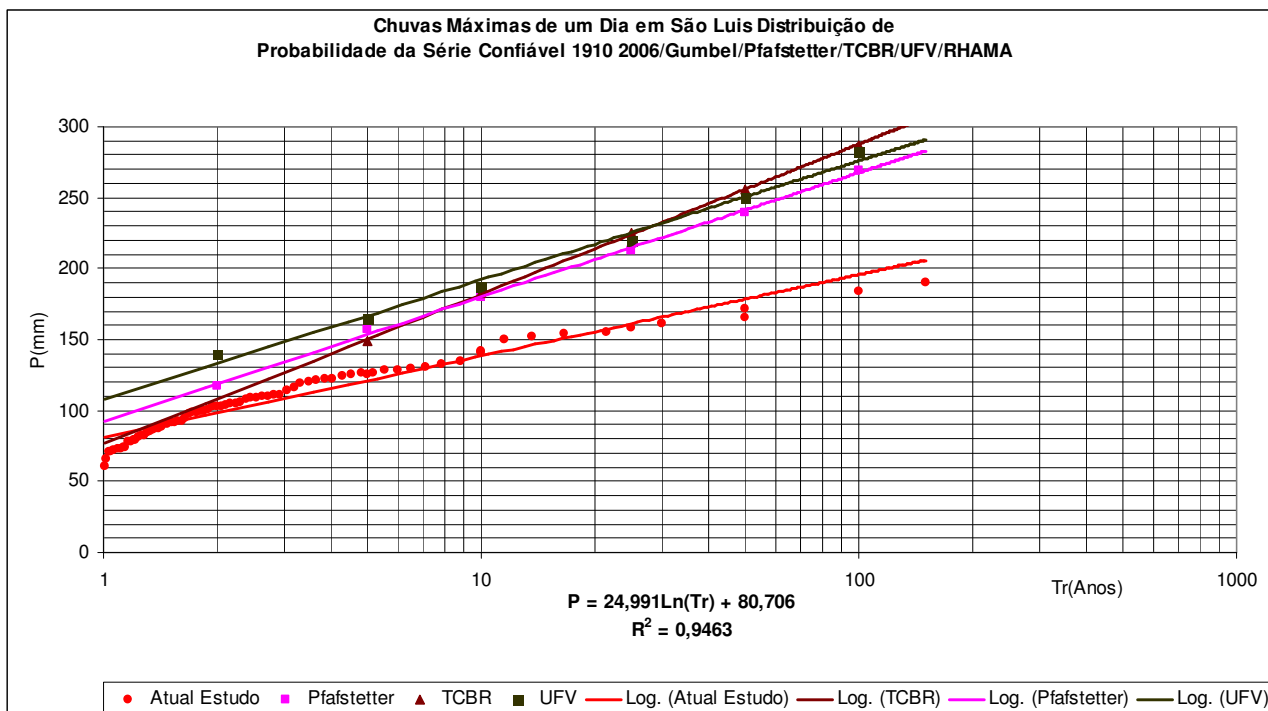


Figura 3 – Distribuição de Probabilidade no Período 1910 a 2006.

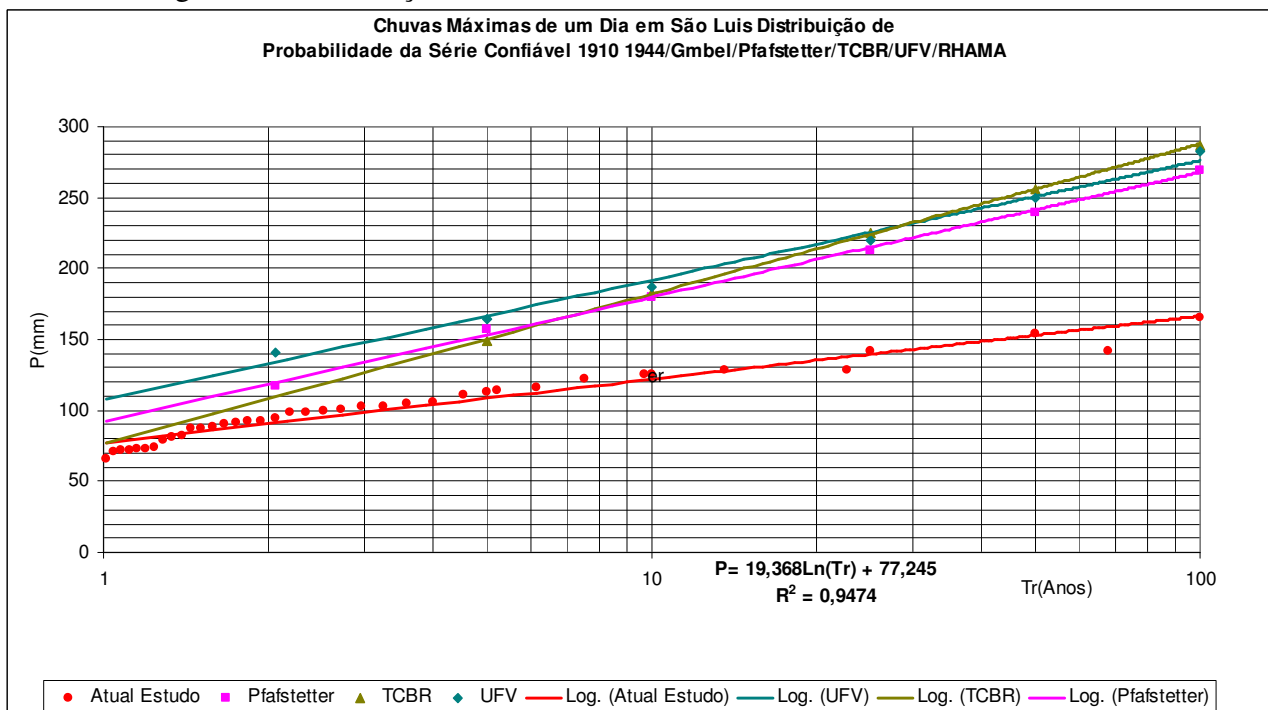


Figura 4 – Distribuição de Probabilidade no Período 1910 a 1944.

## 5 – CONCLUSÕES

Apesar de se ter abordado seis estações pluviométricas, as séries básicas utilizadas foram provenientes de somente três estações, sendo duas séries pluviométricas e uma série pluviográfica constante do trabalho de Pfafstetter (1957). O tratamento dos dados evidenciou a existência de grandes diferenças nos resultados (Figuras 3 e 4).

A série pluviométrica da TCBR, muito pequena, somente 6 anos, contém muitas falhas e poderia estar afetando os resultados para valores mais elevados (Figuras 3 e 4).

O trabalho da UFV constitui-se em um programa definido, e devido a exigüidade do tempo e objetivos do trabalho, não permitiu uma análise mais acurada sobre a temporalidade da série básica nele utilizada. Todavia, tudo leva a supor que foi utilizada os mesmos dados pluviográficos de Pfafstetter (1957). Ela se comportou fornecendo valores mais altos que a do Pfafstetter.

A série trabalhada neste estudo, apesar de ser uma série temporal bastante longa (75 anos de dados) e apresentar um bom ajuste (coeficientes de determinação acima de 95%), comportou-se fornecendo valores de chuvas de projeto muito abaixo da série de Pfafstetter (1957). Não se conseguiu explicar o porquê desta anomalia. Quando se trabalhou com uma série menor (34 anos), com os anos coincidentes com o trabalho de Pfafstetter, os resultados foram menores ainda (Figuras 3 e 4). Esse comportamento nos leva a supor a existência de um erro sistemático inerente ao pluviômetro que não afetou o pluviógrafo.

Levando em consideração que o trabalho de Pfafstetter (1957) trabalhou diretamente em dezenas de anos de gráficos pluviográficos de papel, oriundo de aparelhos registradores, pode-se inferir que esta série pluviográfica teve menos interferência humana que a série pluviométrica. A série pluviométrica é submetida a duas leituras diárias 7h e 17h, enquanto o gráfico do pluviômetro tem-se que a interferência humana é apenas semanal, bem menor. Levando a concluir que a probabilidade da série pluviográfica utilizada pelo Pfafstetter deve estar mais próxima da realidade, que a série pluviométrica utilizada neste estudo. Dessa forma, recomenda-se a utilização da equação IDF contida no trabalho de Pfafstetter (1957).

Pesquisas posteriores poderão ser conduzidas para averiguar melhor esse comportamento, podendo até ser justificado em virtude de algum comportamento no regime de chuvas da região da cidade de São Luís.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a disponibilização de dados de todas as entidades responsáveis pela operação de estações pluviométricas e pluviográficas e, em especial, pela Universidade Estadual do Maranhão,

que, com a dedicação de seus técnicos, tem proporcionado um maravilhoso avanço na obtenção de dados meteorológicos para a região.

## BIBLIOGRAFIA

- ARON, G. et al. *Regional rainfall intensity duration frequency curves for Pennsylvania*. Water. Resource. Bull., Urban, v. 23, p. 479-85, 1987.
- BACK, A. J. *Seleção de distribuição de probabilidades para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina*. Rev. Bras. Meteorol., Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.
- BACK, A. J. (2006). *Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina*. Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v. 28, n. 4, p. 575-581, Oct./Dec., 2006. Editora da Universidade Estadual de Maringá/PR.
- CHOW, V. *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1964.
- CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980.
- ELTZ, F.L. et al. *Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS*. Rev. Bras. Cienc. Solo, Campinas, v. 16, p. 265- 269, 1992.
- KITE, G.W. *Frequency and risk analyses in hydrology*. Colorado: Water Resources publications, 1978.
- OSBORN, H.B. et al. *Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms*. Trans. Asae, St Joseph, v. 23, p. 82-87, 1980.
- PFAFSTETTER, O. *Chuvas Intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS. 419 p. 1957.
- PINTO, F.A. *Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- SEVRUK, B.; GEIGER, H. *Selection of distribution types for extremes of precipitation*. Geneva: World Meteorological Organization Report, n. 15, 1981. 65p.
- UFV. (2007). Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Obtido em <http://www.ufv.br/dea/gprh/software.htm>, em maio de 2007.