



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

***CHUVAS INTENSAS EM LOCALIDADES DO ESTADO DE  
PERNAMBUCO***

Autor: BRUNO MARCIONILO SILVA

Orientadora: SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO

Recife - PE  
Maio de 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Bruno Marcionilo Silva

***“Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco”***

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, na área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, em cumprimento às exigências para obter o Grau de Mestre.

Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Ph. D.

Orientadora

Recife - PE  
Maio de 2009

**S586c**

**Silva, Bruno Marcionilo.**

Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco / Bruno Marcionilo Silva. - Recife: O Autor, 2009.

116 folhas, il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Drenagem. 3. Chuvas Intensas. 4. Pluviometria – Pernambuco (Brasil). I. Título.

**624 CDD (22. ed.)**

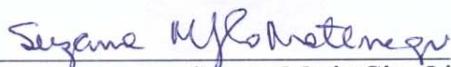
**BCTG/2010-056**

***“Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco”***

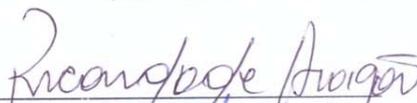
Bruno Marcionilo Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

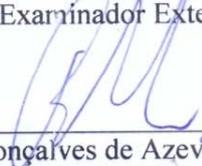
Aprovado por:



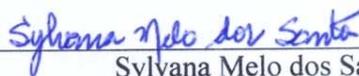
\_\_\_\_\_  
Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Ph. D.  
(Orientadora - UFPE)



\_\_\_\_\_  
Ricardo de Aragão, Dr. Eng.  
(Examinador Externo - UFS)



\_\_\_\_\_  
José Roberto Gonçalves de Azevedo, Ph. D.  
(Examinador Interno - UFPE)



\_\_\_\_\_  
Sylvana Melo dos Santos, D. Sc.  
(Examinador Interna - UFPE)

Recife, PE – Brasil.  
Maio de 2009

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que esteve comigo em todos os momentos e por ter me permitido realizar esta tarefa.

A todos os meus familiares, e em especial aos meus pais e à minha esposa, José Marcionilo da Silva Filho, Maria de Lourdes da Silva e Ana Paula Aguiar de Torres Bandeira Silva por terem me educado e apoiado durante minha vida.

Aos irmãos em cristo da Igreja do Nazareno em Maranguape I que me incentivam em momentos de dificuldade.

Aos Diretores da PROJETEC, João Recena, Luiz Teixeira e Andre Leitão, pela confiança que depositaram em minha pessoa no cumprimento desta tarefa.

À professora Suzana Montenegro pela orientação, dedicação e otimismo nos momentos mais difíceis. Ao professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro por sua colaboração técnica e ao professor Paulo Frassinete de Araujo Filho por ceder os dados das estações pluviográficas, necessárias para realização deste trabalho.

A todos os colegas de turma e aos professores das disciplinas cursadas: Roberto Azevedo, Jaime Cabral, Almir Cirilo, Lourdinha Florêncio, Mariano Aragão, pelos conhecimentos que foram repassados.

Aos engenheiros e grandes amigos João Salgueiro e Leidjane Salgueiro e aos bolsistas Roberto Omena e Fernandha Batista da UFPE pelas colaborações técnicas específicas.

Às Secretárias do Departamento de Hidráulica da UFPE: Sueli, Janaina e Valquíria, pela atenção que dedicaram em todos os momentos.

Aos meus companheiros de trabalho da PROJETEC: Hugo Lustosa, Antônio Hugo de Sá, Conceição Lafaiete, Fábila Novaes, Francisco Diniz, Walter Kleiton, Ernesto Antunes, Ivan Ulisses, Janne Eyre, Wladimir e Luiz Moura que me dão forma e acreditam no meu potencial.

Às meteorologistas do ITEP: Francis Lacerda, Werônica, Aparecida, Ana Mônica, Ioneide e Adriani, pelas informações concedidas e ao Eng<sup>o</sup> Robson de Carlo pelos trabalhos cartográficos.

A todas as instituições que contribuíram direta e indiretamente com as informações que deram suporte ao desenvolvimento deste trabalho, como: ANA, SUDENE, SECTMA, COMPESA, CHESF, INMET, LAMEPE, IPA e outras.

E, finalmente, aos professores: Ricardo de Aragão da Universidade Federal de Sergipe, Sylvana Melo dos Santos e José Roberto Gonçalves de Azevedo, ambos da Universidade Federal de Pernambuco, por terem aceitado integrar-se à banca examinadora e a todos que compuseram a platéia.

## RESUMO

Para dimensionamento da estrutura dos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem, deve-se saber qual a quantidade de precipitação na área a ser drenada, associada a um período de retorno. As equações de chuvas intensas são essenciais no processo de drenagem urbana e rural de águas pluviais, apresentando grande importância para os projetos de hidráulica dos centros urbanos e sistemas de drenagem agrícola que necessitam definir a chuva de projeto para estimar a vazão de projeto dos mesmos. Além disso, as relações IDF contribuem para a diminuição da margem de erros, minimizando-se o risco de enchentes causado por chuvas de alta intensidade, como também são indispensáveis para elaboração e controle dos sistemas de drenagem e irrigação. Em função da pouca disponibilidade de informações no estado de Pernambuco quanto às equações de chuvas intensas, este trabalho tem como objetivo principal a determinação da relação IDF para algumas localidades do território pernambucano. Para isso, foram utilizados os dados de 12 estações pluviográficas e 11 estações pluviométricas, com séries históricas de 8 a 14 anos de observações (pluviógrafos) e séries de 10 a 34 anos de registros (pluviômetros). Além disso, foram realizadas comparações entre as equações geradas por dados pluviográficos e pluviométricos, objetivando avaliar a qualidade das curvas IDF oriundas de dados pluviométricos. O critério adotado para o estabelecimento das séries históricas foi o de séries anuais. Tais séries históricas foram obtidas através de análise de pluviogramas digitalizados, no caso das estações pluviográficas, e por meio da metodologia de desagregação de chuvas de um dia em tempos menores, para os pluviômetros. Na análise de frequência das séries anuais foram aplicados o modelo de distribuição de Gumbel e o de Weibull, sendo que a segunda distribuição, na maioria dos casos estudados, apresentou os melhores ajustes com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% e com  $R^2$  variando de 0,9199 a 0,9907. Para determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas foram usadas as metodologias de Regressão Linear e a Regressão não-linear, onde o segundo método apresentou melhor ajuste dos parâmetros em todas as equações desenvolvidas. Por fim, as equações geradas por meio de registros pluviométricos apresentaram bons ajustes em comparação com as relações IDF obtidas com dados de pluviogramas, com  $R^2$  variando de 97% a 99,9%.

Palavras-chave: Hidrologia estatística, precipitações máximas, relações IDF.

## ABSTRACT

In order to design drainage system structures, it is necessary to know the amount of rainfall in the area to be drained, associated to frequency. The rainfall equations are essential in the process of rural and urban drainage of rainwater, giving high importance to water projects in urban centers and agricultural drainage systems that need to define the rainfall project value to estimate the flow project value. Moreover, the IDF relations contribute to reducing the error, minimizing the risk of flooding caused by rainfall of high intensity, but also are essential for development and control of drainage and irrigation systems. According to the limited availability of information in the state of Pernambuco on the rainfall equations, this work has as main objective the establishment of the IDF relation in some localities on Pernambuco's territory. Data from 12 pluviographic stations and 11 pluviometric stations with time series from 8 to 14 years of observations (pluviograph) and series from 10 to 34 years of records (pluviometer) was used. In addition, comparisons were made between the equations generated by pluviographic and pluviometric data, aiming to evaluate the quality of the IDF curves derived from pluviometric data.

Annual series was the adopted criterion for the establishment of the historical series. The historical series were obtained through the analysis of rainfall intensity pattern scanned, in the case of pluviographic stations, and through the disaggregation method of daily rainfall, for the pluviometer. In the analysis of the annual series frequency the models of distribution of Gumbel and Weibull were applied, whereas the second model, in most of the studied cases, showed the best fit with the Kolmogorov-Smirnov test with significance level of 5 % and with  $R^2$  ranging from 0.9199 to 0.9907. The linear and non linear regression methodologies were used to the determination of the rainfall equations parameters, where as the second method presented the best fitting parameters in all equations developed. Finally, the equations generated by pluviometric records showed good fit compared with the IDF relations obtained from the rainfall intensity pattern, with  $R^2$  ranging from 97% to 99.9%.

Keyword: Statistic hydrology, maximum rainfall, IDF relationship.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>15</b>
1.1. – Introdução .....	16
1.2. – Objetivo geral.....	17
1.3. – Objetivos específicos .....	17
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
2.1. – Precipitação, mecanismo de formação e tipos de chuvas .....	19
2.2. – Sistemas meteorológicos atuantes em Pernambuco.....	19
2.3. – Regiões geográficas do Estado de Pernambuco.....	21
2.4. – Características climáticas do Estado de Pernambuco .....	22
2.5. – Medição da chuva .....	23
2.5.1 Grandezas que caracterizam as medidas pluviométricas .....	23
2.5.2 Alguns aparelhos de medição .....	23
2.6. –Aparelhos de medição de precipitação em Pernambuco.....	24
2.6.1 Pluviômetros .....	24
2.6.2 Pluviômetros registradores da CPRM- PE.....	26
2.6.3 Estações meteorológicas convencionais .....	27
2.6.4 Plataforma de coleta de dados.....	29
2.6.5 Medidores de chuva do REHISA.....	30
2.7. – Processamento dos dados observados.....	31
2.7.1 Processamento de dados de pluviógrafos.....	31
2.7.2 Relação entre chuvas de diferentes durações.....	31
2.8. Análise de frequência de séries históricas .....	34
2.8.1 Tipos de séries.....	34
2.8.2 Procedimentos de cálculo.....	35
2.8.3 Modelos probabilísticos para dados hidrológicos.....	36
2.9. – Equações de chuvas intensas .....	38
2.9.1 Forma geral .....	38
2.9.2 Métodos para determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas .....	39
2.10.– Estudos de chuvas intensas no Brasil.....	40

<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
3.1. – Seleção das precipitações para estabelecimento das séries.....	50
3.2. – Análise de frequência das chuvas .....	55
3.3. – Validação dos ajustes das distribuições aplicadas .....	55
3.4. – Forma geral e determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas.....	56
3.4.1 Regressão Linear.....	57
3.4.2 Regressão Não-Linear.....	57
3.5. – Validação das equações de chuvas intensas.....	58
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>59</b>
4.1. – Obtenção dos dados das estações pluviográficas e pluviométricas .....	60
4.1.1 Estações pluviográficas.....	60
4.1.2 Estações pluviométricas.....	60
4.2. – Formação das séries anuais de valores extremos.....	61
4.2.1 Séries anuais de dados pluviográficos .....	61
4.2.2 Séries anuais de dados pluviométricos.....	64
4.3. – Análise de frequência das séries anuais .....	66
4.3.1 Análise de frequência das séries anuais com dados pluviográficos.....	66
4.3.2 Análise de frequência das séries anuais com dados pluviométricos.....	68
4.4. – Determinação das equações de chuvas intensas .....	70
4.4.1 Chuvas intensas obtidas por meio de dados pluviográficos.....	70
4.4.2 Chuvas intensas obtidas por meio de dados pluviométricos.....	71
4.5. – Comparação entre as relações IDF geradas por pluviógrafos e pluviômetros.....	73
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>75</b>
5.1. – Conclusões .....	76
5.2. –Recomendações.....	77
<b>CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>78</b>
6.1. – Referência bibliográfica.....	79
<b>CAPÍTULO 7 - ANEXOS</b> .....	<b>84</b>
7.1 – Tabelas de séries anuais dos dados de pluviógrafos .....	85

7.2 – Tabelas de séries anuais dos dados de pluviômetros .....	90
7.3 – Curvas IDF geradas.....	99
7.3.1. Por meio de pluviógrafos .....	99
7.3.2. Por meio de pluviômetros .....	105
7.4 – Comparação entre as equações IDF geradas.....	111
7.5 – Fluxogramas para utilização dos aplicativos matemáticos .....	115
7.5.1 Aplicativo para obtenção das séries históricas com dados pluviográficos .....	115
7.5.2 Aplicativo para obtenção das séries históricas com dados pluviométricos .....	115
7.5.3 Aplicativo para obtenção da equação de chuva intensa.....	116

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1</b> - Mesorregiões e Microrregiões do estado de Pernambuco.....	21
<b>Figura 2. 2</b> - Isoietas Médias Anuais para o Estado de Pernambuco (grau e mm).....	23
<b>Figura 2.3</b> - Localização das Estações Meteorológicas Convencionais do Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA.....	27
<b>Figura 2. 4</b> - Distribuição Ideal das Estações Meteorológicas Convencionais.....	28
<b>Figura 2. 5</b> - Distribuição espacial das Plataformas de Coleta de Dados. ....	30
<b>Figura 2. 6</b> - Isozonas de igual relação. ....	32
<b>Figura 3. 1</b> - Mapa de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco com a localização das estações pluviográficas. ....	51
<b>Figura 3. 2</b> - Formatação dos dados pluviográficos obtidos da SUDENE.....	52
<b>Figura 3. 3</b> – Análise dos dados digitalizados dos pluviogramas para formação das séries anuais..	53
<b>Figura 4. 1</b> - Formatação dos dados pluviométricos obtidos da ANA.....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2. 1</b> - Estações operadas em 2003 no estado de Pernambuco. ....	26
<b>Tabela 2. 2</b> - Estações pluviográficas operadas pela CPRM em 2009.....	26
<b>Tabela 2. 3</b> - Parâmetros Meteorológicos Observados nas Estações do IPA.....	27
<b>Tabela 2. 4</b> - Estações operadas pelo INMET em 2009.....	28
<b>Tabela 2. 5</b> – PCDs operadas pelo LAMEPE em 2009.....	29
<b>Tabela 2. 6</b> – Medidores de precipitação da REHISA. ....	30
<b>Tabela 2. 7</b> - Valores para conversão de altura de chuva segundo a Zona escolhida. ....	32
<b>Tabela 2. 8</b> - Valores das alturas pluviométricas para diferentes durações e tempos de recorrência a partir de dados pluviográficos da estação de Olinda-PE.....	33
<b>Tabela 2. 9</b> - Validação das razões entre diferentes durações para o posto de Olinda, seguindo valores médios para diferentes tempos de recorrência.....	33
<b>Tabela 3. 1</b> - Características das estações pluviográficas e pluviométricas selecionadas para o estado de Pernambuco.....	50
<b>Tabela 3. 2</b> – Valores adotados para alturas mínimas de chuvas intensas. ....	54
<b>Tabela 3. 3</b> - Valores das relações entre durações proposta por CETESB e as que foram utilizadas para os postos pluviométricos de Pernambuco. ....	54
<b>Tabela 4. 1</b> - Médias e desvios-padrão (mm/h) das séries anuais de intensidade máximas de precipitação para cada duração dos dados pluviográficos. ....	63
<b>Tabela 4. 2</b> - Médias e desvios-padrão (mm/h) das séries anuais de intensidade máximas de precipitação para cada duração dos dados pluviométricos. ....	65
<b>Tabela 4. 3</b> - Valores dos coeficientes de determinação, da estatística $D_N$ , dos coeficientes de ajuste e dos coeficientes de massa residual para os modelos de Gumbel e Weibull.....	67
<b>Tabela 4. 4</b> - Valores dos coeficientes de determinação, da estatística $D_N$ , dos coeficientes de ajuste e dos coeficientes de massa residual para os modelos de Gumbel e Weibull.....	69

<b>Tabela 4. 5</b> - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, para cada estação pluviográfica. ....	71
<b>Tabela 4. 6</b> - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, para cada estação pluviométrica. ....	72
<b>Tabela 4. 7</b> - Valores dos critérios estatísticos usados para comparação entre equações com dados pluviográficos e pluviométricos. ....	73
<b>Tabela 4. 8</b> - Valores do EPE e $R^2$ para $T_r = 10$ anos e diferentes durações. ....	74

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas;
<b>ANA</b>	- Agencia Nacional de Águas;
<b>ANEEL</b>	- Agencia Nacional de Energia Elétrica;
<b>CA</b>	- Coeficiente de Ajuste;
<b>CEHPAR</b>	- Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza;
<b>CEMIG</b>	- Companhia Energética de Minas Gerais;
<b>CETESB</b>	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
<b>CHESF</b>	- Companhia Hidrelétrica do São Francisco;
<b>CMR</b>	- Coeficiente de Massa Residual;
<b>COMPESA</b>	- Companhia Pernambucana de Saneamento;
<b>COPEL</b>	- Companhia Paranaense de Energia;
<b>CPATSA</b>	- Centro de Pesquisa Agronômica do Trópico Semi-Árido;
<b>CPRM / SGB</b>	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil;
<b>CTH</b>	- Centro Tecnológico de Hidráulica;
<b>DAEE</b>	- Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo;
<b>DISME/INMET</b>	- Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia;
<b>DNOCS</b>	- Departamento Nacional de Obras Contra a Seca;
<b>EBAPE</b>	- Empresa de Abastecimento e Extensão Rural do Estado de Pernambuco;
<b>EMBRAPA</b>	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
<b>EPE</b>	- Erro Padrão da Estimativa;
<b>HIDROWeb</b>	- Sistema de Informações Hidrológicas;
<b>IBESA</b>	- Implantação de Bacias Experimentais do Semi-Árido;
<b>IBGE</b>	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
<b>IDF</b>	- Intensidade – duração – frequência;
<b>INFRAERO</b>	- Empresa de Infraestrutura Aeroportuária;
<b>INMET</b>	- Instituto Nacional de Meteorologia;
<b>IPA</b>	- Instituto Agronômico de Pernambuco;
<b>IPH</b>	- Instituto de Pesquisas Hidráulicas;
<b>ITEP</b>	- Instituto de Tecnologia de Pernambuco;
<b>LAMEPE</b>	- Laboratório de Meteorologia de Pernambuco;
<b>MR</b>	- Método das Relações;
<b>OMM</b>	- Organização Mundial de Meteorologia;
<b>PCD</b>	- Plataforma de Coleta de Dados;

<b>REHISA</b>	- Rede de Hidrologia do Semi-Árido;
<b>RMR</b>	- Região Metropolitana do Recife;
<b>SECTMA</b>	- Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente;
<b>SIG</b>	- Sistema de Informação Geográfica;
<b>SUDENE</b>	- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste;
<b>UFCG</b>	- Universidade Federal de Campina Grande;
<b>UFPB</b>	- Universidade Federal da Paraíba;
<b>UFPE</b>	- Universidade Federal de Pernambuco;
<b>UFRPE</b>	- Universidade Federal Rural de Pernambuco;
<b>UFV</b>	- Universidade Federal de Viçosa;
<b>VCAS</b>	- Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior;
<b>ZCIT</b>	- Zona de Convergência Intertropical.

## ***CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS***

### 1.1. – Introdução

O conhecimento da equação que relaciona intensidade, duração e frequência (IDF) da precipitação pluvial representa grande importância para os projetos de obras hidráulicas, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, sarjetas, reservatórios de retenção em áreas urbanas, vertedores de barragens e sistemas de drenagem agrícola em áreas rurais, que necessitam definir a chuva de projeto para estimar a vazão de projeto dos mesmos. Como geralmente não se dispõe de registros pluviométricos em pequenas e médias bacias, para os projetos de drenagem é necessário estimar as vazões de projeto com base na série histórica dos dados de chuvas de pequena duração e intensidade elevada, também conhecidas como chuvas intensas. Portanto, a determinação da equação de chuvas intensas é de fundamental importância para os engenheiros projetistas de obras de drenagem (FENDRICH, 1999).

A equação de chuvas intensas também é um instrumento importante para uma Política de Drenagem Urbana e Rural, nas áreas de conhecimento da sociologia, quanto aos aspectos sócio-econômicos de uma comunidade (custo da obra relacionado com o período de retorno escolhido para um projeto), e da hidrologia estatística no que diz respeito ao risco hidrológico (escolha do tempo de recorrência) e na determinação das Chuvas de Projeto. O tempo de recorrência e a chuva de projeto fazem parte dos objetivos de um plano diretor de drenagem urbana, sendo uma peça técnica importante e um documento de grande valor político.

Por outro lado, no Agreste do Estado de Pernambuco é comum a existência de áreas destinadas à agricultura que possuem condições desfavoráveis de drenagem natural e que necessitam de um controle de irrigação e de drenagem eficientes. Além disso, nas áreas de sequeiro (culturas que dependem das condições climáticas, fundamentalmente das chuvas, da sua quantidade, intensidade e distribuição), como no caso do município de Pesqueira que são formadas por solos rasos, podem ocorrer inundações durante o período de grandes chuvas ou em casos de excesso de irrigação, o que apresenta a possibilidade de salinização, o que vem a ser um fator de vasta importância para o controle de drenagem da área irrigada (BATISTA *et al.*, 2002). Sendo assim, a elaboração e controle dos sistemas de drenagem e irrigação são indispensáveis os estudos de análise de variáveis intensidade, duração e frequência das chuvas que caracterizam precipitações máximas.

Assim como na maioria dos Estados brasileiros, Pernambuco apresenta limitações referentes a dados disponíveis para a obtenção das equações de chuvas intensas, tanto em termos de densidade da rede pluviográfica, como em relação ao pequeno período de observações disponível. Além disso, para a determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas é necessário exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados (HERNANDEZ, 1991). Em decorrência da grande dificuldade na obtenção de dados pluviográficos, a maioria dos estudos de

chuvas intensas possui séries de extensão inferior àquelas recomendadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos (SILVA *et al.*, 2002).

Como o estado de Pernambuco dispõe de poucas informações relativas às equações de chuvas intensas, os projetos de obras hidráulicas acabam por utilizar as informações dos postos pluviográficos mais próximos das localidades onde são realizados os empreendimentos. Contudo, isso pode gerar estimativas pouco confiáveis, em função da grande variabilidade espacial dos dados de precipitação pluvial.

## **1.2. – Objetivo geral**

Determinar as equações de chuvas intensas (relações IDF) para algumas localidades, dentro do território do Estado de Pernambuco.

## **1.3. – Objetivos específicos**

- Coletar os dados de postos pluviográficos e pluviométricos para escolha e análise das estações que gerarão as séries anuais.
- Gerar as séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação pluvial com os dados dos postos selecionados.
- Ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas das estações pluviográficas e pluviométricas selecionadas.
- Estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação, a partir dos registros pluviográficos e pluviométricos das referidas estações.
- Realizar análise comparativa entre os resultados obtidos com as equações de chuvas intensas determinadas por meio dos dados das estações pluviográficas e pluviométricas.

***CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E  
REVISÃO DA LITERATURA***

## 2.1. – Precipitação, mecanismo de formação e tipos de chuvas

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra (TUCCI, 2004).

O fenômeno da precipitação constitui um fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão de bacias dos rios entre outros, sendo o total precipitado um dado básico e indispensável no estudo do ciclo hidrológico. As principais características da precipitação são a duração, o volume total precipitado, suas distribuições temporais e espaciais.

A principal forma de resfriamento de grandes massas de ar é o resfriamento adiabático que é a redução da pressão através da ascensão. A chuva é resultado da ascensão vertical das massas de ar que, ao atingirem uma determinada altura, expandem-se e aumentam, gradativamente, a sua umidade. Atingindo a saturação, pode-se iniciar a condensação e a formação de nuvens ou mesmo a precipitação classificada de acordo com o movimento ascendente, podendo ser:

a) Convectivas: originada por uma brusca ascensão de massa de ar instável, aquecida e menos densa que, ao atingir seu nível de condensação formam as nuvens e possíveis precipitações. São chuvas de grande intensidade, pequenas durações e que abrangem pequenas áreas;

b) Orográficas: ocorrem quando ventos quentes e úmidos encontram barreiras montanhosas e elevam-se até atingir uma altura que provoque o resfriamento adiabático. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, atingindo grandes áreas;

c) Frontais ou ciclônicas: surgem das interações de massas de ar quentes e frias, onde o ar mais quente e úmido é impulsionado para cima, resultando em seu resfriamento e na condensação do vapor de água. Estas precipitações são de intensidades médias, grandes durações e atingem grandes áreas.

## 2.2. – Sistemas meteorológicos atuantes em Pernambuco

Quanto aos sistemas meteorológicos, existem pelo menos seis sistemas de circulação atmosférica que produzem chuvas e atuam na Região Nordeste e no Estado de Pernambuco. Segundo SECTMA (1998) esses sistemas atuantes podem ser classificados como:

a) Frentes Frias - provenientes de regiões sub-antárticas que não atuam de forma sistemática sobre todo o Estado, mas em sub-regiões diferentes em dois períodos. No Sertão de Pernambuco, os principais meses de ocorrência de chuvas produzidas ou influenciadas vão de novembro a fevereiro, com máximas precipitações em dezembro. Por outro lado, no litoral, Zona da Mata e na posição

leste do Agreste, estas frentes podem influenciar as precipitações nos meses de maio a agosto, com máximas precipitações em julho.

b) Ondas de Leste - perturbações de pequena amplitude geralmente observadas nos ventos alísios que atuam no leste de Pernambuco e do Nordeste, principalmente no período de maio a agosto. O deslocamento dessas ondas se dá de leste para oeste a partir do Oceano Atlântico até atingir o litoral da região. Apesar da sua pequena amplitude podem produzir chuvas intensas e inundações e, em alguns casos, penetrar até 300 km dentro do continente.

c) Zona de Convergência Intertropical – ZCIT – formada pela convergência dos ventos alísios do Hemisfério Norte (alísios de nordeste) e os do Hemisfério Sul (alísio de sudeste), que sopram dos trópicos para a linha do equador, da maior pressão para a menor pressão. É facilmente identificada pela presença constante de nebulosidade, com alta taxa de precipitação, e atua sobre uma região qualquer por período de tempo superior a dois meses. É o principal sistema de produção de chuva no Sertão e Agreste de Pernambuco. No Sertão, caracteriza um período chuvoso que vai de dezembro a maio, com máximas precipitações durante fevereiro e março, e no Agreste, um período chuvoso de fevereiro a julho com as máximas precipitações durante abril e maio. Em anos muito chuvosos pode causar inundações, principalmente na Região Metropolitana do Recife - RMR e Zona da Mata. Por outro lado, quando não atua nos meses de março e/ou abril produz secas, principalmente no semi-árido.

d) Brisas terrestres e marítimas - ocorrem no litoral do Nordeste durante todo o ano. A convergência causada pela brisa terrestre e os alísios de oeste-sudeste, associada ao grau de instabilidades da atmosfera é muito importante para a precipitação noturna. As áreas afastadas da costa, entre 100 e 300 km, têm o máximo diurno associado com a brisa marítima. A brisa marítima é máxima quando existe um contraste máximo entre a temperatura da superfície do mar e a temperatura da terra, geralmente no final do outono e no início do inverno, nos meses de maio, junho e julho. Em Pernambuco, as brisas terrestres e marítimas atuam no Litoral e na Zona da Mata durante todo o ano, e são mais observadas nos meses de outono e inverno, produzindo chuvas fracas e moderadas.

e) Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior - VCAS – atuam no Nordeste e em Pernambuco principalmente nos meses de novembro a fevereiro. O aparecimento desses vórtices está relacionado com a circulação geral da atmosfera e podem permanecer sem movimento aparente por vários dias até desaparecer, normalmente quando se movem para sudoeste, adentrando o continente. A sua atuação sobre o estado de Pernambuco se dá de forma muito irregular, já que esses sistemas, na dependência de seu posicionamento, podem produzir tanto chuvas intensas como seca. A frequência desses sistemas tem uma grande dependência na variabilidade interanual da atmosfera e se tornam mais constantes em anos de ocorrência do fenômeno El Niño.

f) Oscilações de 30 - 60 dias - são pulsos de energia que se movem de oeste para leste. A sua atuação no Nordeste ainda não é bem conhecida. Sabe-se apenas que esses sistemas atuam por período de 10 a 30 dias, podendo produzir precipitações prolongadas com resultados prejudiciais, como também podem beneficiar com chuvas de alguma intensidade nos anos que são considerados secos.

### 2.3. – Regiões geográficas do Estado de Pernambuco

O Estado de Pernambuco ocupa uma área de 98.938 km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 6,49% da área do Nordeste e 1,19 % da área do País. Sua forma estreita e alongada lhe concede uma pequena faixa litorânea (187 km) e uma grande extensão no sentido leste-oeste (748 km).

Em razão da configuração espacial e do processo de povoamento, com uma sucessão de paisagens diferentes, marcadas por uma intensa diversificação de formas de uso do solo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) identificou a existência de 05 Mesorregiões e 19 Microrregiões geográficas, conforme a Figura 2.1 (SECTMA, 1998). Cada Microrregião é constituída por municípios, perfazendo o Estado, que atualmente possui 185 unidades político-administrativas, juntamente com o Arquipélago de Fernando de Noronha, considerado como um dos Parques Nacionais Marinhos do país e que também faz parte de Pernambuco (ANDRADE, 1999).



Figura 2. 1 - Mesorregiões e Microrregiões do estado de Pernambuco.

#### **2.4. – Características climáticas do Estado de Pernambuco**

A região semi-árida de Pernambuco compreende o Sertão e o Agreste, embora neste haja menos áreas semi-áridas e existam até áreas sub-úmidas, especialmente nas sub-regiões de contato com a Zona da Mata, mais a leste. Numa classificação geral, pode-se dizer que o Sertão se encontra a oeste da cidade de Arcoverde.

O Sertão de Pernambuco é caracterizado por baixos índices pluviométricos anuais, oscilando entre 500 e 800 mm, fazendo parte do Polígono das Secas. No período chuvoso, que vai de janeiro a maio, ocorre praticamente todo o total anual de precipitação do Sertão, sendo estas chuvas, quase sempre intensas e oriundas das influências das frentes frias do sul e/ou resultantes de algum vórtice ciclônico de ar superior (VCAS). Além disso, o mês de março é o que se apresenta como o mês de maior precipitação pluviométrica, podendo ir a mais de 25% e até a 27% do total anual, como ocorre em Araripina.

No semi-árido, a quadra chuvosa (quatro meses consecutivos de maiores precipitações) depende, principalmente, das oscilações da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as quais ocorrem, na maioria dos anos, entre a metade do verão (janeiro ou fevereiro) e o outono (abril ou maio).

O Agreste, sendo uma região intermediária entre áreas de clima úmido (a Mata) e seco (o Sertão), apresenta zonalmente, similaridade ora com uma, ora com outra região, do ponto de vista climático. Nas áreas mais próximas ao Sertão, o Agreste de Pernambuco apresenta, em função da contribuição da ZCIT, o período que vai de fevereiro a junho como o mais chuvoso do ano (65% a 68% da precipitação anual acontecem nesses cinco meses). Nas áreas mais próximas da Mata, onde se percebe que as contribuições dos sistemas de leste são muito mais importantes do que as da ZCIT, a estação chuvosa do Agreste já se estende de março a julho.

A Figura 2.2 apresenta as isoietas médias para o Estado, elaboradas a partir de séries pluviométricas de cerca de 200 postos pluviométricos com registros superiores a 30 anos de dados, segundo SECTMA (1998).

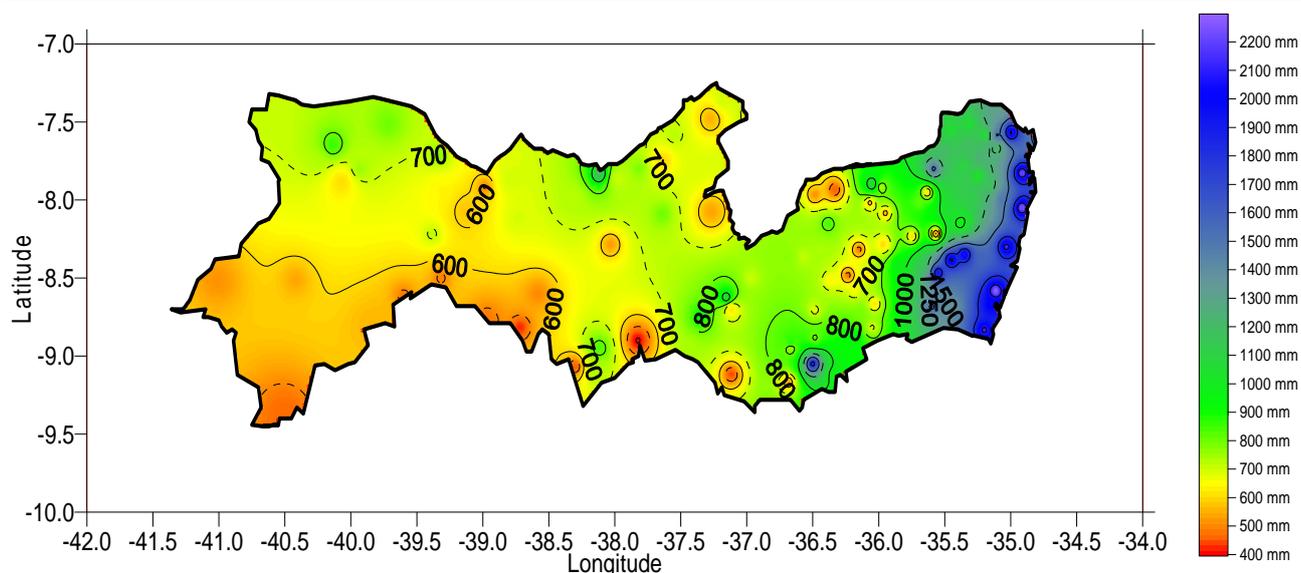


Figura 2. 2 - Isoietas Médias Anuais para o Estado de Pernambuco (grau e mm).

A Zona da Mata caracteriza-se por apresentar climas úmidos, com chuvas sempre acima de 1.000 mm, em média, alcançando mais de 2.000 mm nas localidades próximas à costa atlântica. Em geral, as chuvas vão de março a agosto e o período seco (na verdade não tão seco) situa-se de setembro a fevereiro. Em termos de distribuição percentual pode-se dizer que 75 a 80% das chuvas anuais acontecem no semestre chuvoso e 20 a 25% no período seco. Entretanto 20 a 25% sobre um total de mais de 2.000 mm já apresenta algo bem maior do que toda a chuva anual registrada em muitas localidades do Agreste e do Sertão.

## 2.5. – Medição da chuva

A chuva é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos.

### 2.5.1 Grandezas que caracterizam as medidas pluviométricas

- Altura pluviométrica: lâmina de água expressa em milímetros, que recobriria uma área atingida pela precipitação, considerando que não haja infiltração, evaporação ou escoamento;
- Duração: período de tempo o qual a chuva cai, sendo o minuto ou a hora sua unidade utilizada;
- Intensidade: relação entre altura pluviométrica e a duração da precipitação expressa em (mm/h) ou (mm/min), TUCCI (2004).

### 2.5.2 Alguns aparelhos de medição

Para análise das chuvas intensas, onde se determina a intensidade da precipitação para diferentes durações, fazem-se necessário utilizar aparelhos como o pluviômetro e o pluviógrafo.

a) Pluviômetro Convencional: são aparelhos de medição de 1 dia dotados de uma superfície de captação horizontal, delimitada por um anel metálico, e de um reservatório para acumular a água recolhida, ligado a essa área de captação. A água acumulada é retirada por meio de uma torneira, situada no fundo do aparelho e medida através de uma proveta calibrada específica para cada tipo de pluviômetro. As medições são realizadas, geralmente, às 7:00 h e às 17:00 h, segundo SANTOS *et al.* (2001).

b) Pluviômetro Digital: aparelhos com indicação da quantidade de chuva total e das últimas 24 horas, função de alarme programável e que podem ser colocado sobre a mesa ou pendurados. Desenvolvido para controle da precipitação da água da chuva, em irrigação artificial coberta ou ao ar livre.

c) Pluviógrafos: são aparelhos utilizados quando se exige o conhecimento de chuvas com intervalos menores que um dia, capazes de registrar continuamente, de forma analógica ou digital, a precipitação em um local (SANTOS *et al.*, 2001). Os registros são realizados por meio dos pluviogramas ou fitas de pluviógrafos, que são gráficos nos quais as abscissas correspondem às horas do dia e as ordenadas à altura precipitada até aquele instante, sendo a intensidade da chuva a inclinação do gráfico em relação à abscissa.

d) Radar Meteorológico: é um sistema que opera em um comprimento de onda que é refletido por precipitações em que a intensidade da onda refletida guarda certa relação com a intensidade da chuva. O radar meteorológico permite, assim, traçar o quadro da distribuição espacial da chuva em cada instante e dentro de um raio de até 200 km.

e) Plataforma de Coleta de Dados - PCD: as PCDs são equipamentos automáticos, dispendo de sensores eletrônicos capazes de medir precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura e umidade do ar, direção, velocidade do vento, entre outras variáveis. Os dados podem ser coletados através de satélites e transmitidos para centrais para processamento e posterior disponibilização dos mesmos aos usuários. A medição da chuva pode ser realizada por meio de um pluviômetro do tipo basculante, com capacidade de medir a precipitação líquida em incrementos, como dar ordem de 0.25 mm, com transmissão dos dados de chuva a cada 3 horas ou a cada hora.

## **2.6. –Aparelhos de medição de precipitação em Pernambuco**

### *2.6.1 Pluviômetros*

Em SALGUEIRO (2005) é possível encontrar relatos dos acontecimentos que compuseram a história do desenvolvimento dos estudos pluviométricos no estado de Pernambuco, como apresentado a seguir.

MAKSOUND (1961) identificou até 1958, na Região Nordeste, 1225 postos pluviométricos em funcionamento, dos quais 149 pertenciam a Pernambuco. Alguns operaram somente por um mês ou

pouco mais, outros funcionaram por alguns anos e foram extintos e, em uma terceira parte pôde-se constatar séries contínuas de muitos postos com mais de 40 anos de observações.

Essa operação de postos foi mantida no estado de Pernambuco por diversas instituições e registrou séries históricas. As quantidades de postos operados pelas instituições foram: 75 pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS; 24 pelo Serviço de Meteorologia Nacional - CPRM, 4 pela Divisão de Águas e 46 por entidades públicas e privadas. Coube também, na mesma época, a instalação de 4 pluviógrafos dos 27 instalados no Nordeste, que equivaleram a 3% dos 149 pluviômetros instalados em Pernambuco.

Em 1960 iniciou-se a fase que foi caracterizada pela criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE e a reestruturação da rede. A SUDENE publicou diversos trabalhos sobre dados pluviométricos, tal como: “Dados Pluviométricos mensais do Nordeste”, sendo o “Volume 6” dedicado ao estado de Pernambuco (SUDENE, 1990). Arquivados em bancos de dados, essas informações subsidiaram inúmeros projetos e estudos específicos, de órgãos governamentais em recursos hídricos e empresas privadas, constituindo-se em fonte obrigatória de consulta para especialistas e profissionais afins.

Nos primeiros anos da década de 1990, os serviços hidrometeorológicos da SUDENE já sinalizavam os primeiros indícios de uma fragilidade econômica na administração da rede, resultando na desativação de alguns postos e no repasse dessa administração para órgãos das esferas estaduais e Federais, através de convênios de cooperação técnica.

A proposta resultou na operação e manutenção de um total de 145 pluviômetros no estado de Pernambuco, cujas ações foram confiadas ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA e ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco - LAMEPE, entre os anos de 1992 a 1997. Em 1998, com a criação da Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente - SECTMA, esta instituição tornou-se prioritária quanto à responsabilidade da administração da rede.

Findada a vigência do convênio, a falta de recursos financeiros suficientes para operação e manutenção dos postos, levou a extinção de um número considerável de postos, outros precisaram ser transferidos para locais onde as observações puderam ser realizadas por outros órgãos do Estado, sem ônus para o órgão gestor.

Entretanto, para atender aos serviços de gestão dos recursos hídricos e meteorologia, foram realizados programas de ampliação e modernização, com instalações de pluviômetros convencionais e estações telemétricas (hidrológicas e meteorológicas), além de parcerias com outros órgãos operadores e entidades privadas (usinas de açúcar) através de consultas sistemáticas, com o intuito de aumentar a eficiência da rede pluviométrica no Estado.

Segundo SALGUEIRO (2005), o Estado de Pernambuco, no ano de 2003, contava com uma cobertura pluviométrica de um total de 375 estações operadas simultaneamente por diversas

entidades Federais e Estaduais, cuja densidade decrescia no sentido do Litoral ao Sertão, segundo informações das próprias entidades. A Tabela 2.1 apresenta as quantidades de estações operadas pelas entidades no estado de Pernambuco em 2003.

Tabela 2. 1 - Estações operadas em 2003 no estado de Pernambuco.

Item	Órgão Opedador	Nº de pluviômetros
01	ANA / CPRM -SGB	40
02	INMET	11
03	SECTMA	222
04	COMPESA	13
05	IPA / EBAPE	82
06	INFRAERO / AERONÁUTICA	02
07	EMBRAPA / CPATSA	04
08	CHESF	01
<b>Total</b>		<b>375</b>

Fonte: SALGUEIRO (2005).

### 2.6.2 Pluviômetros registradores da CPRM- PE

A Superintendência Regional do Recife, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil – CPRM / SGB, é responsável pelo monitoramento de 5 estações pluviográficas dentro do território do estado de Pernambuco, sendo dois postos equipados com estação meteorológica automática, onde os dados são coletados por meio de data logger, e três com pluviógrafo convencional, conforme SALGUEIRO\*. A Tabela 2.2 apresenta as cinco estações operadas pela CPRM / SGB, com suas coordenadas.

Tabela 2. 2 - Estações pluviográficas operadas pela CPRM em 2009.

Nome Estação	Tipo	Código	Latitude	Logitude
Manari	Automática	837055	-8,8761°	-37,7213°
Catimbau	Automática	837054	-8,6091°	-37,2438°
Ibó	Convencional	839031	-8,6231°	-39,2392°
Santa Maria da Boa Vista	Convencional	839035	-8,0417°	-39,8225°
Recife/Afogados	Convencional	834017	-8,0794°	-34,9036°

Fonte: CPRM

\*SALGUEIRO, J. (Superintendência Regional de Recife - SUREG/RE, CPRM). Comunicação pessoal, 2009.

### 2.6.3 Estações meteorológicas convencionais

O Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA dispõe atualmente de 10 (dez) estações meteorológicas convencionais (SECTMA, 1998). A Tabela 2.3 mostra os parâmetros meteorológicos observados nessas estações.

Tabela 2.3 - Parâmetros Meteorológicos Observados nas Estações do IPA

Estações	Precipitação	Temperatura			Umidade	Vento		Radiação
		Ar	Máxima	Mínima		Velocidade	Direção	
Araripina	X	X	X	X	X	X	X	
Belém do S. Francisco	X	X	X	X	X			X
Serra Talhada	X	X	X	X	X	X	X	
Arcoverde	X	X	X	X	X	X	X	
Caruaru	X	X	X	X	X	X	X	X
São Bento do Una	X	X	X	X	X	X	X	
Itambé	X	X	X	X	X	X	X	
Itapirema	X	X	X	X		X	X	
Vitória de Santo Antão	X	X	X	X	X	X	X	
Porto de Galinhas	X	X	X	X	X			

Fonte: SECTMA (1998)

Considerando que a área de abrangência de uma estação meteorológica convencional é um círculo de aproximadamente 75 km de raio (SECTMA, 1998), chega-se à conclusão que a atual distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais, em Pernambuco (Figura 2.3), não é satisfatória.

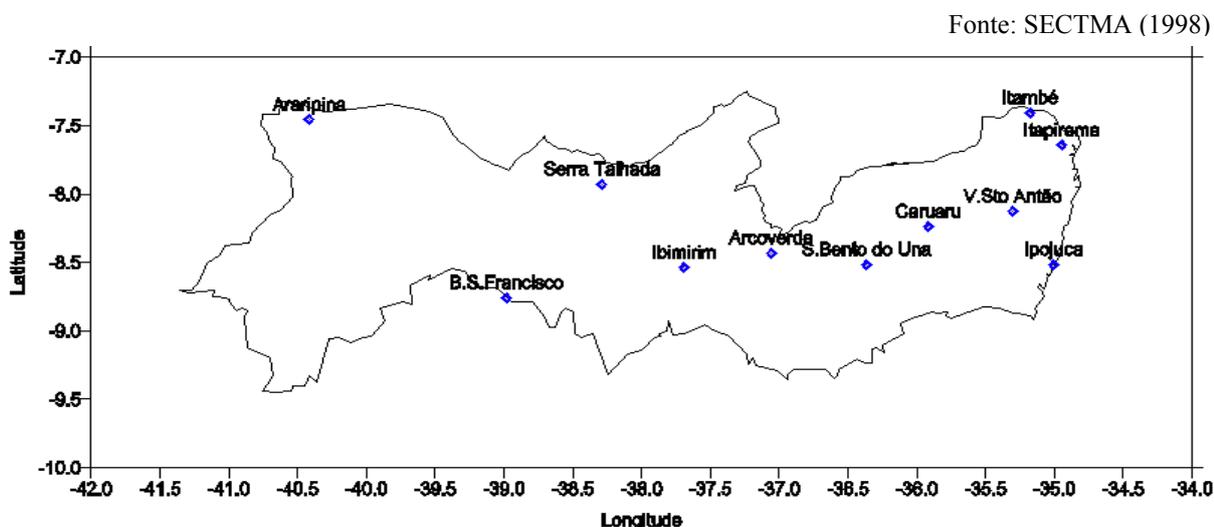


Figura 2.3 - Localização das Estações Meteorológicas Convencionais do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA.

No Sertão, cuja área representa mais de 60% do território estadual, faz-se necessária a instalação de pelo menos 18 (dezoito) novas estações, para melhor representatividade do clima e do tempo na região.

No Agreste, Zona da Mata e Litoral, existem apenas 7 (sete) estações convencionais, as quais são insuficientes para cobrir toda região, sendo necessárias, pelo menos, 12 (doze) novas estações. Segundo SECTMA (1998), a distribuição mínima de estações convencionais, para atender a demanda de informações meteorológicas, em Pernambuco, pode ser vista na Figura 2.4, onde podem ser distinguidas as novas estações (pontos pretos) e aquelas em funcionamento (losangos azuis).

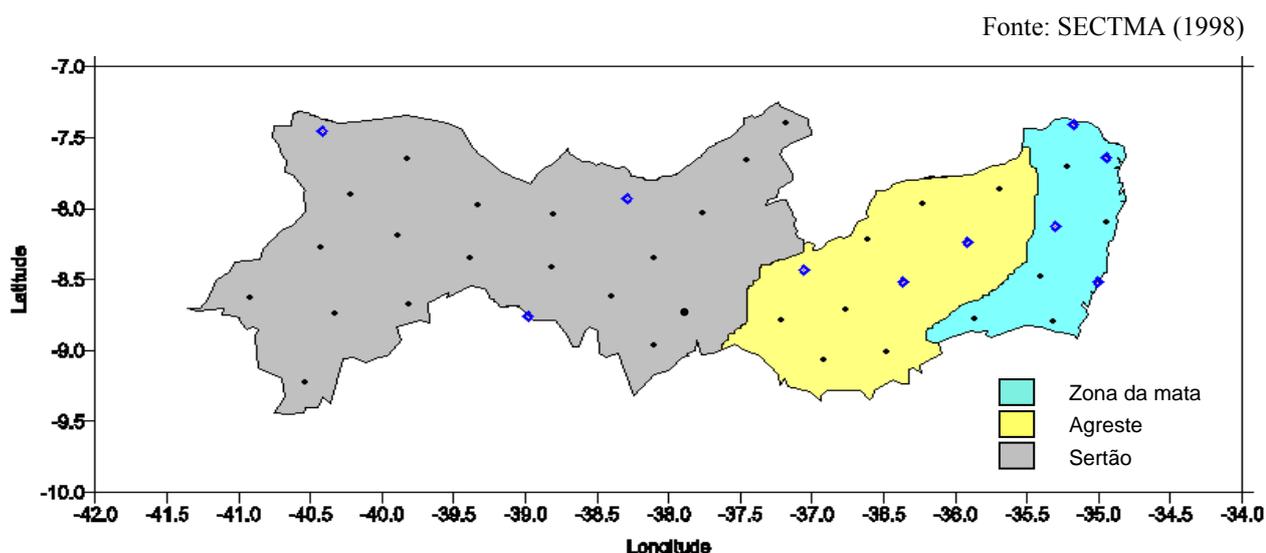


Figura 2. 4 - Distribuição Ideal das Estações Meteorológicas Convencionais.

Além das estações do IPA, o estado de Pernambuco dispõem de 8 estações meteorológicas convencionais de responsabilidade do 3º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – 3º DISME/INMET, conforme MOTA\* (Tabela 2.4).

Tabela 2. 4 - Estações operadas pelo INMET em 2009.

Estação	Latitude	Longitude	Data de Implantação
OURICURI	07°54'S	40°03'W	16/09/1975
GARANHUNS	08°53'S	36°31'W	01/02/1913
SURUBIM	07°50'S	35°43'W	01/10/1929
PETROLINA	09°22'S	40°28'W	01/01/1941
RECIFE	08°03'S	34°57'W	07/07/1961
PESQUEIRA	08°24'S	36°46'W	01/09/1911
TRIUNFO	07°49'S	38°07'W	01/06/1953
CABROBO	08°31'S	39°20'W	17/10/1927

Fonte: 3º DISME/INMET

\*MOTA, A.. (3º Distrito de Meteorologia, INMET). Comunicação pessoal, 2009.

## 2.6.4 Plataforma de coleta de dados

O Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE é responsável pela operação de 27 PCDs distribuídas no território pernambucano, conforme Tabela 2.5. Tais aparelhos transmitem os dados de chuva a cada 3 horas, sendo a estação de Pombos com transmissão a cada 1 hora.

Tabela 2.5 – PCDs operadas pelo LAMEPE em 2009.

Posto	Município	Data de instalação	Mesorregião
Afrânio - PCD	Afrânio	01/06/2000	Sertão Pernambucano
Araripina - PCD	Araripina	01/11/1995	Sertão Pernambucano
Arcoverde - PCD	Arcoverde	01/04/1997	Sertão Pernambucano
Barreiros - PCD	Barreiros	01/06/2000	Mata Pernambucana
Belém de São Francisco - PCD	São Francisco	01/02/1993	Sertão Pernambucano
Brejão - PCD	Brejão	01/06/2000	Agreste Pernambucano
Carpina - PCD	Carpina	03/09/2005	Mata Pernambucana
Caruaru - PCD	Caruaru	01/04/1997	Agreste Pernambucano
Fernando de Noronha - PCD	Fernando de Noronha	01/09/2002	de Fernando de Noronha
Floresta - PCD	Floresta	01/06/2000	Sertão Pernambucano
Goiana - PCD	Goiana	01/10/1999	Mata Pernambucana
Ibimirim - PCD	Ibimirim	01/10/1999	Sertão Pernambucano
Olinda - PCD	Olinda	01/01/2000	Metropolitana do Recife
Ouricuri - PCD	Ouricuri	01/06/2000	Sertão Pernambucano
Palmares - PCD	Palmares	01/06/1998	Mata Pernambucana
Petrolina (Bebedouro) - PCD	Petrolina	01/05/2003	Sertão Pernambucano
Petrolina - PCD	Petrolina	01/01/1999	Sertão Pernambucano
Petrolina (Timbaúba) - PCD	Petrolina	01/05/2003	Sertão Pernambucano
Pombos - PCD	Pombos	01/02/2008	Mata Pernambucana
Recife - PCD	Recife	01/06/1997	Metropolitana do Recife
Salgueiro - PCD	Salgueiro	01/06/2000	Sertão Pernambucano
São Bento do Una - PCD	São Bento do Una	01/10/1999	Agreste Pernambucano
São José do Egito - PCD	José do Egito	01/06/2000	Sertão Pernambucano
Serra Talhada - PCD	Serra Talhada	01/10/1999	Sertão Pernambucano
Sertânia - PCD	Sertânia	01/09/2005	Sertão Pernambucano
Vertentes - PCD	Vertentes	01/06/2000	Agreste Pernambucano
Vitória de Santo Antão - PCD	Vitória de Santo Antão	01/10/1999	Mata Pernambucana

Fonte: LAMEPE

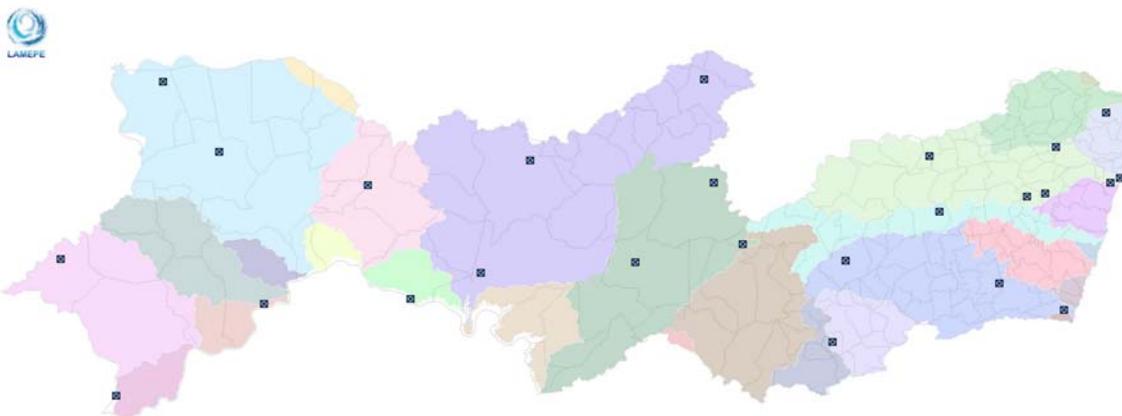


Figura 2. 5 - Distribuição espacial das Plataformas de Coleta de Dados.

### 2.6.5 Medidores de chuva do REHISA

Pesquisadores de universidades do nordeste criaram em 2001 a Rede de Hidrologia do Semi-Árido – REHISA, com o objetivo de desenvolver pesquisas conjuntas e manter atualizado e ordenado o conhecimento científico da hidrologia do semi-árido nordestino (REHISA, 2004). As universidades que fazem parte dessa rede são: Universidade Federal da Paraíba - UFPB; Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE; Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN ; Universidade Federal da Bahia - UFBA. Ainda em 2001, a REHISA criou o Projeto de Implantação de Bacias Experimentais do Semi-Árido – IBESA que, dentre as bacias geradas, estão a Bacia Experimental do Riacho Gameleira e a Bacia Experimental do Riacho Jatobá, ambas localizadas no território pernambucano. As duas bacias somadas possuem 13 instrumentos medidores de precipitação conforme Tabela 2.6.

Tabela 2. 6 – Medidores de precipitação da REHISA.

Bacia	Tipo	Ano de instalação
Gameleira	1 (uma) PCD	2001
Gameleira	2 (dois) Pluviógrafos convencionais	2003
Gameleira	Estação Climatológica automática completa	2003
Jatobá	3 (três) pluviômetros automáticos	2003
Jatobá	5 (cinco) pluviômetros Ville de Paris	2003
Jatobá	1 (um) pluviômetro alternativo – garrafa plástica	2003

## 2.7. – Processamento dos dados observados

### 2.7.1 *Processamento de dados de pluviógrafos*

Os pluviogramas provenientes dos pluviógrafos, são cuidadosamente examinados para detecção de erros grosseiros e devem ser, posteriormente, encaminhados ao setor de processamento de dados do órgão gestor. Atualmente, já estão disponíveis programas para digitalização dos gráficos registrados, como o GEDAC, desenvolvido pelo IPH, e o DMH, desenvolvido pela COPEL e CEHPAR (SANTOS *et al.*, 2001). Após digitalização, os resultados das observações são processados para o cálculo das chuvas máximas.

O Engenheiro norte americano Kuichiling, um dos primeiros a estudar o fenômeno de chuvas intensas, verificando que as chuvas de alta intensidade são de curta duração, estabeleceu a seguinte lei: “para uma mesma frequência de precipitação, em uma mesma região, a intensidade média das chuvas diminui à medida que se consideram durações maiores”. Em virtude desta lei, para os períodos de tempos menores, deve-se selecionar os trechos de maior inclinação do pluviograma, dividindo o tempo de duração das chuvas em períodos com durações variáveis (5, 10, 20, 30, ..., 1440 min) WILKEN (1978).

Para o primeiro período, de 5 minutos de duração, escolhe-se o trecho de traço mais inclinado. Para o segundo período e os subseqüentes, serão tomados trechos progressivamente menos inclinados, uma vez que quanto maior for a duração, menor será a intensidade da chuva.

No processamento de dados, são calculadas as intensidades das chuvas para todos os períodos considerados, sendo excluídas as chuvas que não ultrapassarem um limite mínimo de precipitação para cada duração. Daí decorre a definição de chuva intensa como aquela que, para cada duração, produz precipitação superior aos limites estabelecidos WILKEN (1978).

### 2.7.2 *Relação entre chuvas de diferentes durações*

Em regiões onde há escassez de dados de estações pluviográficas e necessita-se determinar equações de chuvas intensas, pode-se utilizar a metodologia de desagregação da chuva de um dia (precipitação registrada por pluviômetros, isto é, medida realizada em uma determinada hora do dia e que corresponde ao total diário) em chuvas de menor duração, a partir de dados de pluviômetros, como a proposta em TABORGA (1974) e pelo Método das Relações como em CETESB (1986).

A conversão da chuva de um dia, seguindo isozonas de semelhante regime desenvolvida por TABORBA (1974) indicado na Figura 2.6, a reverter as precipitações diárias em precipitações de 24 horas (registro da chuva de forma contínua, durante todo o dia), 1 hora e 6 min, respectivamente, segundo tabelamento desenvolvido por esses estudos (Tabela 2.7).

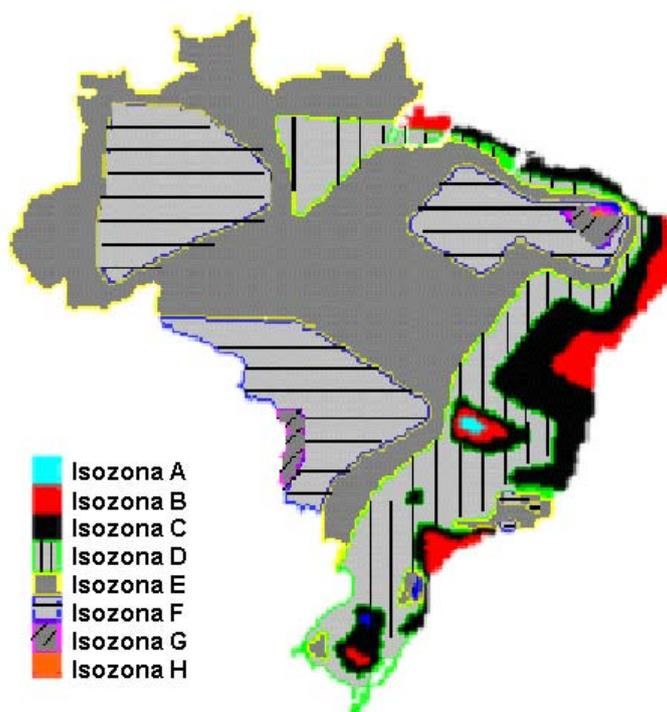


Figura 2. 6 - Isozonas de igual relação.

Fonte: TABORGA (1974)

Tabela 2. 7 - Valores para conversão de altura de chuva segundo a Zona escolhida.

Razão	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100
24h/1 dia	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
1h/24h	0,401	0,397	0,393	0,388	0,384
6min/24h	0,098	0,098	0,098	0,098	0,088

Fonte: TABORGA (1974)

CETESB (1986) desenvolveu uma tabela com razões entre as precipitações para 24h, 12h, 10h, 8h, 6h, 1h, 30min, 25min, 20min, 15min, 10min, 5min; relacionados a diferentes tempos de retorno. Tais razões puderam ser validadas segundo a relação de dados pluviométricos e pluviográficos coletados em 98 postos da região (PFAFSTETTER, 1982).

A partir de tabelas de “altura pluviométrica-duração-freqüência dos postos pluviográficos processados pelo DNOS, e que são apresentadas por CETESB (1986), essas relações podem ser calculadas para cada posto em particular. A análise dessa relação foi iniciada pela obtenção das alturas precipitadas para durações e tempos de recorrência diferentes, como exemplo dos dados do posto de Olinda (Tabela 2.8), o que permitiu o cálculo das razões entre as durações, gerando a Tabela 2.9.

Tabela 2. 8 - Valores das alturas pluviométricas para diferentes durações e tempos de recorrência a partir de dados pluviográficos da estação de Olinda-PE.

Altura Pluviométrica (mm)								
Duração	Período de Retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	60	100
5min	10,2	11,5	12,5	13,1	13,5	13,9	15	16,1
10min	17,4	20,6	23	24,4	25,3	26,1	28,4	30,7
15min	23,4	28,9	32,9	35,1	36,7	37,9	41,5	45
20min	27,6	34,2	39	41,8	43,7	45,1	49,6	54
25min	31	38,6	44,3	47,5	49,7	51,5	56,8	62,1
30min	34	42,6	48,9	52,6	55,2	57,2	63,3	69,4
1h	46,3	58,9	68,6	74,2	78,3	81,4	91,3	101,4
6h	83,1	107,6	126,9	138,5	146,9	153,4	174,3	196,2
8h	89,9	116,6	137,6	150,2	159,2	166,4	189,2	213,1
10h	95,4	123,6	145,8	159,1	168,7	176,2	200,3	225,5
12h	100,1	129,6	152,8	166,7	176,7	184,6	209,7	236
24h	120,6	155,5	182,8	199	210,7	219,8	248,9	279,2

Fonte: CETESB (1986). Drenagem Urbana: Manual de Projeto, São Paulo.

Tabela 2. 9 - Validação das razões entre diferentes durações para o posto de Olinda, seguindo valores médios para diferentes tempos de recorrência.

Relação entre durações	Período de Retorno (anos)								Média	CETESB
	2	5	10	15	20	25	60	100		
5min/30min	0,300	0,270	0,256	0,249	0,245	0,243	0,237	0,232	0,254	0,34
10min/30min	0,512	0,484	0,470	0,464	0,458	0,456	0,449	0,442	0,467	0,54
15min/30min	0,688	0,678	0,673	0,667	0,665	0,663	0,656	0,648	0,667	0,7
20min/30min	0,812	0,803	0,798	0,795	0,792	0,788	0,784	0,778	0,794	0,81
25min/30min	0,912	0,906	0,906	0,903	0,900	0,900	0,897	0,895	0,902	0,91
30min/1h	0,734	0,723	0,713	0,709	0,705	0,703	0,693	0,684	0,708	0,74
1h/24h	0,384	0,379	0,375	0,373	0,372	0,370	0,367	0,363	0,373	0,42
6h/24h	0,689	0,692	0,694	0,696	0,697	0,698	0,700	0,703	0,696	0,72
8h/24h	0,745	0,750	0,753	0,755	0,756	0,757	0,760	0,763	0,755	0,78
10h/24h	0,791	0,795	0,798	0,799	0,801	0,802	0,805	0,808	0,800	0,82
12h/24h	0,830	0,833	0,836	0,838	0,839	0,840	0,843	0,845	0,838	0,85

Fonte: CETESB (1986). Drenagem Urbana: Manual de Projeto, São Paulo.

Posteriormente, pode ser calculada a média entre os tempos de retorno estipulados para cada razão e em seguida, comparar com os valores estabelecidos por CETESB (1986), conforme Tabela 2.9. É perceptível que os valores estipulados estão superestimados quando estabelecida a comparação com as medias das razões (Tabela 2.9). Como também, a qualquer outra razão disponibilizada por tempo de recorrência, percebe-se uma superestimação dos valores das precipitações calculadas a partir dos valores máximos diários anuais.

Conforme citado por CETESB (1986), essas relações independem do período de retorno e os erros médios variam de 5 a 8%, que são da mesma ordem de grandeza dos erros devidos a deficiências de amostragem, significando que tais relações podem ser aplicadas com relativa confiança.

A metodologia empregada por BELTRAME *et al.* (1991) parte do pressuposto da existência de duas relações que tenham validade regional ou sub-regional. A primeira relação permite a estimativa dos valores adimensionais com o tempo de retorno  $T_r$ , dos totais precipitados com qualquer duração  $d$ , notados por  $X(T_r, d)/X_m(d)$ . A segunda relação permite a estimativa da média dos totais precipitados em determinada duração de chuva,  $X_m(d)$ , como função dessa duração. O produto do fator  $X(T_r, d)/X_m(d)$  por  $X_m(d)$  fornece a altura máxima precipitada para um dado período de retorno e uma dada duração. Os valores de intensidade máxima para uma dada duração e período de retorno  $I(T_r, d)$  são obtidos dividindo-se  $X(T_r, d)$  por  $d$ .

O método proposto por ROBAINA e PEITER (1992) supõe que exista uma expressão que defina matematicamente a relação entre o total precipitado em um tempo de duração qualquer e o total precipitado no período de 24 horas [Eq.(1)]:

$$P(t, T_r) = P(24) \times F(t) \times F(T_r) \quad ; \text{ sendo } t \text{ em minutos e } T_r \text{ em horas.} \quad (1)$$

em que,

$P(t, T_r)$  - lâmina total precipitada de duração e período de retorno preestabelecidos;

$P(24)$  - lâmina precipitada média com duração de 24 horas;

$F(t)$  - função de desagregação, e

$F(T_r)$  - função do período de retorno.

As funções de desagregação e do período de retorno são obtidas pelas seguintes equações:

$$F(t) = 0,0000768 t + 0,1396 \ln (1 + 0,3333 t) \quad (2)$$

Nessa expressão, o tempo de duração deve ser expresso em minutos:

$$F(T_r) = 0,4297^m \times T_r^m \quad (3)$$

O expoente  $m$  é função da duração da precipitação e é obtido pela seguinte expressão:

$$m = \frac{0,2086t}{(t + 4,5969)} \quad (4)$$

## 2.8. Análise de frequência de séries históricas

### 2.8.1 Tipos de séries

Os projetos de drenagem urbana são concebidos com a expectativa de que os condutos tenham suas capacidades de esgotamento superadas pelo menos uma vez em 5, 10 ou mais anos, em média. Para este fim, é necessário o conhecimento da frequência com que os eventos extremos ocorrem.

As relações entre intensidade, duração e frequência das chuvas intensas, são deduzidas das observações de chuvas durante um período de tempo longo, para que seja possível aceitar as frequências como probabilidades. Tais relações se traduzirão por curvas de intensidade-duração, uma para cada frequência, todas com caráter de regularidade WILKEN (1978).

Dois tipos de séries podem ser utilizados nas análises de frequência dos dados de chuva: as séries anuais que incluem a altura pluviométrica máxima de cada ano, e as séries parciais constituídas por alturas pluviométricas acima de um certo valor-base, independente do ano em que possam ocorrer.

A escolha do tipo da série depende do tamanho da mesma e do objetivo do estudo. As séries parciais fornecem resultados mais consistentes para períodos de retorno inferiores a 5 anos, e número de anos de dados menores que 12 anos (TUCCI, 2004).

Além disso, as duas séries contemplam, praticamente, os mesmos resultados para períodos de retorno superiores a 10 anos (CETESB, 1986).

### 2.8.2 Procedimentos de cálculo

Conforme informações de CETESB (1986), as alturas pluviométricas da série considerada devem ser relacionadas em ordem decrescente, associando-lhes a respectiva probabilidade de ocorrência  $p$  ou período de retorno  $T$ , avaliadas pelas seguintes expressões:

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (5)$$

$$T = \frac{1}{p} \quad \text{ou} \quad T = \frac{n+1}{m} \quad (6)$$

Onde:

$p$ = a probabilidade de um evento ser igualado ou superado em magnitude;

$m$ = o número de ordem;

$n$ = número de anos de registro considerado;

$T$ = período de retorno em anos.

Séries parciais: para séries parciais as alturas pluviométricas e os respectivos períodos de retorno devem ser plotados numa escala monolog ou bilog, definindo-se depois a curva de frequência graficamente e com períodos de retorno menores que 10 anos.

Séries anuais: para tais séries, um tratamento gráfico dos dados pode ser conseguido plotando-se as cargas pluviométricas máximas anuais, arranjadas em ordem decrescente de magnitude, e os períodos de retorno computados segundo a equação (6) acima, na escala da distribuição a ser empregada ou na escala log-probabilístico. Completa-se a análise, definindo-se a curva de frequência graficamente, CETESB (1986).

### 2.8.3 Modelos probabilísticos para dados hidrológicos

A formulação de modelos é um processo iterativo onde se inicia com um modelo escolhido que, por inspeção gráfica dos dados, pode representar razoavelmente suas características principais. A seguir, determina-se onde o modelo falha, plotando-se os valores ajustados pelo modelo e comparando com os dados observados. As discrepâncias entre os valores do modelo e os observados darão idéia de como o modelo escolhido deve ser modificado (TUCCI, 2004). Portanto, a função de utilizar modelos teóricos de distribuição de probabilidade, em estudos de chuvas intensas é de fazer uma ponte entre as distribuições empíricas (amostra conhecida) e as distribuições populacionais (amostra completa), procurando manter as características das séries históricas e gerar extrapolações de uma população.

A Seguir são apresentadas algumas distribuições comumente empregadas:

#### a) Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel apresenta a seguinte função cumulativa de probabilidade:

$$FCP : P[Y \leq y] = e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}} \quad (7)$$

$$z = \alpha(y - \mu) \quad (8)$$

Onde:  $\alpha$  e  $\mu$  são os parâmetros da distribuição. O parâmetro  $\alpha$  é o de escala e o parâmetro  $\mu$  de locação. Por meio do método dos momentos e com as estimativas amostrais  $\bar{x}$  (média aritmética) e  $s$  (desvio padrão), tem-se como resultado:

$$\alpha = 1,2826 / s \quad (9)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,451.s \quad (10)$$

Substituindo  $\alpha$  e  $\mu$  em (8), obtém-se a seguinte equação geral de CHOW (1964):

$$X = \bar{X} + K.s \quad (11)$$

$$K = 0,7797.z - 0,45 \quad (12)$$

Onde:  $X$ = valor da altura de precipitação para o tempo de recorrência adotado (mm);

$\bar{X}$  = média das alturas de precipitação (mm);

$K$ = Fator de frequência, função do tempo de recorrência;

Com os valores das alturas de precipitação, transformam-se as mesmas em intensidades médias de precipitação (mm/h), dividindo as alturas pelo tempo de duração da chuva.

#### b) Distribuição de Weibull

Segundo Weibull, que vem a ser resultado de uma transformação de uma distribuição de mínimos, foi desenvolvido também um tratamento de estimativas, baseado na aplicação da equação

13 como função cumulativa de probabilidades, para qual os parâmetros  $\mu$ ,  $\lambda$ ,  $\gamma$  são estimados a partir dos valores observados.

$$P[Z \geq z] = e^{-[(z-\gamma)/(\mu-\gamma)]^\lambda} \quad (13)$$

Para validar o parâmetro  $\lambda$  (Eq. 14) faz-se necessário o cálculo da estimativa amostral de assimetria,  $g(x)$  (equação 15). Por conseguinte, a estimação de  $\mu$  e  $\gamma$  é dada pelas equações 16 e 17, requerendo o prévio cálculo da média aritmética  $\bar{x}$ , e o desvio padrão da amostra  $S^2$  (RIGHETTO, 1998; TUCCI, 2004).

$$\frac{1}{\lambda} = 0,27777579 + 0,3132617714 \cdot g(x) + 0,057567091 \cdot g(x)^2 - 0,0013038566g(x)^3 - 0,0081523408 \cdot g(x)^4 \quad (14)$$

$$g(x) = \left\{ \left[ \sum (x - \bar{x})^3 \right] / N \right\} s^3 \quad ; N: \text{total da amostra} \quad (15)$$

$$\mu = \bar{x} + s \cdot [1 - \Gamma(1 + 1/\lambda)] \cdot [\Gamma(1 + 2/\lambda) - \Gamma^2(1 + 1/\lambda)]^{-1/2} \quad ; \Gamma: \text{função gama} \quad (16)$$

$$\gamma = \mu - s \cdot [\Gamma(1 + 2/\lambda) - \Gamma^2(1 + 1/\lambda)]^{-1/2} \quad (17)$$

c) outras distribuições

Além das distribuições de Gumbel e Weibull, outras são utilizadas em trabalhos sobre chuvas intensas, tais como: Log Normal a dois e três parâmetros, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III. Tais funções de densidade de probabilidade ( $P_x$ ) são representadas, respectivamente, pelas equações 18, 19, 20 e 21.

$$P_x = \frac{1}{x\alpha_y \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\right\} \quad (18)$$

$$P_x = \frac{1}{(x-a)x\alpha_y \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x-a) - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\right\} \quad (19)$$

$$P_x = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\gamma}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right\} \quad (20)$$

$$P_x = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{\ln x - \gamma}{\alpha}\right\} \quad (21)$$

Sendo que:

$x$  – intensidade máxima média de precipitação,  $\text{mmh}^{-1}$ ;

$\alpha$  – parâmetro de escala;

$\beta, \gamma, \mu$  – parâmetros de locação;

$\mu_y$  – média dos logaritmos neperianos da variável  $x$ ,  $\text{mmh}^{-1}$ ;

- $\sigma_y$  – desvio padrão dos logaritmos neperianos da variável  $x$ ,  $\text{mmh}^{-1}$ ;  
 $a$  – limite inferior, e  
 $\Gamma(\beta)$  – função gama.

## 2.9. – Equações de chuvas intensas

### 2.9.1 Forma geral

Conforme TUCCI (2004), para fins de projetos de obras hidráulicas, os estudos das ocorrências de chuvas têm como finalidade o conhecimento de três grandezas que caracterizam as precipitações máximas e que são parâmetros de uma equação de chuvas intensas, sendo eles: intensidade, duração e frequência.

A equação utilizada para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial apresenta a seguinte forma geral (VILLELA e MATTOS, 1975). É por meio de tais equações que são geradas as curvas IDF.

$$i = \frac{K \times T_r^a}{(t + b)^c} \quad (22)$$

Em que:

$i$  - intensidade máxima média de chuva,  $\text{mm/h}$ ;

$T_r$  - período de retorno, anos;

$t$  - duração da chuva,  $\text{min}$ ;

$k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - parâmetros empíricos que dependem da estação pluviográfica.

Outras funções também podem ser utilizadas para determinação das intensidades de chuvas intensas, tal como a equação utilizada por COSTA e BRITO (1999) que contem sete parâmetros e envolvendo a intensidade a duração e o período de retorno, conforme Equação 23.

$$i = \frac{B \left( T_r^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} \right) \delta}{(t + b)^c} \quad (23)$$

Em que:

$i$  - intensidade máxima média de chuva,  $\text{mm/min}$ ;

$T_r$  - período de retorno, anos;

$t$  - duração da chuva,  $\text{min}$ ;

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  - parâmetros regionais associados ao período de retorno;

$B$ ,  $b$ ,  $c$  – são parâmetros que descrevem características locais.

Os parâmetros  $b$  e  $c$  expressam a relação existente entre a intensidade  $i$  e a duração  $t$ , para um local específico. O parâmetro  $B$  possui também uma componente local. Já os demais parâmetros ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) são absolutamente constantes para a região onde se encontram as estações pluviográficas e descrevem a forma da curva que relaciona a intensidade  $i$  e a duração  $t$  com o período de retorno  $Tr$ .

### 2.9.2 Métodos para determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas

Os resultados obtidos na análise de frequência servirão de base para a determinação dos coeficientes da equação empírica de chuvas intensas para cada um dos postos analisados, que poderão ser obtidos por meio de Regressão Linear ou Regressão Não-Linear.

#### a) Regressão Linear

A simples visualização de um diagrama de dispersão sugere a existência de uma relação funcional entre duas variáveis. Essa observação introduz o problema de se determinar uma função que exprima esse relacionamento. A análise de regressão é uma técnica estatística cujo escopo é investigar e modelar a relação entre variáveis.

Um dos modelos existentes para determinar tais funções é o Método dos Mínimos Quadrados que tem como objetivo encontrar uma equação de regressão que minimize a soma dos quadrados das distâncias entre a função ajustada e os pontos observados, onde os coeficientes de uma reta podem ser estimados através de pontos experimentais fornecidos por uma amostra.

#### b) Regressão Não-Linear

No caso da Regressão Não-Linear, na maioria das vezes, as formulações de possíveis modelos são baseadas em considerações teóricas inerentes ao fenômeno que se tem interesse modelar. Modelos formulados desta forma são chamados de modelos mecanísticos (SEBER e WILD, 1989; BATES e WATTS, 1988).

Por definição, um modelo de regressão é não-linear se pelo menos um dos seus parâmetros aparecem de forma não-linear. Por exemplo, os modelos das Equações 24 a 27 são todos não-lineares e o operador  $E(y)$  denota a função esperança ou função de regressão, que são equações matemáticas que relacionam variáveis com suas probabilidades associadas à um espaço amostral. No modelo (23), os parâmetros  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são não-lineares. No modelo (24),  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são lineares enquanto que  $\theta_3$  é não-linear. Já nos modelos (25) e (26), ambos os parâmetros  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são não-lineares.

$$E(y) = \exp(\theta_1 + \theta_2 x) \quad (24)$$

$$E(y) = \theta_1 + \theta_2 \exp(-\theta_3 x) \quad (25)$$

$$E(y) = (\theta_1 + \theta_2 x)^{-1} \quad (26)$$

$$E(y) = (\theta_1 - \theta_2)^{-1} [\exp(-\theta_1 x) + \exp(-\theta_2 x)] \quad (27)$$

## 2.10. – Estudos de chuvas intensas no Brasil

DAMÉ et al. (2008) compararam as metodologias de desagregação de precipitações diárias para verificar o ganho de informação em termos de curvas IDF, comparadas àquela obtida a partir de dados observados (histórica), utilizando-se uma série de 17 anos de registros pluviográficos de Pelotas – RS (1982 a 1998). Para o caso dos dados pluviométricos, utilizou-se uma série de dados de precipitação diária de Pelotas - RS com o mesmo período de tempo. Os métodos utilizados foram: (a) Método das Relações (CETESB, 1986); (b) BELTRAME *et al.* (1991); (c) ROBAINA e PEITER (1992); (d) Modelo Bartlett-Lewis do Pulso Retangular Modificado (DAMÉ, 2001). Para estimar as curvas IDF, a partir dos registros históricos, foram estabelecidas as durações de 15; 30; 60; 360; 720 e 1.440 minutos, e os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Os valores de intensidades máximas foram comparados entre si, pelo teste “t” de Student, para os coeficientes lineares e angulares, e pelo Erro Relativo Médio Quadrático. Para a série de precipitação analisada, o método que melhor representou a amostra de dados de intensidades máximas de precipitação para a localidade de Pelotas - RS, nos períodos de retorno de 2 e 10 anos, foi o Método das Relações entre durações (CETESB, 1986), sendo esse, portanto, o recomendado para desagregar a precipitação diária. Para o período de retorno de 5 anos, o Método das Relações entre durações não apresentou bons ajustes. Além disso, citou-se a maior facilidade de aplicação do Método das Relações em relação aos demais métodos de desagregação de chuvas de duração diária.

DAMÉ et al. (2006) verificaram o desempenho das estimativas de valores de intensidade-duração-frequência de ocorrência da precipitação (IDF), utilizando o Método das Relações (MR) para desagregar a chuva diária e obter a IDF, para cinco cidades do Rio Grande do Sul (Bagé, Pelotas, Rio Grande, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar). Foram utilizadas séries de dados de precipitação máxima diária, por meio da qual se constituíram séries de dados de precipitação máxima diária anual, uma para cada localidade, bem como cinco curvas IDF obtidas de dados pluviográficos, das referidas localidades. Então, foram comparados, por meio do cálculo do Erro Padrão da Estimativa (EPE), os valores de intensidades máximas obtidos pelo MR com aqueles obtidos através da equação analítica (pluviógrafos). Baseando-se nos resultados obtidos, a cidade que apresentou menor EPE foi Pelotas, variando de 0,46 a 0,76, significando que a intensidade máxima de precipitação obtida com a equação IDF e o MR foram semelhantes. Porém, para as outras localidades isto não foi verificado. A razão pela qual isto tenha ocorrido pode ser atribuída aos limites de validade das equações analíticas, tanto em termos de duração quanto ao período de retorno, bem como pelo fato das equações IDF de Pelotas e das demais localidades possuírem formas diferentes.

MATOS (2006) apresentou o estudo das máximas intensidades de chuva observadas no estado da Bahia, utilizando-se de dados de pluviogramas de 24 postos pluviográficos com período de dados variando de 10 a 49 anos. As equações de chuvas obtidas para o estado da Bahia foram determinadas a partir da utilização dos dois tipos de séries (parcial e anual) com a finalidade de estabelecer comparações, fornecer aos futuros usuários possibilidades de confronto entre os resultados e facilitar decisões. Para análise de frequência, os dados foram ajustados à distribuição de extremos de Gumbel. A metodologia utilizada para determinação dos parâmetros das equações foi a da regressão linear por meio de mínimos quadrados, semelhantemente ao método utilizado por WILKEN (1978), com uma diferença quanto escolha do parâmetro para melhor ajuste das equações. Como resultado, foram determinadas as equações de chuvas intensas para os postos em questão, sendo a duração das precipitações variando de 5 a 60 min, na maioria dos casos. Além disso, foram realizadas comparações entre as relações IDF determinadas por meio de séries parciais e anuais. Os períodos de retorno utilizados nos cálculos foram de 2, 5, 10, 25 e 50 anos. Para os períodos de 25 e 50 anos, os resultados apresentaram maior discrepância entre os valores observados utilizando-se das séries anuais e parciais. Também foram estudadas comparações entre equações obtidas neste trabalho e funções gerados no trabalho da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Apesar de os postos comparados estarem em uma mesma região microclimática, foram encontradas diferenças entre as intensidades máximas médias para cada duração, evidenciando o cuidado que deve ser tomado ao se tentar adotar dados de intensidade de uma localidade para o uso de projetos em outra localidade.

CASTRO *et al.* (2005) definiram a equação intensidade – duração – frequência (IDF), com base nos dados de precipitação do posto pluviográfico da Via 11 – RJ – Brasil, sendo os parâmetros da equação determinados pela metodologia de WILKEN (1978). Os resultados da equação foram comparados com valores de intensidade extraídos de uma equação elaborada por meio da metodologia de Bell (1969), supondo que não houvesse disponibilidade de dados pluviográficos para o posto em questão. Observou-se, na situação mais crítica, que os valores máximos resultantes foram da ordem de 23% maiores. Como resultado, verificou-se que para as durações mais longas, as diferenças entre os dois métodos foram pequenas. Porém, quanto menor a duração, menores foram os valores de intensidades com base nos dados dos pluviógrafos, em comparação com o pluviômetro. Concluiu-se que a equação deva ser usada, com as ressalvas próprias aos trabalhos hidrológicos. Além disso, é possível aprimorar o trabalho realizado, quando do aumento da disponibilidade de observações de precipitação, demonstrando também a importância da continuidade da coleta de dados hidrológicos.

OLIVEIRA *et al.* (2005) obtiveram relações de intensidade-duração-frequência para algumas localidades dos estados de Goiás e Distrito Federal, empregando-se a metodologia de desagregação

de chuvas de um dia, proposta por CETESB (1986). Para tal, foram utilizados os dados pluviométricos da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, com média de 25 anos de observações diárias. As distribuições dos valores extremos foram ajustadas pelo método de Gumbel, que por sua vez teve sua aderência verificada pelo teste de Sminorv-Kolmogorov, no nível de 1% de significância. As relações geradas com essa metodologia apresentaram desvios relativos médios que variaram de -1,6 a 43,9%, para algumas localidades, limitando sua utilização nos locais onde não se ajustaram as equações de regressão.

SILVA *et al.* (2003) aplicaram a metodologia de regionalização, proposta por HOSKING e WALLIS (1997), utilizando o método dos momentos-L na definição de regiões homogêneas, para análise de frequência regional de chuvas intensas, na bacia do Rio Doce. A aplicação do método de regionalização foi justificada, no referido trabalho, em função da escassez de dados pluviográficos. Com isso, os objetivos deste trabalho consistiram em identificar regiões homogêneas, ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade e estabelecer equações IDF. Foram selecionadas 31 estações pluviográficas localizadas na bacia do Rio Doce, pertencentes às redes da ANA (Agência Nacional de Águas) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), sendo utilizadas as séries anuais para análise de frequência das chuvas intensas. As estações foram agrupadas em cinco regiões, utilizando os métodos aglomerativos hierárquicos de Ward e de K-médias, sendo, em seguida, aplicada a metodologia de regionalização baseada nos momentos-L para determinação dos parâmetros de distribuição regional. O método de regionalização hidrológica, aplicada neste trabalho, permite determinar equações de intensidade, duração e frequência para qualquer local dentro da região homogênea, bastando para isso conhecer a precipitação média anual.

FENDRICH (2003) determinou as equações de chuvas intensas para 37 estações no estado do Paraná, utilizando séries que possuíam períodos de 10 a 37 anos de dados, com exceção da estação de Curitiba-Prado Velho (PUC), com apenas oito anos de dados. Até o ano de 1985 existiam apenas três relações e, no período de 1986 a 2003, foram determinadas as 37 relações IDF para o estado do Paraná, que enriqueceram a cobertura espacial do Estado. Para determinação das alturas de precipitação, utilizou-se a equação geral de CHOW (1964) com aplicação do Método de Gumbel, finalizando com os ajustes da equação da relação intensidade-duração-frequência empírica por meio do Método dos Mínimos Quadrados. Além disso, por meio da metodologia de CHEN (1983), foi possível determinar 5 (cinco) equações regionais no estado do Paraná que representam as estações com mesmo comportamento hidrológico, empregando-se relações matemáticas auxiliares e a mesma metodologia utilizada na obtenção das 37 relações de chuvas intensas. Por fim, foram desenvolvidos 18 (dezoito) Mapas Isopluviais para o estado do Paraná, para tempos de recorrência TR= 3, 19 e 50 anos, e tempo de duração da chuva  $t= 10, 20, 30, 60, 90$  e 120 min, respectivamente.

SILVA *et al.* (2002) analisaram 19 estações pluviográficas no estado da Bahia, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, com séries históricas de 10 a 24 anos de observação, para ajustar modelos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas. Observa-se que não foi adotado um período base de dados para todas as estações em função da não coincidência de seus períodos. No estudo, foram testados os modelos: Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III. As equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial foram ajustadas utilizando-se o método de Regressão Não-Linear de Gauss-Newton. O modelo de Gumbel foi o que melhor se ajustou para a maior parte das combinações entre estações pluviográficas e durações estudadas. Como um dos resultados do estudo, observou-se que erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade, considerando-se os dados pertinentes a outra localidade, tendem a crescer com o aumento da duração.

DAVIS & NAGHETTINI (2001) desenvolveram um estudo de chuvas intensas no âmbito do Projeto Rio de Janeiro. Neste trabalho, adotou-se a análise de freqüência regional por meio da metodologia de HOSKING e WALLIS (1997) e através do método de regionalização index-flood com a utilização de momentos-L e do emprego das estatísticas-L, possibilitando a estimativa de parâmetros em locais que não possuam uma coleta sistemática de informações. Com a análise de 50 estações pluviométricas, informações fisiográficas, climatológicas e o mapa isoietal de precipitação média anual do estado do Rio de Janeiro, foram identificadas quatro regiões homogêneas. Após obtenção das regiões homogêneas, foram montadas as séries parciais, utilizando-se de dados de pluviogramas de 34 estações com período de dados variando de 8 a 49 anos, que foram selecionados de acordo com intensidades que excedessem um limite mínimo para cada duração. Os limites foram adotados segundo os propostos por PFAFSTETTER (1982) e WILKEN (1978). Como resultado final, foram definidas quatro equações regionais de chuvas intensas para o estado do Rio de Janeiro, sendo cada uma para sua respectiva região homogênea.

OLIVEIRA *et al.* (2000) procederam com a estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidade do estado de Goiás, por meio da metodologia de desagregação de chuva de um dia proposta por CETESB (1986), permitindo comparar os resultados com os valores de intensidade de equações ajustadas com dados de pluviogramas obtidos por COSTA e BRITO (1999), sendo observados erros relativos médios da ordem de 14,4%. Tal trabalho foi justificado em função da escassez de registros pluviográficos, dos obstáculos para sua obtenção, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observação disponível, além do trabalho exaustivo para interpretação dos pluviogramas. Para o trabalho, foram utilizados os dados de 12 estações da ANEEL com média de 25 anos de registros diários, sendo utilizada para como função de distribuição de valores extremos a distribuição de Fisher-Tippell do tipo I (Gumbel). Verificou-se

que os valores de intensidade máxima média de precipitação obtidos pelas equações geradas neste trabalho, para um período de retorno de 10 anos, apresentaram um bom ajuste linear com os registros de pluviógrafos, obtendo valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 99,0%.

ARAGÃO *et al.* (2000) estabeleceram relações de intensidade-duração-frequência para várias localidades no estado da Paraíba a partir de um banco de dados com razoável disponibilidade de informações, abrangendo as principais regiões do Estado. Neste trabalho, foram usados dados de 15 postos na Paraíba, sendo 14 postos do banco de dados da SUDENE e 1 posto da UFPB, com período de registros variando de 7 a 30 anos. Com base nos dados, foram estabelecidas séries anuais para as estações com mais de 10 anos de registro e séries parciais para estações com menos de 10 anos de registros. Para análise de frequência das séries, aplicou-se o método de CHOW (1964) com fator de frequência calculado pelo método de Gumbel. Além disso, os coeficientes da equação de chuvas intensas foram regionalizados através de interpolação pelos métodos de Krigging e Inverso da Distância, por meio do programa *SURFER* versão 6.0, definindo isolinhas dos coeficientes.

GENOVEZ e ZUFFO (2000) realizaram estudos com o objetivo de apresentar a maioria dos trabalhos já desenvolvidos sobre as equações IDF do estado de São Paulo, procurando ressaltar o tamanho das séries, o período de abrangência e os intervalos de aplicabilidade, além de fazer uma análise comparativa entre os diferentes métodos para obtenção das equações de chuvas intensas, ressaltando a aplicabilidade de cada método, suas virtudes e defeitos. Dos estudos existentes, foi citado o trabalho de PFAFSTETTER (1982) que determinou equações para 15 postos do Estado e que também foram apresentados mapas de isoietas de intensidade de chuvas. O trabalho de UEHARA *et al.* (1980) sobre uma equação generalizada para o estado de São Paulo, utilizando a mesma metodologia de BELL (1969), também foi mencionado neste estudo. Em seguida, surgiram as equações de CHEN (1983) e HERNANDEZ (1991). Posteriormente foram apresentados dois trabalhos comparativos entre 5 equações IDF generalizadas para o estado de São Paulo, por GENOVEZ *et al.* (1994) e GENOVEZ e PEGORARO (1998), onde de uma maneira geral, os resultados apresentaram desvios relativos, entre as equações estudadas, de 15% e 10% respectivamente. A respeito dos trabalhos que relacionam chuvas de um dia com chuvas de 24 horas, estão citados os trabalhos de OCCHIPINTI e SANTOS (1965), TORRICO (1974), CETESB (1986) e GENOVEZ *et al.* (1994). Em tais trabalhos, observou-se que essas chuvas guardavam uma relação quase constante e independente do período de retorno, cujo valor médio é da ordem de 1,14, variando de 1,13 a 1,15. Quanto aos mapas de isoietas para durações de até um dia, foram mencionados alguns trabalhos como: SETZER (1973), PINTO *et al.* (1976) e BANZATTO e BENINCASA (1986). Após este vasto estudo, foram tiradas conclusões tais como: o trabalho pioneiro de PFAFSTETTER (1982) só deve ser utilizado quando não se dispuser de dados mais recentes; a utilização das curvas IDF fora dos limites para os quais foram deduzidas pode levar a

grandes erros; o fenômeno das pequenas variações das equações generalizadas pode ser explicado provavelmente pelas dimensões e propriedades comuns dos mecanismos de chuvas convectivas, responsáveis pelas altas intensidades e curta duração das chuvas em diferentes partes do mundo. Apesar de os estudos sobre equações generalizadas apresentarem desvios inferiores a 15%, alguns locais não apresentaram bons ajustes, visto que para determinadas durações e períodos de retorno, os desvios chegam a 45%; a utilização de um número maior de postos com séries mais longas deve melhorar os resultados das funções generalizadas; para uma melhor definição das relações de chuvas de diferentes durações é necessário um maior número de postos pluviográficos; e muitos mapas de isoietas são obtidos a partir de poucos postos, o que pode levar a valores não significativos para algumas regiões, principalmente se os postos não foram bem distribuídos e representativos das diferentes condições climáticas da área de estudo.

MARTINEZ JUNIOR (1999), incorporando a expressão proposta por CHOW (1964) para análise hidrológica, utilizando o banco de dados da Rede Pluviográfica do Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH, definiu 21 equações de chuvas intensas para localidades situadas em regiões do estado de São Paulo onde não havia tais funções. Além disso, atualizou 9 equações de chuvas em locais que já contavam com equações anteriormente elaboradas. Para seleção das 30 estações utilizadas nos estudos foram levados em consideração os seguintes critérios: distribuição territorial, variabilidade da altitude, população e importância econômica das localidades, número de registros de anos de chuvas e qualidade dos dados disponíveis. Como uma das conclusões do estudo, definiu-se que uma série de dados históricos de 20 anos é suficiente para determinar, de forma consistente, os valores da média e do desvio-padrão, conseqüentemente, as equações de chuvas intensas.

SILVA *et al.* (1999) ajustaram modelos de distribuição aos dados de 13 estações pluviográficas localizados no Rio de Janeiro e Espírito Santo utilizando-se o método de regressão não linear de Gauss-Newton. Além disso, foram estimados e espacializados os parâmetros da equação de intensidade-duração-freqüência para ambos os Estados, sendo a espacialização dos mesmos, por meio do programa *PLUVIO1.0*, desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - UFV que se utiliza de técnicas de interpolação. Com a espacialização, as equações de chuvas intensas poderão ser obtidas para qualquer localidade do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Para realização deste trabalho, foram utilizados os dados das estações pluviográficas operadas pelo 6º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET). Os modelos de distribuição de eventos extremos máximos ajustados foram os seguintes: Gumbel, Log-Normal e a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson tipo III. Após a análise dos resultados, verificou-se que o modelo de Gumbel foi o que melhor se ajustou em todas as durações estudadas. Observou-se também que os parâmetros das equações de chuvas intensas

apresentaram uma alta variabilidade, demonstrando assim, a grande importância da obtenção das relações IDF.

COSTA e BRITO (1999) determinaram 17 equações de chuvas intensas distribuídas pelo estado de Goiás, atingindo ainda o sul de Tocantins, utilizando o método da estação-ano para chegar ao ajustamento de sete parâmetros, onde 3 (três) parâmetros descrevem características locais, enquanto que os 4 (quatro) demais possuem abrangência regional e que estão associados ao período de retorno. Para seleção das estações, foi observada a disponibilidade de registros pluviográficos e a localização em relação às demais, a fim de obter uma distribuição mais uniforme para o Estado. Neste trabalho, concluiu-se que tendo em vista as características morfológicas de terreno plano e pouco ondulado, é possível obter a estimativa de chuva intensa para qualquer localidade por meio de interpolação e/ou extrapolação de resultados de intensidades conhecidas nas 17 estações pluviográficas pesquisadas.

COSTA (1999) comparou os resultados da aplicação de duas equações de chuva para um mesmo local, que é a cidade de Goiânia. Coincidentemente, puderam ser determinadas duas equações de chuva para a cidade de Goiânia, com emprego de séries históricas de registros pluviográficos de duas épocas distintas, uma até a década de 1950 e outra de 1977 a 1990, respectivamente, por PFAFSTETTER (1982) e por COSTA *et al.* (1995). Para determinação das duas equações de chuvas empregou-se o método da estação-ano, e observou-se que os parâmetros regionais se tornaram exatamente os mesmos nas duas novas equações de Goiânia, enquanto ainda permanecia uma diferença em relação aos parâmetros locais. Por se tratar da mesma cidade de Goiânia e, mais, havendo uma distância de apenas 8,3 km entre as duas estações é natural que houvesse interesse pela comparação entre os resultados. Após comparação dos resultados das duas estações, foram observados desvios significativos de até 21,8% entre as duas relações IDF. Neste trabalho, concluiu-se ser inadequado justificar os desvios em função dos registros terem ocorrido em décadas diferentes ou por causa da distância entre os dois postos. Além disso, registrou-se que houve diferenças na maneira de interpretar os pluviogramas. Por fim, recomendou-se que os dados de várias estações fossem utilizados para estimar os parâmetros locais de uma equação de chuva. Ou seja, modifica-se o conceito clássico, onde uma equação possui validade para o local em que foram analisados os registros pluviográficos, e a esse local seus parâmetros ficam restritos, para o conceito estatístico em que uma equação de chuva é montada a partir de interpolações ou extrapolações com diversas outras equações.

FENDRICH (1999) apresentou a necessidade de estudos, pesquisas e projetos na área de Drenagem Urbana, destacando a importância na determinação de equações de chuvas intensas, a fim de uma correta avaliação das vazões de projeto, a serem utilizadas no dimensionamento adequado das estruturas e obras de drenagem. Este trabalho mostrou o exemplo das 31 equações de

chuvas intensas determinadas para o estado do Paraná, a fim de incentivar órgãos gestores e gerenciadores dos recursos hídricos, das esferas estaduais e federal para que canalizem esforços e recursos financeiros a fim de proporcionar um recobrimento adequado, em termos do Território Nacional, das relações IDF, informação hidrológica básica para sistemas de drenagem urbana. Foram citados no referido estudo: as principais causas e efeitos da urbanização crescente nas bacias hidrográficas, sobre o escoamento superficial; a importância da determinação das relações IDF dentro de uma política de drenagem urbana, principalmente nas áreas de conhecimento da sociologia para escolha do tempo de recorrência e da hidrologia estatística para determinação das chuvas de projeto. Além disso, concluiu que muitos engenheiros projetistas ainda apresentam enormes dificuldades na aplicação dos métodos hidrológicos para o cálculo das vazões de projeto, onde, está embutida a intensidade da chuva de projeto, e que os órgãos gestoras pelas obras de drenagem, o poder público, a ABNT e os centros de pesquisas dirijam esforços para prover recursos, divulgação, estudos e orientações para o desenvolvimento das equações de intensidade-duração-freqüência.

ROBAINA (1996) testou o desempenho de um modelo desenvolvido para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24 horas no estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuvas coletados por pluviômetros. A expressão matemática para desagregação da chuva foi obtida com base na expressão fornecida por PFAFSTETTER (1982). O modelo mostrou ser adequado, uma vez que os desvios máximos foram em torno de 15%, quando as chuvas estimadas foram comparadas com as observadas em 32 localidades desse estado.

PFAFSTETTER (1982) apresentou curvas de intensidade-duração-freqüência para 98 estações pluviográficas distribuídas em todo Brasil, utilizando períodos distintos e séries com tamanhos diferentes, como por exemplo, menores que três anos. A importância desse trabalho deve-se ao pioneirismo no assunto e pela grande área de abrangência.

Até a presente data, as equações de chuvas intensas utilizadas no estado de Pernambuco são obtidas de postos localizados em Igarassu, Recife, Nazaré da Mata e Olinda. As equações de Igarassu, Nazaré da Mata e Olinda foram determinadas por PFAFSTETTER (1982), no seu trabalho de Chuvas Intensas no Brasil. A equação de chuvas intensas aplicável a toda Região Metropolitana do Recife foi determinada, em 1997, após a apresentação da proposta do Plano Diretor da Macrodrenagem da Região Metropolitana da Cidade do Recife em 1985 pela ACQUAPLAN (MELO *et al.*, 2006). Para determinação da relação IDF da RMR foram utilizados os dados pluviográficos e leituras pluviométricas das estações de Olinda e Curado, que juntas perfaziam 25 anos de registros. Daí estabeleceu-se que, para um determinado período de retorno a intensidade de uma chuva com a duração definida, é dada por:

$i$  = máximo entre  $i_1$  e  $i_2$ , onde:

$$i_1 = \frac{456.768 (T - 1.5)^{0.117} \times (1 - 4.54 \times 10^{-21} \times (t)^8)}{(t + 6)^{0.5811}} \quad (28)$$

$$i_2 = \frac{72.153 (T - 1.75)^{0.173}}{(t/60 + 1)^{0.74826}} \quad (29)$$

T: o período de retorno, em anos

t: duração da chuva, em minutos,

i: intensidade da chuva em mm/hora.

## ***CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS***

### 3.1. – Seleção das precipitações para estabelecimento das séries

Neste trabalho foram utilizados os dados das estações pluviográficas disponíveis para o estado de Pernambuco, pertencentes à antiga SUDENE, perfazendo 12 postos pluviográficos selecionados (Tabela 3.1), com séries históricas de 8 a 14 anos de observações, abrangendo o período de 1965 a 1995. Os registros pluviográficos das estações da SUDENE foram fornecidos pelo Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco que dispunha de um arquivo magnético com dados de 30 postos, dentre os quais, 19 não foram utilizados no referido trabalho, pois não se enquadravam nos objetivos do estudo, uma vez que possuíam séries menores que 10 anos ou até mesmo períodos que não serviriam para formação de séries parciais.

Além disso, para determinação de equações IDF por meio de dados pluviométricos, foram utilizados os dados dos postos pluviométricos existentes no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, perfazendo 11 postos (Tabela 3.1). Tais estações possuem a mesma localização dos postos pluviográficos, com exceção de Fernando de Noronha, uma vez que não havia registro de dados na ANA. O objetivo da escolha dos postos pluviométricos é de realizar uma análise comparativa com as equações geradas por meio dos dados pluviográficos.

Tabela 3.1 - Características das estações pluviográficas e pluviométricas selecionadas para o estado de Pernambuco.

Sub Bacia	Estação	Código do Posto	Latitude	Longitude	Altitude	Nº de anos (pluviógrafo)	Nº de anos (pluviômetro)
48	Araripina (São Gonçalo)	3758187	-7,5500	-40,5667	620	10	34
39	Belo Jardim	3867613	-8,3333	-36,4500	616	11	13
39	Bezerros	3868453	-8,2333	-35,7500	471	09	10
49	Custódia	3864271	-8,1000	-37,6500	542	11	26
90	Fernando de Noronha	82400	-3,8500	-32,4167	57	8	-
48	Jutaí	3779257	-8,6333	-40,2333	361	10	27
48	Salgueiro	3861178	-8,0667	-39,1167	415	10	40
48	Serra Talhada	3853943	-7,9833	-38,3000	435	11	18
48	Serrolândia (IPubi)	3749865	-7,4167	-40,1833	720	11	15
48	Tabira	3854193	-7,5833	-37,5500	580	10	13
48	Triunfo	3853682	-7,8333	-38,1167	1010	09	46
48	Vertentes	3858805	-7,9167	-38,9833	-	14	24

O mapa do estado de Pernambuco com a localização das estações pluviográficas e pluviométricas utilizadas no trabalho é apresentado na Figura 3.1. Como as estações pluviográficas da SUDENE não apresentam períodos de dados coincidentes, não será adotado um período base para todas as estações. Por isso, na determinação das equações de chuvas intensas, todos os dados disponíveis de cada estação serão utilizados, aumentando assim, o tamanho das séries anuais de máximas precipitações anuais para cada duração.



Figura 3. 1 - Mapa de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco com a localização das estações pluviográficas.

Durante o período de coleta dos registros de precipitação para elaboração das equações de chuvas intensas, que é objetivo deste trabalho, decidiu-se por não utilizar os dados citados no item 2.6 (*Aparelhos de medição de precipitação em Pernambuco*), desta dissertação, em função da não disponibilidade dos arquivos digitalizados, pois se levaria muito tempo para, inicialmente, obter os dados e posteriormente digitalizá-los. Contudo, como proposta, com todos esses dados será possível realizar estudos, objetivando gerar novas relações entre as precipitações de diferentes durações, conforme a metodologia descrita em CETESB (1986). Com isso, através da metodologia de desagregação de chuva de 24 horas, novas equações de chuvas intensas poderão ser geradas por meio dos dados pluviométricos, associadas a grupos climáticos homogêneos. Além disso, face à grande quantidade de postos pluviométricos, as equações de chuvas intensas poderão ser regionalizadas, abrangendo todo o território pernambucano.

Os dados de precipitação pluvial são obtidos com base nos pluviogramas digitalizados da SUDENE que apresentarem as maiores intensidades de chuva para todos os períodos considerados em cada ano, sendo excluídas as chuvas que não ultrapassarem um limite mínimo de precipitação para cada duração.

Os dados das estações pluviográficas da SUDENE selecionadas já estavam digitalizados e apresentavam uma formatação que permitiu a continuidade dos trabalhos para determinação das equações de chuvas intensas, conforme Figura 3.2.

DDMMAAAA	HHMM	CHUVA [MM]
03021965	2002	.0
03021965	2014	2.0
03021965	2029	1.1
03021965	2059	2.3
03021965	2120	.1
04021965	2019	.0
04021965	2022	3.6
04021965	2031	11.0
13031965	1323	.0
13031965	1338	.3
13031965	1932	.1
13031965	1959	.2
14031965	1804	.0
14031965	1923	9.8
14031965	2029	1.2

Figura 3. 2 - Formatação dos dados pluviográficos obtidos da SUDENE.

Após a obtenção dos dados digitalizados da SUDENE, foi realizada uma análise para coleta de precipitações máximas diárias, por meio de um aplicativo matemático desenvolvido durante este trabalho (Figura 3.3; Anexo 7.5.1), visando o estudo das chuvas intensas para obtenção das séries de máximas anuais e considerando critérios como: (1) analisar todos os pluviogramas que apresentarem altura de precipitação superior a 15 mm, durante 24h; (2) duas ou mais chuvas ocorridas durante um intervalo de 24 h são considerados como uma única chuva; (3) seleção de chuvas intensas com durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos que excedam as alturas de 8, 10, 15, 20, 25, 30, 33, 40, 47, 55mm, respectivamente; (4) chuvas em que a precipitação total foi suficiente para mostrar valores médios significativos para períodos maiores que a duração real da chuva, devem ser consideradas como chuvas com durações maiores, isto é, uma precipitação de 57 mm ocorrida durante 720 min também poderá ser considerada uma chuva máxima de 57 mm para duração de 1440 min; (5) os anos com mais de três intervalos de tempo sem valores de alturas pluviométricas correspondentes serão eliminados e os anos com até três intervalos de tempos sem altura de pluviometria correspondente, terão seus valores preenchidos com o mínimo para tais intervalos. (6) foram utilizados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Tais critérios foram adotados seguindo como referência FENDRICH (2003), WILKEN (1978) e PFATISTETER (1957).

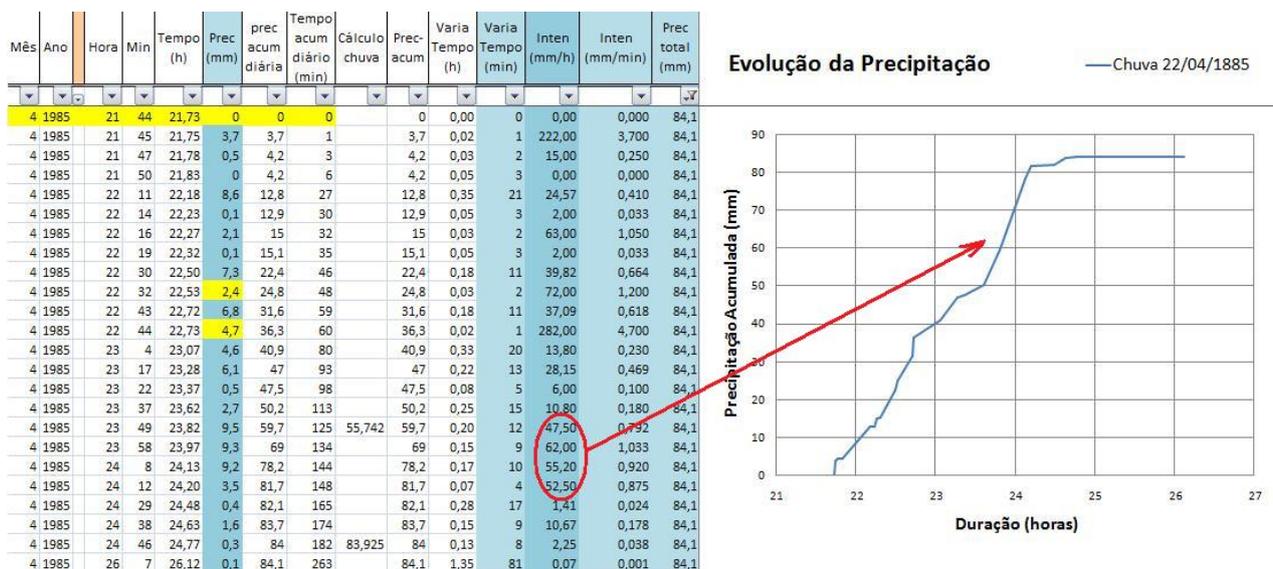


Figura 3. 3 – Análise dos dados digitalizados dos pluviogramas para formação das séries anuais.

Para o caso dos postos pluviométricos, onde foram utilizados os dados coletados da ANA, fez-se a seleção das alturas pluviométricas máximas anuais com duração de um dia. Após isso, por meio da metodologia de desagregação de chuvas de um dia para tempos menores (CETESB, 1986) foram determinadas as alturas máximas correspondentes aos valores mínimos de chuvas intensas (durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos que excedam as alturas de 8, 10, 15, 20, 25, 30, 33, 40, 47, 55 mm), gerando as séries de máximas precipitações anuais para cada duração. Além disso, para o caso das estações pluviométricas, também foram utilizados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os valores das alturas pluviométricas mínimas de chuvas intensas consideradas neste trabalho foram escolhidos em função de outros estudos de chuvas intensas realizadas no Brasil, conforme indicado na Tabela 3.2. Como critério para os referidos valores, foram adotados as menores alturas pluviométricas propostas por cada autor, objetivando representar melhor o clima da Região Nordeste, visto que tais valores são de regiões do sul do Brasil. Para auxiliar neste trabalho de seleção das alturas máximas e formação das séries históricas, também foi desenvolvido um aplicativo matemático (Anexo 7.5.2).

Observa-se que, para se utilizar os mesmos intervalos de duração das séries com dados de pluviogramas, foi necessário fazer ajustes das relações propostas por CETESB (1986). Tais ajustes referem-se à retirada de alguns intervalos e o acréscimo de outros, por meio de interpolação linear, conforme Tabela 3.3. Além disso, para converter a chuva de 1 dia para chuva de 24 horas, ao invés de utilizar o valor de 1,14 proposto em CETESB (1986) e que corresponde à cidade de São Paulo, optou-se por usar o valor de 1,10 obtido por Torrico (1974) para o Brasil, que além de ser um fator de ordem nacional, apresenta uma proximidade mais realista com o clima do Estado de Pernambuco, por ser menor que o parâmetro de CETESB. Esses valores representam a relação entre

as alturas pluviométricas registradas nos aparelhos pluviográficos e pluviômetros, sendo o valor do segundo equipamento menor que o do primeiro, em função da perda provocada pela evaporação.

Tabela 3. 2 – Valores adotados para alturas mínimas de chuvas intensas.

Autor	OttoPfaf. (1957)		Wilken (1978)		Fendrich (2003)		Valores adotados		
	Duração (min)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)
5	8	96	10	120	-	-	8	96	
10	-	-	12	72	10	60	10	60	
15	15	60	15	60	-	-	-	-	
20	-	-	-	-	15	45	15	45	
30	20	40	20	40	20	40	20	40	
45	-	-	23	30,7			-	-	
60	25	25	25	25	30	30	25	25	
120	30	15	30	15	35	17,5	30	15	
180	-	-	33	11	40	13,3	33	11	
240	35	8,8	35	8,8	-	-	-	-	
360	-	-	-	-	45	7,5	40	6,7	
480	40	5	-	-	-	-			
720	47	3,9	-	-	50	4,2	47	3,9	
1440	55	2,3	-	-	55	2,3	55	2,3	

Tabela 3. 3 - Valores das relações entre durações proposta por CETESB e as que foram utilizadas para os postos pluviométricos de Pernambuco.

Relação entre durações	CETESB	Proposta para os postos de PE
5min/30min	0,34	0,34
10min/30min	0,54	0,54
15min/30min	0,7	-
20min/30min	0,81	0,81
25min/30min	0,91	-
30min/1h	0,74	0,74
1h/24h	0,42	0,42
2h/24h	-	0,48
3h/24h	-	0,54
6h/24h	0,72	0,72
8h/24h	0,78	-
10h/24h	0,82	-
12h/24h	0,85	0,85
24h/1dia	1,14	1,10

Obtidas as alturas pluviométricas máximas anuais nos tempos de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 min em cada uma das estações selecionadas (pluviógrafos e pluviômetros),

dividem-se as mesmas por suas durações correspondentes, obtendo assim, as intensidades máximas média das precipitações.

### 3.2. – Análise de frequência das chuvas

O critério adotado para o estabelecimento das séries será o de séries anuais. A metodologia das séries anuais baseia-se na seleção das maiores precipitações anuais de uma duração escolhida. A escolha por utilizar as séries anuais, descartando a possibilidade de utilização das séries parciais, foi realizada em função do número de dados de chuvas máximas anuais para cada intervalo de tempo obtido com os postos pluviográficos selecionados, que apresentaram um mínimo de 10 anos de dados (exceto Bezerros e Triunfo – 9 anos; Fernando de Noronha – 8 anos), visto que ambas as séries contemplam, praticamente, os mesmos resultados para períodos de retorno iguais ou superiores que 10 anos, conforme CETESB (1986). Além disso, durante os estudos de bibliografia, observou-se que trabalhos sobre chuvas intensas, em regiões brasileiras, utilizaram-se das séries anuais, mesmo nos casos onde algumas estações possuíam período de dados menores de 10 anos, tais como: FENDRICH (2003), MARTINEZ JÚNIOR (1999), SILVA *et al.* (1999).

Vale salientar que, do ponto de vista lógico, a seleção de dados hidrológicos no projeto de uma estrutura deve ser julgada pelo tipo de estrutura ou projeto que será implantado e que as séries parciais devem ser usadas se os segundos valores máximos obtidos em um ano afetarem o projeto (WILKEN, 1978). Como parte das vazões de projetos (de um córrego, bueiro, vale receptor das águas pluviais, drenagem agrícola, vala de drenagem de rodovias, vertedores, canal de macrodrenagem, reservatórios e etc.) que se utilizarão dos dados extraídos das equações IDF possui período de retorno maior que 10 anos, optou-se por utilizar a metodologia de séries de durações anuais, visto que as séries parciais fornecem resultados mais consistentes apenas para períodos de retorno inferiores a 5 anos.

A análise de frequência das séries anuais, para uma dada duração, será realizada aplicando-se o modelo de distribuição de Gumbel e o modelo de distribuição de Weibull. Tais modelos foram escolhidos em função de sua aplicabilidade em outros trabalhos sobre chuvas intensas realizados em todo o território nacional, principalmente o Método de Gumbel que na grande maioria dos estudos desenvolvidos é o que melhor se ajusta aos dados das séries obtidas, quando comparado com outras distribuições. CRUCIANI (1980) afirma que a distribuição de Gumbel é a mais apropriada para essas análises, segundo a opinião da literatura especializada.

### 3.3. – Validação dos ajustes das distribuições aplicadas

Para avaliar a qualidade dos ajustes das distribuições estatísticas foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv (equações 30 e 31). Para

auxiliar na avaliação, também foram utilizadas os seguintes critérios estatísticos: o coeficiente de ajuste (CA) o coeficiente de massa residual (CMR) (equações 32 e 33), onde serão considerados  $M_i$  aos valores calculados pelos modelos e  $T_i$  aos valores observados das séries históricas. Para o valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , espera-se uma tendência ao valor 1 (um). Tal coeficiente determina a proporção da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados. O Teste de Kolmogorov-Smirnov ( $D_N$ ) avalia a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores associados à distribuição hipoteticamente verdadeira. O nível de significância utilizado para validar os modelos, em todas as estações foi de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). O CA descreve a razão entre a dispersão dos valores observados e os calculados teoricamente, e deverá tender a um, ocorrendo quando há igualdade entre os valores observados e calculados. O valor esperado do CMR tende a zero, na ausência de desvios sistemáticos entre os valores observados e calculados, podendo indicar a superestimação ( $CMR > 0$ ) ou a subestimação ( $CMR < 0$ ) dos valores estimados pelas distribuições teóricas de probabilidade.

$$R^2 = \frac{[n(\sum M_i \cdot T_i) - \sum M_i \cdot \sum T_i]^2}{[n \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2][n \sum M_i^2 - (\sum M_i)^2]} \quad (30)$$

$$D_N = \sup_{-\infty < i < \infty} |F_N(T_i) - M_i|, \text{ onde } F_N(T_i) = \frac{i}{N} \text{ e } 1 \leq i \leq N \quad (31)$$

$$CA = \frac{\sum (M_i - \bar{M})^2}{\sum (T_i - \bar{M})^2} \quad (32)$$

$$CMR = \left[ \frac{\sum M_i - \sum T_i}{\sum M_i} \right] \quad (33)$$

Os resultados obtidos na análise de frequência, para escolha da melhor distribuição de extremos, servirão de base para a determinação dos coeficientes da equação empírica de chuvas intensas para cada um dos postos analisados.

### 3.4. – Forma geral e determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas

A equação utilizada, neste estudo, para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial apresenta a seguinte forma geral (VILLELA e MATTOS, 1975).

$$i = \frac{K \times T_r^a}{(t + b)^c} \quad (34)$$

Em que:

i - intensidade máxima média de chuva, mm/h;

T - período de retorno, anos;

t - duração da chuva, min;

K, a, b, c - parâmetros empíricos que dependem da estação pluviográfica.

Para determinação dos parâmetros empíricos foram utilizadas duas metodologias, sendo elas: Regressão Linear por meio dos mínimos quadrados e a Regressão Não-Linear.

### 3.4.1 Regressão Linear

Neste trabalho, a metodologia de Regressão Linear foi desenvolvida por meio de planilha eletrônica, da seguinte forma:

Logaritizando a Equação (34), resulta em:

$$\log i = \log A - c \cdot \log(t + b) \quad (35)$$

Onde:

$$\log A = \log K + a \cdot \log.Tr \quad (36)$$

A Equação (35) é a função de uma reta com coeficientes “c” (angular) e logA (linear). Para escolha do parâmetro constante “b” será aplicado o método dos mínimos quadrados, que transforma as curvas obtidas, para cada tempo de recorrência, em uma reta, com o intuito de obter um valor inicial “b”, segundo WILKEN (1978). O valor de “b”, para um dado posto, foi ajustado conforme o que proporcionar maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da correlação linear entre log i e log (t+B) para todos os períodos de retorno. Utilizando os gráficos das curvas, escolhe-se o valor de “b” que apresente o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as retas obtidas. O valor médio de “c” é então calculado, por meio da média entre os valores encontrados em cada reta de cada período de retorno estudado, para representar o posto em consideração, enquanto os valores de “logA” servem para determinação das constantes “a” e “K” da Equação (36).

A equação (36) é também a equação de uma reta com coeficiente angular “a” e coeficiente linear log K. De modo semelhante, os valores de log A, anteriormente obtidos, e log Tr serão correlacionados para determinados dos valores de “a” e “K” da reta de regressão.

### 3.4.2 Regressão Não-Linear

Com os valores de intensidade de precipitação máximas correspondentes aos diversos períodos de retorno e durações obtidas após análise de frequência, foram determinados os parâmetros da equação (34), de cada estação estudada, por meio de Regressão Não-Linear, utilizando-se para tal o software *LAB-FIT\* Ajuste de Curvas V7.2.19* desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

---

\*LAB-FIT. (desenvolvido por: Wilton e Cleide Pereira, UFCG). Disponível em: <[http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index\\_p.htm](http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm)>. Acesso em: 2009.

### 3.5. – Validação das equações de chuvas intensas

O ajuste das equações de chuvas intensas foi realizado com os mesmos critérios utilizados na análise das séries anuais de máximas precipitações diárias, com exceção do Teste de Kolmogorov-Smirnov.

Além disso, para auxiliar o trabalho de validação, foi calculado o Erro Padrão da Estimativa (EPE) para cada período de retorno e para cada localidade. Tal critério estatístico fornecerá indicação do grau de precisão dos modelos utilizados para determinação da equação de chuvas intensas por meio da comparação entre valores de intensidade fornecidos pelo melhor ajuste de distribuição (Gumbel ou Weibull) e os valores obtidos por meio dos parâmetros determinados através de Regressão Linear ou Não-Linear. A equação indica bom ajuste dos parâmetros caso o EPE apresente valores baixos e próximos entre si.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((Ic - Io) / Io)^2}{N}} \quad \text{onde:} \quad (37)$$

*EPE* = Erro Padrão da Estimativa;

*Ic* = intensidade (mm/h) calculada por meio da equação IDF determinada;

*Io* = intensidade (mm/h) extraída do melhor ajuste de distribuição;

*N* = número de durações.

Além da validação das relações de intensidade-duração-frequência, foram realizadas comparações entre as equações determinadas por meio de dados das estações pluviográficas e pluviométricas. Por meio do coeficiente de determinação, do coeficiente de ajuste, do coeficiente de massa residual e do erro padrão da estimativa, foram verificadas as comparações entre as equações, com o intuito de avaliar a qualidade das curvas IDF gerados por postos pluviométricos.

Segundo VILLELA e MATTOS (1975) e OLIVEIRA e PRUSKI (1996), na seleção do *Tr* para estimativa da intensidade máxima média de precipitação empregada na elaboração de projetos de drenagem de superfície, devem-se considerar os custos da obra, o grau de risco, a vida útil da obra, o tipo de estrutura e a facilidade de reparo e ampliação da obra. Para projetos hidroagrícolas, Pruski (1993) recomenda um *Tr* = 10 anos. Com base nesta recomendação, foram realizadas comparações entre as equações para o período de retorno igual a 10 anos e diferentes durações de chuvas (5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos).

Para realizar as etapas de análise de frequência, validação das distribuições, determinação dos parâmetros das equações de chuvas intensas e validação de tais parâmetros, foi desenvolvido um aplicativo matemático que reuni em um único arquivo 17 planilhas, que se inicia com uma planilha de entrada de dados (série histórica) e finaliza com a curva IDF do posto estudado (Anexo 7.5.3).

## ***CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES***

## 4.1. – Obtenção dos dados das estações pluviográficas e pluviométricas

### 4.1.1 Estações pluviográficas

O período referente à seleção dos dados pluviográficos, de postos localizados no território pernambucano, para realização deste trabalho exigiu grandes esforços em função da escassez de registros e da dificuldade de obtenção de informações sobre estações pluviográficas dentro dos órgãos gestores, gerenciadores e responsáveis pela operação e manutenção de tais dados. O estado de Pernambuco não possui uma rede de postos pluviográficos que atenda as exigências da OMN quanto à distribuição espacial e quanto ao período de dados suficientes para formação de séries históricas que possam gerar resultados de probabilidade mais próximos das frequências de registros passados. Além disso, o Estado não dispõe de uma rede unificada que venha a ser gerenciada por um único órgão, o que facilitaria a disseminação de informações para elaboração de trabalhos hidrológicos de importância para população como é o caso dos estudos das chuvas intensas. Alguns registros de estações pluviográficas da SUDENE foram perdidos e outros estão sem receber manutenção para sua análise e divulgação. Contudo vale ressaltar o trabalho recente que a CPRM / SGB propôs para criação de uma rede que venha gerir tais informações, conforme SALGUEIRO\*. Tal trabalho trata do “Atlas Pluviométrico do Brasil e Estudos de Chuvas Intensas”, o qual comporá o módulo II do Projeto: “Disponibilidade Hídrica do Brasil”. Este Projeto tem como objetivo disponibilizar em um SIG o conhecimento geológico e hidrológico, existente em um banco de dados contendo informações sobre águas subterrâneas e superficiais. O Atlas Pluviométrico permitirá a reunião, consolidação e a organização das informações sobre chuvas coletadas na operação da rede Hidrometeorológica Nacional, permitindo o conhecimento em grande parte do território Nacional do comportamento das precipitações anuais, trimestrais, mensais e diárias máximas anuais, do número de dias chuvosos, da Precipitação Máxima Provável e das relações IDF. Os estudos pretendem atender diferentes demandas da sociedade brasileira sobre o conhecimento pluviométrico.

### 4.1.2 Estações pluviométricas

Após obtenção e seleção dos dados pluviográficos, iniciou-se a etapa de escolha das estações pluviométricas. Como um dos objetivos do trabalho era o de realizar uma comparação entre relações IDF geradas a partir de dados pluviográficos e pluviométricos, optou por selecionar apenas as estações que possuíam as mesmas coordenadas geográficas das pluviográficas.

---

\*SALGUEIRO, J. (Superintendência Regional de Recife - SUREG/RE, CPRM). Comunicação pessoal, 2009.

Ao contrário da situação atual do gerenciamento e divulgação dos registros pluviográficos, os dados de postos pluviométricos, localizados no estado de Pernambuco, são oriundos de uma rede hidrometeorológica que é operada pela CPRM / SGB e de responsabilidade da ANA. Tais dados estão disponíveis no site da ANA através do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWeb\*, em formato de arquivo de texto ou Access (Figura 4.1).

Tabelas	Data	Maxima	Total	DiaMaxima	TotalAnual	TotalAnualS	Chuva01	Chuva02	Chuva03
Bacia	01/08/1911	0	0	1		0	0	0	0
<b>Chuvvas</b>	01/09/1911	0	0	1		0	0	0	0
Clima	01/10/1911	0	0	1		0	0	0	0
Cotas	01/11/1911	0	0	1		0	0	0	0
CurvaDesc...	01/12/1911	0	0	1		0	0	0	0
CurvaDesc...	01/01/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
CurvaDesc...	01/02/1912	99,2	262	28	769,2	1	0	0	0
Entidade	01/03/1912	73,2	124,6	29	769,2	1	0	0	0
Estacao	01/04/1912	12,3	13,8	16	769,2	1	0	0	0
Estacao	01/05/1912	48,3	122,8	4	769,2	1	0	0	0
Estado	01/06/1912	48,2	116,9	3	769,2	1	0	30,4	48,2
Identificad...	01/07/1912	48,1	129,1	29	769,2	1	24,3	18,2	0
Imagem	01/08/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
Leia_me	01/09/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
Municipio	01/10/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
PerfilTrans...	01/11/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
PerfilTrans...	01/12/1912	0	0	1	769,2	1	0	0	0
PerfilTrans...	01/01/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
PlanTrab	01/02/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
PlanTrabP...	01/03/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
PlanTrabP...	01/04/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
QualAgua	01/05/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
QualAgua...	01/06/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
ResumoDe...	01/07/1913	0	0	1	52,2	1	0	0	0
Rio	01/08/1913	15,2	16	18	52,2	1	0	0	0,3
Sedimentos	01/09/1913	10,7	10,7	18	52,2	1	0	0	0

Figura 4.1 - Formatação dos dados pluviométricos obtidos da ANA.

Com exceção da estação de Fernando de Noronha, que não se encontrava nos registros do HIDROWeb, foi possível obter todos os registros dos postos com a mesma coordenada geográfica dos dados dos pluviógrafos escolhidos para realização dos trabalhos.

## 4.2. – Formação das séries anuais de valores extremos

### 4.2.1 Séries anuais de dados pluviográficos

Objetivando selecionar as precipitações máximas anuais de cada duração, criou-se um algoritmo em planilha eletrônica que fosse capaz de extrair várias informações dos dados existentes nos arquivos digitalizados da SUDENE, tais como: precipitação acumulada, tempo acumulado, variação do tempo, intensidade da chuva, precipitação total diária e etc.

\*WIDROWEB. (Software desenvolvido pela Agência Nacional de Águas). Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 2006.

Após criação do algoritmo, e utilizando os critérios citados no item 3.1 do capítulo 3, para seleção das alturas pluviométricas máximas anuais, foi possível gerar as séries anuais com os dados das estações pluviográficas, conforme Anexo 7.1 (Tabelas de Séries Anuais dos Dados de Pluviógrafos). De acordo com os critérios adotados no capítulo anterior, alguns anos de registros foram descartados por não apresentarem, em mais de três intervalos de duração, valores maiores que o mínimo necessário para serem consideradas chuvas intensas.

Na Tabela 4.1 são apresentados as médias e desvios-padrão das séries anuais de intensidade máximas de precipitação correspondentes às durações estudadas, para cada uma das 12 estações pluviográficas escolhidas. Nesta tabela, também constam, para cada duração, as relações máxima/mínima entre os valores extremos de intensidade de precipitação máxima entre as diversas localidades. Tal tabela tem como objetivo realizar uma análise do comportamento das chuvas intensas em diferentes localidades, buscando evidenciar a importância da implantação de mais postos pluviográficos no Estado de Pernambuco.

Foram observados os menores valores de intensidades máximas médias de precipitação para as durações de 5 minutos até 30 minutos no município de Fernando de Noronha. Para durações de 1 hora até 24 horas foram observados os menores valores em Araripina. Por outro lado, maiores valores de intensidade média máxima foram observados, para durações de 5 minutos até 12 horas no município de Salgueiro e para duração de 24 horas em Fernando de Noronha. Apesar de estar localizada na região do Sertão Pernambucano que apresenta baixos índices pluviométricos, a estação de Salgueiro apresentou as maiores precipitações intensas, com exceção da duração de 24 horas. Tais valores podem ser explicados em função das influências das frentes frias do sul e/ou resultantes de algum vórtice ciclônico de ar superior (VCAS) que provocam chuvas quase sempre intensas.

Tabela 4. 1 - Médias e desvios-padrão (mm/h) das séries anuais de intensidade máximas de precipitação para cada duração dos dados pluviográficos.

Estação	Médias e Desvios padrões das séries anuais de intensidades máximas									
	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
Araripina	<b>2,88</b>	<b>5,22</b>	<b>10,00</b>	<b>18,07</b>	<b>24,67</b>	<b>39,71</b>	<b>59,94</b>	<b>69,93</b>	<b>94,32</b>	<b>132,99</b>
	<i>0,49</i>	<i>0,87</i>	<i>2,04</i>	<i>3,37</i>	<i>4,41</i>	<i>7,97</i>	<i>13,28</i>	<i>15,65</i>	<i>23,18</i>	<i>41,09</i>
Belo Jardim	<b>3,44</b>	<b>6,22</b>	<b>11,48</b>	<b>19,30</b>	<b>26,98</b>	<b>45,90</b>	<b>66,46</b>	<b>75,77</b>	<b>97,04</b>	<b>128,35</b>
	<i>1,10</i>	<i>1,70</i>	<i>2,80</i>	<i>5,74</i>	<i>8,92</i>	<i>16,38</i>	<i>22,03</i>	<i>23,18</i>	<i>29,34</i>	<i>29,03</i>
Bezerros	<b>3,39</b>	<b>6,51</b>	<b>11,22</b>	<b>19,67</b>	<b>27,45</b>	<b>46,00</b>	<b>68,35</b>	<b>79,64</b>	<b>107,96</b>	<b>150,36</b>
	<i>1,38</i>	<i>2,92</i>	<i>6,34</i>	<i>11,23</i>	<i>15,08</i>	<i>19,05</i>	<i>18,65</i>	<i>19,14</i>	<i>22,72</i>	<i>29,71</i>
Custódia	<b>3,00</b>	<b>5,75</b>	<b>10,70</b>	<b>19,82</b>	<b>27,30</b>	<b>46,59</b>	<b>68,06</b>	<b>77,78</b>	<b>107,11</b>	<b>128,34</b>
	<i>0,72</i>	<i>1,48</i>	<i>2,92</i>	<i>6,49</i>	<i>9,83</i>	<i>17,30</i>	<i>22,97</i>	<i>23,22</i>	<i>33,40</i>	<i>29,03</i>
Fernando de Noronha	<b>4,06</b>	<b>7,46</b>	<b>13,29</b>	<b>22,07</b>	<b>29,46</b>	<b>42,42</b>	<b>59,42</b>	<b>67,49</b>	<b>86,57</b>	<b>120,64</b>
	<i>1,11</i>	<i>1,78</i>	<i>2,29</i>	<i>5,11</i>	<i>7,67</i>	<i>11,31</i>	<i>13,16</i>	<i>14,30</i>	<i>20,17</i>	<i>21,39</i>
Jutaí	<b>3,10</b>	<b>5,99</b>	<b>11,13</b>	<b>20,25</b>	<b>27,54</b>	<b>44,87</b>	<b>65,43</b>	<b>79,51</b>	<b>106,93</b>	<b>146,80</b>
	<i>0,92</i>	<i>1,95</i>	<i>2,76</i>	<i>5,73</i>	<i>7,82</i>	<i>11,13</i>	<i>11,66</i>	<i>15,84</i>	<i>21,93</i>	<i>32,99</i>
Salgueiro	<b>3,85</b>	<b>7,56</b>	<b>14,58</b>	<b>24,30</b>	<b>33,25</b>	<b>57,94</b>	<b>85,90</b>	<b>98,96</b>	<b>125,33</b>	<b>156,76</b>
	<i>1,23</i>	<i>2,41</i>	<i>4,33</i>	<i>5,82</i>	<i>7,54</i>	<i>10,73</i>	<i>20,75</i>	<i>23,68</i>	<i>24,82</i>	<i>30,78</i>
Serra Talhada	<b>3,00</b>	<b>5,94</b>	<b>11,49</b>	<b>19,98</b>	<b>27,29</b>	<b>44,74</b>	<b>65,72</b>	<b>75,85</b>	<b>96,94</b>	<b>124,17</b>
	<i>0,57</i>	<i>1,08</i>	<i>2,25</i>	<i>4,81</i>	<i>8,03</i>	<i>11,11</i>	<i>9,27</i>	<i>8,37</i>	<i>10,57</i>	<i>15,89</i>
Serrolândia	<b>3,07</b>	<b>5,71</b>	<b>10,60</b>	<b>19,09</b>	<b>25,88</b>	<b>44,97</b>	<b>63,57</b>	<b>75,73</b>	<b>96,81</b>	<b>125,48</b>
	<i>0,95</i>	<i>1,32</i>	<i>1,82</i>	<i>3,99</i>	<i>5,55</i>	<i>7,76</i>	<i>9,06</i>	<i>14,31</i>	<i>19,67</i>	<i>21,44</i>
Tabira	<b>2,96</b>	<b>5,80</b>	<b>10,97</b>	<b>20,41</b>	<b>27,81</b>	<b>44,03</b>	<b>63,90</b>	<b>74,28</b>	<b>97,90</b>	<b>129,41</b>
	<i>0,56</i>	<i>1,29</i>	<i>2,65</i>	<i>5,44</i>	<i>7,17</i>	<i>12,08</i>	<i>13,60</i>	<i>14,82</i>	<i>15,08</i>	<i>23,58</i>
Triunfo	<b>3,40</b>	<b>6,40</b>	<b>12,18</b>	<b>20,80</b>	<b>28,00</b>	<b>46,17</b>	<b>68,27</b>	<b>81,42</b>	<b>105,15</b>	<b>139,90</b>
	<i>1,68</i>	<i>3,29</i>	<i>6,27</i>	<i>8,53</i>	<i>9,84</i>	<i>13,84</i>	<i>18,28</i>	<i>21,57</i>	<i>33,27</i>	<i>40,89</i>
Vertentes	<b>2,94</b>	<b>5,75</b>	<b>10,52</b>	<b>19,27</b>	<b>26,07</b>	<b>40,70</b>	<b>60,75</b>	<b>74,87</b>	<b>99,34</b>	<b>133,68</b>
	<i>0,48</i>	<i>0,98</i>	<i>2,47</i>	<i>5,77</i>	<i>7,64</i>	<i>11,28</i>	<i>16,27</i>	<i>16,99</i>	<i>21,86</i>	<i>45,88</i>
Média das médias	3,26	6,19	11,51	20,25	27,64	45,34	66,31	77,60	101,78	134,74
Média dos Desvios	0,93	1,76	3,24	6,00	8,29	12,49	15,75	17,59	23,00	30,14
Desvio das médias	0,38	0,73	1,35	1,69	2,23	4,75	7,26	8,15	10,06	11,36
Desvio dos desvios	0,38	0,78	1,60	2,15	2,77	3,66	4,55	3,83	5,72	8,19
CV das médias	11,63	11,87	11,75	8,34	8,08	10,48	10,96	10,51	9,89	8,43
CV dos desvios	41,10	44,17	49,39	35,76	33,41	29,26	28,88	21,79	24,88	27,18
Relação máx/mín	1,41	1,45	1,46	1,35	1,35	1,46	1,45	1,47	1,45	1,30

**Negrito: média**

*Itálico: desvio padrão*

CV: Coeficiente de Variação

A análise das relações entre os valores extremos de intensidade máxima média de precipitação pluvial para cada duração revela uma variabilidade entre as diferentes durações de cada posto estudado. A relação entre os valores máximo e mínimo da intensidade máxima média de precipitação foi de 1,30, para a duração de 5 minutos, e de 1,47 para o tempo de 20 min. Isso indica que os erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade,

considerando-se os dados pertinentes a outra localidade, podem variar com as durações. Esse fato é também evidenciado a partir da análise dos coeficientes de variação obtidos para as diversas durações, os quais também apresentam variabilidade da duração da precipitação pluvial.

Face às grandes diferenças observadas entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas nas diferentes localidades para cada duração, sobretudo as maiores, constata-se a necessidade de obtenção de equações que representem as condições das chuvas intensas para a localidade de interesse. Assim, a melhor maneira de minimizar as imprecisões na estimativa da intensidade máxima média de precipitação pluvial é por intermédio da ampliação de estudos, como o proposto, para um número cada vez maior de localidades.

#### 4.2.2 *Séries anuais de dados pluviométricos*

Os dados consistidos das séries históricas extraídas do HIDROWeb que estavam armazenados em arquivo Access foram transferidos para o formato de planilha eletrônica, onde se criou um aplicativo matemático para seleção das alturas pluviométricas máximas anuais com duração de um dia. Após isso, utilizando-se da metodologia de desagregação de chuvas de um dia para tempos menores (CETESB, 1986) foram determinadas as alturas máximas correspondentes aos valores mínimos de chuvas intensas, conforme Anexo 7.2 (Tabelas de Séries Anuais dos Dados de Pluviométricos). Na Tabela 4.2 são apresentados as médias e desvios-padrão das séries anuais de intensidade máximas de precipitação correspondentes às durações estudadas, para cada uma das 11 estações pluviométricas escolhidas. Nesta tabela, também constam, para cada duração, as relações máxima/mínima entre os valores extremos de intensidade de precipitação máxima entre as diversas localidades. Como os valores das alturas pluviométricas máximas são determinados a partir de relações, é de se esperar que as menores e as maiores chuvas para diferentes durações estejam presentes em apenas duas estações, uma com os menores valores e a outra com os maiores. Diante do exposto, foram observados os menores valores de intensidades máximas médias de precipitação para todas as durações no município de Bezerros. Por outro lado, os maiores valores de intensidade máxima para todas as durações foram observados em Triunfo.

Tabela 4. 2 - Médias e desvios-padrão (mm/h) das séries anuais de intensidade máximas de precipitação para cada duração dos dados pluviométricos.

Estação	Médias e Desvios padrões das séries anuais de intensidades máximas									
	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
Araripina	<b>4,00</b>	<b>6,80</b>	<b>11,52</b>	<b>17,27</b>	<b>23,03</b>	<b>40,31</b>	<b>59,65</b>	<b>72,48</b>	<b>96,64</b>	<b>121,76</b>
	<i>0,73</i>	<i>1,24</i>	<i>2,11</i>	<i>3,16</i>	<i>4,21</i>	<i>7,37</i>	<i>10,91</i>	<i>13,25</i>	<i>17,67</i>	<i>22,16</i>
Belo Jardim	<b>4,35</b>	<b>7,39</b>	<b>12,52</b>	<b>18,77</b>	<b>25,03</b>	<b>43,81</b>	<b>64,84</b>	<b>78,78</b>	<b>105,03</b>	<b>132,76</b>
	<i>1,08</i>	<i>1,83</i>	<i>3,10</i>	<i>4,65</i>	<i>6,20</i>	<i>10,85</i>	<i>16,05</i>	<i>19,50</i>	<i>26,00</i>	<i>32,10</i>
Bezerros	<b>3,98</b>	<b>6,77</b>	<b>11,47</b>	<b>17,21</b>	<b>22,94</b>	<b>40,15</b>	<b>59,42</b>	<b>72,19</b>	<b>96,26</b>	<b>121,58</b>
	<i>1,12</i>	<i>1,91</i>	<i>3,24</i>	<i>4,86</i>	<i>6,48</i>	<i>11,34</i>	<i>16,78</i>	<i>20,39</i>	<i>27,19</i>	<i>33,92</i>
Custódia	<b>4,07</b>	<b>6,93</b>	<b>11,73</b>	<b>17,60</b>	<b>23,47</b>	<b>41,06</b>	<b>60,78</b>	<b>73,84</b>	<b>98,46</b>	<b>124,03</b>
	<i>1,06</i>	<i>1,81</i>	<i>3,06</i>	<i>4,59</i>	<i>6,13</i>	<i>10,72</i>	<i>15,87</i>	<i>19,28</i>	<i>25,71</i>	<i>32,33</i>
Jutaí	<b>4,18</b>	<b>7,11</b>	<b>12,04</b>	<b>18,06</b>	<b>24,07</b>	<b>42,13</b>	<b>62,35</b>	<b>75,76</b>	<b>101,01</b>	<b>127,24</b>
	<i>0,88</i>	<i>1,49</i>	<i>2,52</i>	<i>3,79</i>	<i>5,05</i>	<i>8,83</i>	<i>13,08</i>	<i>15,89</i>	<i>21,18</i>	<i>26,62</i>
Salgueiro	<b>4,33</b>	<b>7,37</b>	<b>12,48</b>	<b>18,72</b>	<b>24,96</b>	<b>43,67</b>	<b>64,64</b>	<b>78,53</b>	<b>104,71</b>	<b>131,91</b>
	<i>1,43</i>	<i>2,44</i>	<i>4,13</i>	<i>6,19</i>	<i>8,26</i>	<i>14,45</i>	<i>21,38</i>	<i>25,98</i>	<i>34,64</i>	<i>43,58</i>
Serra Talhada	<b>4,37</b>	<b>7,42</b>	<b>12,57</b>	<b>18,86</b>	<b>25,15</b>	<b>44,01</b>	<b>65,13</b>	<b>79,14</b>	<b>105,51</b>	<b>132,90</b>
	<i>1,10</i>	<i>1,87</i>	<i>3,17</i>	<i>4,76</i>	<i>6,34</i>	<i>11,10</i>	<i>16,43</i>	<i>19,96</i>	<i>26,61</i>	<i>33,47</i>
Serrolândia	<b>4,13</b>	<b>7,03</b>	<b>11,90</b>	<b>17,85</b>	<b>23,80</b>	<b>41,66</b>	<b>61,65</b>	<b>74,91</b>	<b>99,88</b>	<b>126,28</b>
	<i>0,93</i>	<i>1,58</i>	<i>2,68</i>	<i>4,02</i>	<i>5,36</i>	<i>9,39</i>	<i>13,89</i>	<i>16,88</i>	<i>22,50</i>	<i>27,69</i>
Tabira	<b>4,22</b>	<b>7,17</b>	<b>12,15</b>	<b>18,22</b>	<b>24,29</b>	<b>42,51</b>	<b>62,91</b>	<b>76,44</b>	<b>101,92</b>	<b>128,83</b>
	<i>1,34</i>	<i>2,27</i>	<i>3,85</i>	<i>5,78</i>	<i>7,70</i>	<i>13,48</i>	<i>19,95</i>	<i>24,24</i>	<i>32,32</i>	<i>40,23</i>
Triunfo	<b>4,70</b>	<b>7,99</b>	<b>13,53</b>	<b>20,30</b>	<b>27,07</b>	<b>47,37</b>	<b>70,11</b>	<b>85,18</b>	<b>113,57</b>	<b>143,05</b>
	<i>1,44</i>	<i>2,45</i>	<i>4,16</i>	<i>6,24</i>	<i>8,32</i>	<i>14,55</i>	<i>21,54</i>	<i>26,17</i>	<i>34,89</i>	<i>43,90</i>
Vertentes	<b>4,17</b>	<b>7,09</b>	<b>12,02</b>	<b>18,02</b>	<b>24,03</b>	<b>42,06</b>	<b>62,24</b>	<b>75,62</b>	<b>100,83</b>	<b>127,03</b>
	<i>1,00</i>	<i>1,71</i>	<i>2,89</i>	<i>4,34</i>	<i>5,78</i>	<i>10,12</i>	<i>14,97</i>	<i>18,19</i>	<i>24,25</i>	<i>30,48</i>
Média das médias	4,23	7,19	12,17	18,26	24,35	42,61	63,07	76,62	102,17	128,85
Média dos Desvios	1,10	1,87	3,17	4,76	6,35	11,11	16,44	19,97	26,63	33,31
Desvio das médias	0,20	0,35	0,59	0,88	1,18	2,06	3,05	3,70	4,94	6,18
Desvio dos desvios	0,23	0,38	0,65	0,98	1,30	2,28	3,38	4,10	5,47	6,90
CV das médias	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,79
CV dos desvios	20,53	20,53	20,53	20,53	20,53	20,53	20,53	20,53	20,53	20,73
Relação máx/mín	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18

**Negrito: média**

*Itálico: desvio padrão*

CV: Coeficiente de Variação

Os municípios de Triunfo, Belo Jardim, Salgueiro e Tabira apresentaram as maiores intensidades de precipitação, respectivamente em ordem decrescente. Com exceção de Belo Jardim, que está inserido dentro do Agreste Pernambucano, as demais estações fazem parte da Região do Sertão que, como já foi mencionado, recebem influências das frentes frias do sul e/ou resultantes de algum vórtice ciclônico de ar superior (VCAS) que provocam chuvas quase sempre intensas.

As análises dos coeficientes de variação e das relações entre os valores extremos de intensidade máxima média de precipitação pluvial para cada duração não podem ser realizadas com os dados das alturas pluviométricas determinadas a partir da metodologia das relações, visto que o resultado é constante para todas as durações, impedindo a verificação de tendência de erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade, considerando-se os dados pertinentes a outra localidade. Isso evidencia a importância da expansão dos estudos, nas áreas de graduação e pós-graduação em engenharia de recursos hídricos, relacionados com dados pluviográficos e na obtenção das relações IDF. Além disso, os órgãos gestores devem dirigir esforços para prover recursos financeiros, a fim de melhorar a rede de postos pluviográficos no estado de Pernambuco. Vale ressaltar que alguns valores das séries históricas estudadas, para as durações de 5 e 1440 min, estavam abaixo do limite mínimo (8 mm e 55 mm, respectivamente) para serem consideradas chuvas intensas. Porém, para as demais durações em um mesmo ano analisado, os valores estavam de acordo com os limites adotados. Por isso, aqueles valores correspondentes às durações de 5 e 1440 min foram alterados para os limites mínimos, conforme critério (5) da página 52.

Para que se possam introduzir as variações dos padrões de precipitação em diferentes locais, de acordo com a distribuição fisiográfica presente no território pernambucano e que pode ser representada pela divisão das 05 Mesorregiões e 19 microrregiões geográficas, será necessário realizar um estudo com todos os dados de pluviogramas disponíveis e com os registros pluviométricos, objetivando gerar novas relações entre as precipitações de diferentes durações para cada região climática.

### **4.3. – Análise de frequência das séries anuais**

#### *4.3.1 Análise de frequência das séries anuais com dados pluviográficos*

A Tabela 4.3 apresenta os valores dos critérios estatísticos utilizados para validação dos modelos teóricos de distribuição de Gumbel e Weibull para cada uma das estações estudadas, além dos valores máximos e mínimos de cada critério e para cada um dos modelos.

Tabela 4. 3 - Valores dos coeficientes de determinação, da estatística  $D_N$ , dos coeficientes de ajuste e dos coeficientes de massa residual para os modelos de Gumbel e Weibull.

Estação	Distribuições testadas	Validação		Critérios para auxiliar validação		Distribuição validada
		R <sup>2</sup>	Kolmogorov-Smirnov (5%) DN médio	Coefficiente de ajuste	coeficiente de massa residual	
Araripina	Gumbel	<b>0,9414</b>	<b>0,1823</b>	<b>1,1262</b>	<b>-0,1144</b>	Weibull
	Weibull	0,9516	0,1515	1,0033	-0,0986	
Belo Jardim	Gumbel	<b>0,9586</b>	<b>0,1501</b>	<b>1,1517</b>	<b>-0,1006</b>	Weibull
	Weibull	0,9676	0,1284	1,0231	-0,0882	
Bezerros	Gumbel	<b>0,9002</b>	<b>0,2115</b>	<b>0,9130</b>	<b>-0,1179</b>	Weibull
	Weibull	0,9436	0,1808	0,8458	-0,1289	
Custódia	Gumbel	<b>0,9549</b>	<b>0,1680</b>	<b>1,1792</b>	<b>-0,0993</b>	Weibull
	Weibull	0,9589	0,1480	1,0382	-0,2478	
Fernando de Noronha	Gumbel	<b>0,9373</b>	<b>0,1878</b>	<b>1,0467</b>	<b>-0,1750</b>	Weibull
	Weibull	0,9632	0,1528	0,9591	-0,1248	
Jutaí	Gumbel	<b>0,9577</b>	<b>0,1359</b>	<b>0,9029</b>	<b>-0,0942</b>	Weibull
	Weibull	0,9649	0,1463	0,8901	-0,1123	
Salgueiro	Gumbel	<b>0,9589</b>	<b>0,1304</b>	<b>1,0531</b>	<b>-0,0975</b>	Weibull
	Weibull	0,9631	0,1311	0,9579	-0,1023	
Serra Talhada	Gumbel	<b>0,9335</b>	<b>0,1533</b>	<b>0,9908</b>	<b>-0,0887</b>	Weibull
	Weibull	0,9486	0,1388	0,9328	-0,0981	
Serrolândia	Gumbel	<b>0,9295</b>	<b>0,1818</b>	<b>1,0123</b>	<b>-0,0906</b>	Weibull
	Weibull	0,9492	0,1615	0,9289	-0,1000	
Tabira	Gumbel	<b>0,9506</b>	<b>0,1856</b>	<b>0,9662</b>	<b>-0,1110</b>	Weibull
	Weibull	0,9576	0,1590	0,9084	-0,1058	
Triunfo	Gumbel	<b>0,8736</b>	<b>0,2371</b>	<b>1,0547</b>	<b>-0,1296</b>	Weibull
	Weibull	0,9199	0,1936	0,9056	-0,1254	
Vertentes	Gumbel	<b>0,9479</b>	<b>0,1497</b>	<b>1,1469</b>	<b>-0,0556</b>	Weibull
	Weibull	0,9541	0,1241	1,0324	-0,0494	
Mínimo =	Gumbel	<b>0,8736</b>	<b>0,1304</b>	<b>0,9029</b>	<b>-0,1750</b>	
	Weibull	0,9199	0,1241	0,8458	-0,2478	
Máximo =	Gumbel	<b>0,9589</b>	<b>0,2371</b>	<b>1,1792</b>	<b>-0,0556</b>	
	Weibull	0,9676	0,1936	1,0382	-0,0494	

De acordo com o coeficiente de determinação, com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% de probabilidade e com o auxílio de dois critérios estatísticos do coeficiente de ajuste (CA) e do coeficiente de massa residual (CMR), o modelo teórico de distribuição de probabilidade de Weibull foi o que melhor se ajustou a todas as séries de intensidade máximas médias anuais para os postos pluviográficos estudados. Os coeficientes de determinação, utilizando o modelo de Weibull, apresentaram variação de 0,9199 a 0,9676 e os critérios estatísticos CA e o CMR, que auxiliaram nesta etapa do trabalho, apresentaram variações de 0,8458 a 1,0382 e -0,2478 a -0,0494, respectivamente.

Os resultados encontrados com a análise de frequência das séries de máximas anuais de precipitação mostraram que, apesar de a distribuição de Gumbel ser bastante utilizada em estudos de chuvas intensas no Brasil e apresentar melhores ajustes em comparação com outros modelos, a distribuição de Weibull também apresenta bons ajustes aos dados das amostras.

#### 4.3.2 *Análise de frequência das séries anuais com dados pluviométricos*

Da mesma forma que a análise de frequência das séries anuais com as estações pluviográficas, a Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos para os dois modelos utilizados no estudo para os dados de intensidades máximas anuais gerados a partir de registros pluviométricos.

Como indicado nos resultados da Tabela 4.4, o modelo teórico de distribuição de probabilidade de Gumbel apresentou melhores ajustes para as estações de Belo Jardim, Serrolândia e Vertentes, enquanto que o modelo de Weibull mostrou-se melhor para as séries anuais dos postos de Araripina, Bezerros, Custódia, Jutaí, Salgueiro, Tabira e Triunfo.

O maior coeficiente de determinação, que pertence ao ajuste com o modelo de Weibull, foi obtido com os dados amostrais da série anual do posto de Salgueiro, sendo seu valor igual a 0,9907. Além disso, o menor coeficiente de determinação obtido para uma das distribuições validadas teve seu valor igual a 0,9408, pertencendo ao modelo de Weibull que se ajustou aos dados da estação de Bezerros. Da mesma forma que na análise de frequência das séries com os dados pluviográficos, a distribuição de Weibull apresentou melhores ajustes na maioria dos casos com as intensidades máximas geradas com os registros de pluviômetros, enfatizando sua importância nos estudos relacionados com análise de frequência para ajustes de modelos para determinação de equações de chuvas intensas.

Tabela 4. 4 - Valores dos coeficientes de determinação, da estatística  $D_N$ , dos coeficientes de ajuste e dos coeficientes de massa residual para os modelos de Gumbel e Weibull.

Estação	Distribuições testadas	Validação		Critérios para auxiliar validação		Distribuição validada
		R <sup>2</sup>	Kolmogorov-Smirnov (5%) DN médio	Coefficiente de ajuste	coeficiente de massa residual	
Araripina	Gumbel	<b>0,9729</b>	<b>0,0940</b>	<b>0,9323</b>	<b>-0,0039</b>	Weibull
	Weibull	0,9767	0,0960	0,9018	-0,0256	
Belo Jardim	Gumbel	<b>0,9793</b>	<b>0,1285</b>	<b>1,1390</b>	<b>-0,0691</b>	Gumbel
	Weibull	0,9733	0,1204	1,0261	-0,0668	
Bezerros	Gumbel	<b>0,8807</b>	<b>0,2128</b>	<b>0,6701</b>	<b>-0,0693</b>	Weibull
	Weibull	0,9408	0,1835	0,6667	-0,1398	
Custódia	Gumbel	<b>0,9268</b>	<b>0,1698</b>	<b>0,7638</b>	<b>-0,0134</b>	Weibull
	Weibull	0,9781	0,1207	0,8267	-0,0607	
Jutai	Gumbel	<b>0,9503</b>	<b>0,1272</b>	<b>1,0275</b>	<b>-0,0112</b>	Weibull
	Weibull	0,9596	0,1139	0,9566	-0,0308	
Salgueiro	Gumbel	<b>0,9500</b>	<b>0,0958</b>	<b>0,7184</b>	<b>-0,0100</b>	Weibull
	Weibull	0,9907	0,0825	0,8083	-0,0611	
Serra Talhada	Gumbel	<b>0,9733</b>	<b>0,0953</b>	<b>1,0804</b>	<b>-0,0357</b>	Weibull
	Weibull	0,9753	0,1131	0,9810	-0,0469	
Serrolândia	Gumbel	<b>0,9588</b>	<b>0,1444</b>	<b>0,9162</b>	<b>-0,0453</b>	Gumbel
	Weibull	0,9623	0,1659	0,8733	-0,0701	
Tabira	Gumbel	<b>0,9381</b>	<b>0,1540</b>	<b>0,8452</b>	<b>-0,0504</b>	Weibull
	Weibull	0,9640	0,1442	0,8419	-0,0902	
Triunfo	Gumbel	<b>0,9791</b>	<b>0,0954</b>	<b>0,9721</b>	<b>0,0003</b>	Weibull
	Weibull	0,9899	0,0667	0,9706	-0,0213	
Vertentes	Gumbel	<b>0,9762</b>	<b>0,1248</b>	<b>0,7085</b>	<b>-0,0360</b>	Gumbel
	Weibull	0,9234	0,2073	0,6257	-0,1547	
Mínimo =	Gumbel	<b>0,8807</b>	<b>0,0940</b>	<b>0,6701</b>	<b>-0,0693</b>	
	Weibull	0,9234	0,0667	0,6257	-0,1547	
Máximo =	Gumbel	<b>0,9793</b>	<b>0,2128</b>	<b>1,1390</b>	<b>0,0003</b>	
	Weibull	0,9907	0,2073	1,0261	-0,0213	

#### 4.4. – Determinação das equações de chuvas intensas

##### 4.4.1 Chuvas intensas obtidas por meio de dados pluviográficos

Como já descrito anteriormente, para determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas foram utilizadas duas metodologias, sendo elas: Regressão Linear por meio dos Mínimos Quadrados e a Regressão Não-Linear.

Como ponto de partida, foi criada uma seqüência de cálculos matemáticos integrada com gráficos para determinação dos parâmetros, em planilha eletrônica, por meio da metodologia de Regressão Linear, utilizando o método dos mínimos quadrados, segundo WILKEN (1978). Após isso, e com os valores das intensidades para cada duração e período de retorno determinados na análise de frequência, foi possível determinar as variáveis dependentes para cada estação pluviográfica. Os parâmetros determinados através da Regressão Linear serviram como dados de entrada para o software *LAB-FIT Ajuste de Curvas V7.2.19* que recalculou tais valores, usando o método de Regressão Não-Linear.

A Tabela 4.5 mostra os resultados encontrados dos parâmetros, utilizando as duas metodologias, além de informar os valores do coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa. De acordo com as respostas obtidas e apresentadas na Tabela 4.5, verificou-se que, em todos os casos, a metodologia de Regressão Não-Linear melhorou o ajuste realizado inicialmente por meio da Regressão Linear. Observa-se que os valores dos parâmetros de ajuste (K, a, b, c) das equações apresentaram alta variabilidade de uma estação para outra. O valor do coeficiente K variou 9,44 % entre os postos de Araripina e Bezerros, respectivamente. Na maioria das estações, os maiores valores do coeficiente foram relacionados aos valores do coeficiente K. Diante do exposto, verifica-se a grande importância da obtenção da equação de intensidade-duração-frequência para diferentes locais. As equações de chuvas intensas determinadas neste trabalho, por meio de dados pluviográficos, apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação do ajuste acima de 94% e com uma variação de 0,942 a 0,998 para os postos de Vertentes e Serrolândia, respectivamente.

Tabela 4. 5 - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, para cada estação pluviográfica.

Estação	Tipo de Regressão	Parâmetros da equação IDF				R <sup>2</sup>	EPE	Equação Final
		K	a	b	c			
Araripina	Reg. Linear	<b>1109,175</b>	<b>0,197</b>	<b>11,000</b>	<b>0,856</b>	<b>0,968</b>	<b>11,407</b>	$i = \frac{387,23 \times Tr^{0,143}}{(t + 0,725)^{0,609}}$
	Reg. Não-Linear	387,230	0,143	0,725	0,609	0,991	5,989	
Belo Jardim	Reg. Linear	<b>2472,860</b>	<b>0,120</b>	<b>25,000</b>	<b>0,894</b>	<b>0,992</b>	<b>5,180</b>	$i = \frac{2178,87 \times Tr^{0,123}}{(t + 22,834)^{0,875}}$
	Reg. Não-Linear	2178,870	0,123	22,834	0,875	0,992	5,161	
Bezerros	Reg. Linear	<b>3886,020</b>	<b>0,131</b>	<b>32,000</b>	<b>0,935</b>	<b>0,966</b>	<b>11,532</b>	$i = \frac{4083,64 \times Tr^{0,13}}{(t + 31,836)^{0,948}}$
	Reg. Não-Linear	4083,640	0,130	31,836	0,948	0,967	11,475	
Custódia	Reg. Linear	<b>4655,861</b>	<b>0,145</b>	<b>33,000</b>	<b>1,022</b>	<b>0,990</b>	<b>6,074</b>	$i = \frac{3112,238 \times Tr^{0,122}}{(t + 26,796)^{0,935}}$
	Reg. Não-Linear	3112,238	0,122	26,796	0,935	0,992	5,459	
Fernando de Noronha	Reg. Linear	<b>1297,210</b>	<b>0,102</b>	<b>18,000</b>	<b>0,786</b>	<b>0,981</b>	<b>6,025</b>	$i = \frac{429,430 \times Tr^{0,092}}{(t + 4,986)^{0,565}}$
	Reg. Não-Linear	429,430	0,092	4,986	0,565	0,993	4,137	
Jutaí	Reg. Linear	<b>2202,419</b>	<b>0,043</b>	<b>18,000</b>	<b>0,862</b>	<b>0,973</b>	<b>14,720</b>	$i = \frac{395,531 \times Tr^{0,133}}{(t + 1,340)^{0,565}}$
	Reg. Não-Linear	395,531	0,133	1,340	0,565	0,996	5,474	
Salgueiro	Reg. Linear	<b>3183,660</b>	<b>0,117</b>	<b>26,000</b>	<b>0,902</b>	<b>0,993</b>	<b>5,647</b>	$i = \frac{1719,692 \times Tr^{0,11}}{(t + 16,676)^{0,795}}$
	Reg. Não-Linear	1719,692	0,110	16,676	0,795	0,995	4,633	
Serra Talhada	Reg. Linear	<b>5317,060</b>	<b>0,098</b>	<b>40,000</b>	<b>1,016</b>	<b>0,977</b>	<b>7,216</b>	$i = \frac{764,167 \times Tr^{0,76}}{(t + 12,879)^{0,660}}$
	Reg. Não-Linear	764,167	0,076	12,879	0,660	0,985	5,671	
Serrolândia	Reg. Linear	<b>1758,890</b>	<b>0,117</b>	<b>21,000</b>	<b>0,853</b>	<b>0,994</b>	<b>4,016</b>	$i = \frac{947,444 \times Tr^{0,116}}{(t + 11,767)^{0,749}}$
	Reg. Não-Linear	947,444	0,116	11,767	0,749	0,998	2,437	
Tabira	Reg. Linear	<b>3893,660</b>	<b>0,118</b>	<b>33,000</b>	<b>0,999</b>	<b>0,977</b>	<b>7,950</b>	$i = \frac{599,973 \times Tr^{0,103}}{(t + 7,628)^{0,632}}$
	Reg. Não-Linear	599,973	0,103	7,628	0,632	0,990	5,182	
Triunfo	Reg. Linear	<b>1807,730</b>	<b>0,178</b>	<b>22,000</b>	<b>0,851</b>	<b>0,983</b>	<b>8,919</b>	$i = \frac{559,365 \times Tr^{0,165}}{(t + 5,571)^{0,624}}$
	Reg. Não-Linear	559,365	0,165	5,571	0,624	0,997	3,682	
Vertentes	Reg. Linear	<b>1849,840</b>	<b>0,170</b>	<b>18,000</b>	<b>0,910</b>	<b>0,942</b>	<b>15,941</b>	$i = \frac{2282,3 \times Tr^{0,17}}{(t + 17,913)^{0,909}}$
	Reg. Não-Linear	2282,300	0,170	17,913	0,909	0,942	15,915	

EPE – Erro Padrão da Estimativa, i (mm/h), Tr (anos), t (min).

#### 4.4.2 Chuvas intensas obtidas por meio de dados pluviométricos

Da mesma forma como foi obtidos os parâmetros da relação IDF por meio de dados pluviográficos, foram determinadas as variáveis dependentes da equação de chuva intensas com os registros pluviométricos. A Tabela 4.6 apresenta os resultados alcançados para as 11 estações estudadas. Mais uma vez, todas as estações tiveram melhores resultados de ajuste da equação por meio do método de Regressão Não-Linear, sendo o diferencial a sensível variação entre os critérios estatísticos utilizados para escolha da melhor metodologia. Nas duas metodologias, as equações de

chuvas intensas apresentaram bons resultados, com coeficientes de determinação acima dos 99%. Neste caso, o Erro Padrão da Estimativa (EPE) auxiliou na escolha dos melhores ajustes, indicando variações maiores em comparação com o  $R^2$ , sendo seus limites inferiores e superiores iguais a 2,117 e 4,302, ambos registrados com o método de Regressão Não-Linear. Enquanto que para a Regressão Linear, estes valores ficaram entre 2,163 e 4,953.

Tabela 4. 6. - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, para cada estação pluviométrica.

Estação	Tipo de Regressão	Parâmetros da equação IDF				$R^2$	EPE	Equação Final
		K	a	b	c			
Araripina	Reg. Linear	<b>893,305</b>	<b>0,121</b>	<b>11,000</b>	<b>0,755</b>	<b>0,9983</b>	<b>2,163</b>	$i = \frac{893,442 \times Tr^{0,118}}{(t + 10,523)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	893,442	0,118	10,523	0,753	0,9984	2,117	
Belo Jardim	Reg. Linear	<b>954,993</b>	<b>0,153</b>	<b>10,800</b>	<b>2,000</b>	<b>0,9981</b>	<b>2,699</b>	$i = \frac{981,999 \times Tr^{0,145}}{(t + 10,766)^{0,757}}$
	Reg. Não-Linear	981,999	0,145	10,766	0,757	0,9983	2,572	
Bezerros	Reg. Linear	<b>783,430</b>	<b>0,186</b>	<b>10,000</b>	<b>0,745</b>	<b>0,9980</b>	<b>2,783</b>	$i = \frac{829,251 \times Tr^{0,189}}{(t + 10,587)^{0,754}}$
	Reg. Não-Linear	829,215	0,189	10,587	0,754	0,9980	2,743	
Custódia	Reg. Linear	<b>779,830</b>	<b>0,192</b>	<b>10,000</b>	<b>0,747</b>	<b>0,9981</b>	<b>2,673</b>	$i = \frac{840,677 \times Tr^{0,183}}{(t + 10,531)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	840,677	0,183	10,531	0,753	0,9984	2,485	
Jutaí	Reg. Linear	<b>928,966</b>	<b>0,135</b>	<b>11,000</b>	<b>0,755</b>	<b>0,9977</b>	<b>2,735</b>	$i = \frac{938,416 \times Tr^{0,127}}{(t + 10,523)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	938,416	0,127	10,523	0,753	0,9979	2,591	
Salgueiro	Reg. Linear	<b>660,693</b>	<b>0,231</b>	<b>7,000</b>	<b>0,715</b>	<b>0,9953</b>	<b>4,953</b>	$i = \frac{880,321 \times Tr^{0,215}}{(t + 10,538)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	880,321	0,215	10,538	0,753	0,9976	3,533	
Serra talhada	Reg. Linear	<b>870,362</b>	<b>0,147</b>	<b>9,000</b>	<b>0,736</b>	<b>0,9964</b>	<b>3,729</b>	$i = \frac{998,140 \times Tr^{0,136}}{(t + 12,525)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	998,140	0,136	10,525	0,753	0,9970	3,396	
Serrolândia	Reg. Linear	<b>954,993</b>	<b>0,144</b>	<b>12,000</b>	<b>0,764</b>	<b>0,9981</b>	<b>2,506</b>	$i = \frac{936,775 \times Tr^{0,144}}{(t + 10,786)^{0,757}}$
	Reg. Não-Linear	936,775	0,144	10,786	0,757	0,9983	2,343	
Tabira	Reg. Linear	<b>891,251</b>	<b>0,208</b>	<b>11,500</b>	<b>0,759</b>	<b>0,9961</b>	<b>4,247</b>	$i = \frac{903,074 \times Tr^{0,192}}{(t + 10,581)^{0,754}}$
	Reg. Não-Linear	903,074	0,192	10,581	0,754	0,9970	3,730	
Triunfo	Reg. Linear	<b>1054,387</b>	<b>0,192</b>	<b>12,000</b>	<b>0,764</b>	<b>0,9956</b>	<b>4,904</b>	$i = \frac{1030,495 \times Tr^{0,176}}{(t + 10,524)^{0,753}}$
	Reg. Não-Linear	1030,495	0,176	10,524	0,753	0,9966	4,302	
Vertentes	Reg. Linear	<b>862,979</b>	<b>0,151</b>	<b>10,000</b>	<b>0,745</b>	<b>0,9981</b>	<b>2,564</b>	$i = \frac{925,089 \times Tr^{0,143}}{(t + 10,543)^{0,754}}$
	Reg. Não-Linear	925,089	0,143	10,543	0,754	0,9983	2,431	

EPE – Erro Padrão da Estimativa,  $i$  (mm/h),  $Tr$  (anos),  $t$  (min).

#### 4.5. – Comparação entre as relações IDF geradas por pluviógrafos e pluviômetros

Objetivando analisar a qualidade das equações de chuvas intensas determinadas a partir dos registros pluviométricos dos postos selecionados no referido trabalho, realizou-se uma comparação com as funções geradas com dados pluviográficos. Para tal comparação foram utilizados os mesmos critérios estatísticos usados na validação das relações IDF determinadas neste trabalho. A Tabela 4.7 apresenta os resultados do coeficiente de ajuste, coeficiente de massa residual, coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa da comparação entre as equações desenvolvidas.

Tabela 4. 7 - Valores dos critérios estatísticos usados para comparação entre equações com dados pluviográficos e pluviométricos.

Estação	CA	CMR	R <sup>2</sup>	EPE
Araripina	0,696	-0,078	0,972	10,411
Belo Jardim	1,130	0,000	0,991	5,500
Bezerros	0,778	-0,227	0,975	10,699
Custódia	1,031	-0,058	0,981	8,412
Jutaí	0,801	-0,100	0,986	7,383
Salgueiro	1,102	-0,048	0,970	11,891
Serra Telhada	1,767	0,147	0,986	5,299
Serrolândia	1,219	0,067	0,998	2,498
Tabira	1,642	0,146	0,981	7,158
Triunfo	1,197	0,046	0,999	2,474
Vertentes	0,581	-0,241	0,997	4,149
<b>Mínimo =</b>	<b>0,581</b>	<b>-0,241</b>	<b>0,970</b>	<b>2,474</b>
<b>Máximo =</b>	<b>1,767</b>	<b>0,147</b>	<b>0,999</b>	<b>11,891</b>

CA – Coeficiente de ajuste  
 CMR – Coeficiente de massa residual  
 R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação  
 EPE – Erro padrão da estimativa

As equações geradas por meio da desagregação de chuva de 24 horas apresentaram bons ajustes aos dados, com valores de R<sup>2</sup> variando de 0,970 a 0,999 e EPE com valores mínimos e máximos de 2,474 e 11,891, respectivamente. Vale ressaltar que os postos de Belo Jardim, Jutaí, Serrolândia, Triunfo e Vertentes apresentaram ótimos resultados com R<sup>2</sup> acima de 99% e EPE variando de 5,5 a 2,474, permitindo sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos. Além disso, verifica-se que os valores do coeficiente de massa residual são bem próximos de zero, indicando baixas subestimação ou superestimação em comparação com os valores de intensidade de chuva com dados de pluviogramas, não gerando custos elevados de implantação e nem proporcionando riscos quanto à segurança de obras de drenagem.

Conforme Tabela 4.8, para todas as localidades estudadas obteve-se um bom ajuste com o valor do coeficiente de determinação que variou de 0,9727 a 0,9997 e o valor do EPE que variou de 0,951 a 10,294. Destacam-se os postos de Jutaí, Serrolândia, Tabira, Triunfo e Vertentes que apresentaram  $R^2$  acima de 99% e EPE variando de 0,970 a 2,786. Tais valores de EPE são considerados bastantes baixos, evidenciando a boa qualidade dos ajustes dos parâmetro das equações com dados desses postos.

Tabela 4. 8 - Valores do EPE e  $R^2$  para  $T r = 10$  anos e diferentes durações.

<b>Estação</b>	<b>EPE</b>	<b><math>R^2</math></b>
Araripina	10,294	0,9727
Belo Jardim	5,343	0,9917
Bezerros	9,230	0,9817
Custódia	6,453	0,9888
Jutaí	7,471	0,9860
Salgueiro	4,351	0,9961
Serra Talhada	3,518	0,9946
Serrolândia	0,951	0,9997
Tabira	0,970	0,9997
Triunfo	2,300	0,9987
Vertentes	2,786	0,9985
<b>Mínimo =</b>	<b>0,951</b>	<b>0,9727</b>
<b>Máximo =</b>	<b>10,294</b>	<b>0,9997</b>

## ***CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES***

### 5.1. – Conclusões

- A distribuição de Weibull mostrou ser um pouco mais eficiente que o modelo de Gumbel na análise de frequência das séries anuais de extremos.
- O modelo teórico de distribuição de probabilidade de Weibull foi o que melhor se ajustou a todas as séries de intensidade máximas médias anuais para os postos pluviográficos estudados, com  $R^2$  variando de 91,99% a 96,76%.
- Na análise de frequência das séries anuais com dados pluviométricos, o modelo teórico de distribuição de probabilidade de Gumbel apresentou melhores ajustes em três estações, enquanto que o modelo de Weibull mostrou-se melhor para as séries anuais de oito postos pluviométricos, enfatizando sua importância nos estudos relacionados com análise de frequência para ajustes de modelos para determinação de equações de chuvas intensas.
- As equações de chuvas intensas determinadas neste trabalho, por meio de dados pluviográficos, apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação acima de 94%. Além disso, as relações IDF estimadas com os registros pluviométricos também apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação acima de 99%. Tais equações representam uma grande contribuição para o estado de Pernambuco, sendo a alternativa mais eficaz para atender aos projetos de drenagem com período de retorno até 100 anos e durações até 24 horas.
- A análise comparativa dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia de desagregação de chuva de 24 horas com os valores das equações geradas por meio de dados de pluviogramas mostraram bons ajustes com valores de  $R^2$  variando de 97,0% a 99,9% e EPE com valores mínimos e máximos de 2,474 e 11,891, sendo tais valores considerados baixos. Além disso, os postos de Serrolândia, Tabira, Triunfo e Vertentes se destacaram na análise comparativa realizada entre as equações para o período de retorno igual a 10 anos e diferentes durações de chuvas, onde observou-se  $R^2$  acima de 99% e EPE variando de 0,970 a 2,786.
- Na determinação dos parâmetros das equações de chuvas intensas, observou-se que em todos os casos, a metodologia de Regressão Não-Linear melhorou o ajuste realizado inicialmente por meio da Regressão Linear.
- Verificou-se que através da análise dos dados disponíveis que o estado de Pernambuco não possui uma rede de postos pluviográficos que atenda as exigências da OMM quanto à distribuição espacial e quanto ao período de dados suficientes para formação de séries históricas que possam gerar resultados de probabilidade mais próximos das frequências de registros passados.
- A análise das relações entre os valores extremos de intensidade máxima média de precipitação pluvial, com dados dos pluviogramas, para cada duração revela uma variabilidade entre os

valores de precipitações para cada duração, indicando que os erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade, considerando-se os dados pertinentes a outra localidade, tendem a variar com as durações.

## 5.2. –Recomendações

- Por meio dos resultados observados na análise das séries anuais dos dados pluviométricos, evidencia-se a necessidade de realizar um estudo com todos os dados de pluviogramas disponíveis em Pernambuco e com os registros pluviométricos de postos localizados em diferentes regiões com padrões fisiográficos distintos, objetivando gerar novas relações entre as precipitações de diferentes durações, conforme a metodologia descrita em CETESB (1986). Com isso, através da metodologia de desagregação de chuva de 24 horas, serão geradas novas equações de chuvas intensas por meio dos dados pluviométricos, associadas a grupos climáticos homogêneos. Além disso, face à grande quantidade de postos pluviométricos, as equações de chuvas intensas poderão ser regionalizadas, abrangendo todo o território pernambucano.
- Face às grandes diferenças observadas entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas nas diferentes localidades para cada duração, sobretudo as maiores, constata-se a necessidade de obtenção de mais equações que representem as condições das chuvas intensas para a localidade de interesse.
- A melhor maneira de minimizar as imprecisões na estimativa da intensidade máxima média de precipitação pluvial é por intermédio da ampliação de estudos, como o proposto, para um número cada vez maior de localidades.
- Conclui-se que as equações geradas neste trabalho devam ser usadas, com as ressalvas próprias aos trabalhos hidrológicos. Além disso, é possível aprimorar o trabalho realizado, quando do aumento da disponibilidade de observações de precipitação, demonstrando também a importância da continuidade da coleta de dados hidrológicos e criação de novos postos pluviográficos que venham a atender melhor o vasto território do estado de Pernambuco.

## ***CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

**6.1. – Referência bibliográfica**

- ANDRADE, M. C. O. (1999). *Atlas de Pernambuco*. Editora GRAFSET, João Pessoa, 112 p.
- ARAGÃO, A.; FIGUEIREDO, E. E.; SIRINIVASAN, V. S.; GOIS, R. S. S. (2000). “*Chuvas intensas no estado da Paraíba*”. In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, Nov 2000, CD-ROM.
- BANZATTO, D. A.; BENINCASA, M. (1986). *Estimativas de chuvas diárias máximas prováveis com duração de um dia, para o Estado de São Paulo*. Jaboticabal: UNESP, (Boletim técnico, 6).
- BATES, D. M.; WATTS, D. G. (1988). *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York: John Wiley and Sons.
- BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. (2002). *Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos*. CODEVASF, Brasília, 216 p.
- BELL, F. Ch. (1969). *Generalized rainfall duration frequency relationships*. Journal of the Hydraulics Division. American Society of Civil Engineers, New York, v.95, n.1, Jan., pag 311-327.
- BELTRAME, L. F. S.; LANNA, A. E. L.; LOUZADA, J. A. S. (1991). *Chuvas intensas*. Porto Alegre: IPHUFGRS, 69 p.
- CASTRO, R. A. G.; FONSECA, P. L.; FORTES, J. D. M. (2005) “*Determinação de Equação I-D-F de Chuvas Intensas do Posto Pluviográfico / Pluviométrico Via Onze – Barra da Tijuca – RJ – Metodologia e Análise Comparativa*”. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Minas Gerais, setembro 2005, CD-ROM.
- CETESB (1986). *Drenagem Urbana: manual de projeto*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 464 p.
- CHEN, C. L. (1983). *Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas*. Journal of the Hydraulics Division – ASCE. Vol 109, n HY12, pp 1603-1621.
- CHOW, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1418 p.

COSTA, A. R. (1999). “*Análise das Aplicações de duas Equações de Chuva Elaboradas para a mesma Cidade*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov 1999, CD-ROM.

COSTA, A. R.; BRITO, V. F. (1999). “*Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov 1999, CD-ROM.

COSTA, A. R.; SILVA, K. T.; URZÊDA, S. A.; CARVALHO, S. S. (1995). *Relações intensidade-duração – período de retorno em Goiás - Aruanã, Goiânia e Pires do Rio*; In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Recife – PE, Anais p. 159 a 163.

CRUCIANI, D. E. (1980). *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 337p.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. (2008). “*Comparação de diferentes Metodologias para Estimativa de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas - RS*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, Vol 28, No 2, pp 245-255.

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. (2006). *Comparação entre Curvas Intensidade-Duração-Frequência de Ocorrência de Precipitação Obtidas a partir de Dados Pluviográficos com aquelas Estimadas por Técnicas de Desagregação de Chuva Diária*. R. Bras. Agrocência, Pelotas, v. 12, n. 4, p.505-509.

DAMÉ, R. C. F. (2001). *Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência*. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DAVIS, E. G; NAGHETTINI, M. C. (2001). *Estudos de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Belo Horizonte, 140 p.

FENDRICH, R. (2003). *Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná*. Editora Universitária Champagnat, Curitiba- PR, 99 p.

FENDRICH, R. (1999). “*Importância das Equações de Chuvas Intensas na Drenagem Urbana*”. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov 1999, CD-ROM.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. (2000). “*Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudos Existentes e Análise Comparativa*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Vol 5, No 3, pp 45-58.

GENOVEZ, A. M.; R. C. F. PEGORARO (1998). “*Análise e Avaliação das Equações de Chuvas Intensas Generalizadas*”. XVIII Congresso Latino americano de Hidráulica, IAHR, Oaxaca, Chile, Vol 1, pp 369-79.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C.; BORRI GENOVEZ, A. I. (1994). “*Relação entre Chuvas Intensas de Diferentes Durações e Avaliação das Equações de Chuvas Intensas Generalizadas*”. XVI Congresso Latino americano de Hidráulica, IAHR, Santiago, Chile, Vol 3, pp 279-90.

HERNANDEZ, V. (1991). “*Ainda as equações de chuvas intensas - pode-se generalizar?*”. In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, Nov 1991, pp 193-203.

HOSKING, J.R.M., WALLIS, J. (1997). *Regionalization by the Method of L-moments*. Cambridge University Press, England, 224p.

MAKSOUUD, H. (1961). *O Estado Atual dos Conhecimentos sobre os Recursos de Água no Nordeste*. In: Revista Brasileira de Geografia, ano XXIII, Nº 1, p14-20.

MARTINEZ JÚNIOR, F. (1999). “*Análise das precipitações intensas no estado de São Paulo*”. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov 1999, CD-ROM.

MATOS, J. E. R. (2006). *Chuvas Intensas na Bahia: equações e metodologia de regionalização*. Salvador, EDUFBA, 296 p.

MELO, M. J. V.; CABRAL, J. J. S. P.; CIRILO, A. J.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2006). “*Considerações sobre os estudos pluviométricos na bacia do rio Fragoso*”. In: Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá- PE, Out 2006, CD-ROM.

OCCHIPINTI, A. G; SANTOS, P. M. (1965). *Análise das máximas intensidades de chuva na cidade de São Paulo*. Instituto Astronômico e Geofísico, São Paulo, 41p.

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

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃOS, P. A.; CARVALHO, D. F. (2000). “*Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para algumas Localidades no Estado de Goiás pelo Método da Desagregação de Chuvas*”. Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical, Vol 30, No 1, pp 23-27.

OLIVEIRA, L. F. C. & F. F. PRUSKI. (1996). *Modelos para estimar as perdas de solo e água e transporte de solutos*. Viçosa, MG. 70p.

PFAFSTETTER, O. (1982). “*Chuvas Intensas no Brasil*”. DNOS, Rio de Janeiro, 419 p.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. (1976). *Hidrologia Básica*. Editora Edgard Blucher Ltda.

PRUSKI, F. F. (1993). *Desenvolvimento de metodologia para dimensionamento de canais de terraços*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 97.

REHISA (2004). *Relatório Final da Caracterização das bacias experimentais do semi-árido, Projeto IBESA – Implantação de bacias experimentais do semi-árido para o desenvolvimento de metodologias de avaliação dos balanços hídricos e energéticos em diferentes escalas temporais e espaciais*. Projeto integrado UFRN-UFC-UFPB-UFCG-UFRPE-UFPE-UFBA, 143 p.

RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. EESC / USP, São Carlos- SP, 840 p.

ROBAINA, A. D. (1996). “*Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Vol 4, No 2, pp 95-98.

ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. (1992). *Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21.; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.746-53.

SALGUEIRO, J. H. P. B. (2005). *Avaliação de Rede Pluviométrica e Análise de Variabilidade Espacial da Precipitação: Estudo de Caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco*. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Grupo de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrologia Aplicada*. LACTEC, Curitiba- PR, 372 p.

- SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. (1989). *Nonlinear regression*. New York: John Wiley and Sons.
- SECTMA (1998). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco*. Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente. Recife – PE, V1 p74-82 e V2 p46-59.
- SETZER, J. (1973). *Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo*. São Paulo, CTH/DAEE.
- SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. (1999). *Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo*. Revista de Engenharia Agrícola, Vol 18, No 3, pp 11-21.
- SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. (2002). *Chuvas intensas no estado da Bahia*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol 6, No 2, pp 362-367.
- SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; LEITE, H. G; BRANDÃO, V. S. (2003). “*Análise Regional de Chuvas Intensas a Bacia do Rio Doce*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Vol 8, No 4, pp 157-168.
- SUDENE (1990). *Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste - Estado de Pernambuco – Séries Pluviométricas*. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Nº 6. Recife – PE, 363 p.
- TABORGA, J. J. T. (1974). *Práticas Hidrológicas*. Rio de Janeiro: TRANSCON, 120p.
- TORRICO, J. J. T. (1974). *Práticas Hidrológicas*. Rio de Janeiro: Transcon, 119 p.
- TUCCI, C. E. M. (2004). *Hidrologia ciência e aplicação*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943 p.
- UEHARA, K.; K. ZAHED FILHO; SILVEIRA, L. N. L.; PALERMO, M. A. (1980). *Pequenas bacias Hidrológicas do Estado de São Paulo – Estudo de Vazões Médias e Máximas*. FDTE / Escola Politécnica da USP, São Paulo, vol 2, 780 p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 245 p.
- WILKEN, P. S. (1978). *Engenharia de Drenagem Superficial*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 477 p.

## ***CAPÍTULO 7 - ANEXOS***

## 7.1 – Tabelas de séries anuais dos dados de pluviógrafos

Séries anuais - Araripina

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	86,10	80,70	79,94	69,80	62,38	54,26	39,00	32,32	21,83	18,70
2	83,40	72,00	72,00	67,01	58,70	49,40	38,20	31,54	21,76	13,72
3	80,70	70,40	69,20	63,15	58,03	42,38	34,51	24,47	17,50	12,75
4	75,00	64,12	63,20	58,40	57,47	41,71	33,94	24,16	16,39	11,75
5	72,10	63,20	61,20	55,27	47,05	41,62	33,52	23,36	15,80	11,35
6	63,20	62,80	61,18	49,16	46,14	40,12	26,54	21,94	15,45	10,24
7	61,30	61,30	58,00	48,23	41,72	33,27	26,20	21,43	13,57	8,50
8	59,70	58,10	49,10	47,23	40,86	33,00	24,99	19,08	12,27	8,17
9	55,00	47,00	43,10	42,80	40,55	30,95	22,00	18,08	12,26	7,64
10	55,00	47,00	42,80	40,91	40,55	30,33	20,78	16,73	10,39	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

Séries anuais - Belo Jardim

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	136,00	115,60	97,92	83,38	81,80	68,50	52,43	37,93	22,50	14,40
2	125,00	100,00	83,50	75,20	75,14	64,74	47,84	34,90	22,21	13,97
3	95,90	86,56	83,10	73,81	69,50	63,90	43,98	33,19	21,74	13,54
4	83,50	83,50	75,23	71,22	64,58	59,98	36,30	27,85	21,13	11,74
5	75,80	75,20	75,20	65,46	56,20	50,70	35,03	26,65	16,17	11,23
6	75,20	72,40	72,40	56,62	56,20	41,05	31,85	24,44	15,46	9,90
7	72,40	65,60	65,60	54,75	52,55	40,58	28,20	23,18	13,09	9,50
8	68,00	59,70	59,03	44,23	40,31	33,88	25,06	21,08	12,78	8,78
9	61,50	59,30	57,68	44,10	35,11	31,28	22,44	17,67	12,44	8,49
10	59,80	53,83	45,77	35,15	32,10	25,30	22,40	15,94	10,38	8,10
11	55,00	48,90	42,52	33,00	30,00	25,00	20,00	15,00	10,00	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Bezerros**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	158,10	158,10	152,33	136,95	128,27	88,96	48,90	35,51	23,23	15,50
2	108,20	108,20	107,00	81,93	66,49	60,65	41,39	34,64	21,26	14,88
3	78,10	73,60	69,20	68,67	60,20	49,95	40,16	28,52	20,60	14,70
4	76,20	71,07	53,70	53,39	52,96	45,74	39,96	28,30	19,49	14,08
5	74,00	70,36	47,30	45,40	44,59	39,10	32,44	27,61	18,60	13,03
6	69,40	69,20	46,92	44,10	44,10	37,75	32,15	26,29	18,18	11,53
7	58,70	58,70	45,40	34,20	33,50	31,70	28,96	21,23	15,73	10,57
8	55,00	47,00	44,10	33,50	33,05	31,00	24,79	20,68	12,47	9,90
9	55,00	47,00	40,00	33,00	31,00	29,20	18,85	16,12	12,38	8,58

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Custódia**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	100,20	100,20	93,50	93,40	91,80	69,98	52,43	37,30	22,10	13,54
2	97,10	93,50	83,00	79,41	73,94	68,50	47,84	34,90	27,70	14,40
3	93,50	84,15	75,30	74,00	69,50	63,90	46,90	33,63	22,21	13,97
4	74,00	74,00	74,00	73,91	64,58	62,60	41,40	32,76	21,74	11,74
5	72,40	72,40	72,40	65,46	56,26	50,60	35,03	26,65	21,13	11,23
6	65,60	65,60	65,60	56,60	56,20	41,05	31,85	24,33	18,23	9,90
7	61,50	59,80	59,03	54,75	52,55	40,58	28,20	23,18	15,46	9,50
8	59,80	59,30	57,70	44,23	40,31	33,88	25,06	21,80	13,09	8,78
9	56,80	53,80	45,80	44,10	35,11	31,37	23,20	19,40	12,78	8,49
10	55,00	48,90	40,00	35,15	30,30	25,00	22,40	15,94	11,54	8,10
11	55,00	47,00	40,00	33,00	30,00	25,00	20,00	15,30	10,38	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Fernando de Noronha**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	148,50	121,40	96,73	92,40	79,00	59,22	38,40	27,84	18,80	12,80
2	115,60	114,63	94,80	73,80	71,50	50,99	38,40	26,90	18,13	12,16
3	111,90	95,30	85,16	72,82	63,60	46,60	31,79	26,86	17,54	10,97
4	95,30	95,00	82,80	69,57	63,50	46,00	30,26	23,57	14,40	10,20
5	85,50	83,90	79,20	66,11	61,70	43,98	29,69	22,68	13,07	9,10
6	74,70	74,70	74,32	61,91	56,97	39,06	25,02	19,91	12,30	8,80
7	74,50	73,20	70,60	51,61	45,03	28,55	24,14	17,20	11,18	8,40
8	72,60	58,40	54,22	41,40	30,00	25,00	20,00	15,00	10,00	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Glória de Goitá

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	138,00	111,00	84,00	79,89	78,96	48,00	34,49	28,90	17,07	11,73
2	122,30	107,42	81,40	64,85	52,70	39,05	29,39	22,65	16,63	10,01
3	98,40	96,50	69,40	50,50	43,30	39,00	27,75	22,25	14,42	8,71
4	84,00	84,00	68,73	48,10	41,92	36,89	27,43	21,60	14,20	7,67
5	82,10	68,90	67,40	43,38	40,87	34,21	26,58	21,17	13,03	7,67
6	68,90	62,40	54,32	43,10	39,05	31,27	24,47	20,50	12,40	7,48
7	62,40	62,00	44,30	41,49	36,70	30,80	22,65	19,51	12,40	7,10
8	60,20	50,40	43,10	36,70	36,50	30,60	21,16	18,96	11,97	7,08
9	55,00	45,00	40,80	36,31	34,00	30,04	21,07	17,09	10,40	6,17

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Jutai

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	130,90	130,90	100,50	100,50	90,50	68,04	44,45	35,88	23,14	18,96
2	85,60	85,60	81,40	73,10	71,71	53,79	39,68	32,85	23,89	14,50
3	74,30	74,30	73,80	66,50	58,37	52,55	35,00	29,80	20,22	12,68
4	74,30	73,10	73,10	63,28	55,53	49,70	34,93	28,00	17,81	11,88
5	73,10	69,50	66,08	60,56	53,30	42,04	32,00	26,22	17,68	11,75
6	71,70	63,00	63,00	56,61	48,31	41,79	29,90	25,44	17,04	11,19
7	63,40	61,40	61,10	52,80	46,39	39,03	28,97	24,50	16,91	11,17
8	61,10	61,10	54,97	47,03	45,61	35,97	28,13	22,82	14,26	10,80
9	55,00	52,80	52,80	47,01	43,87	33,40	27,97	19,84	14,01	9,90
10	55,00	47,40	41,30	40,00	37,26	32,44	26,13	19,70	13,27	9,51

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Salgueiro

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	150,50	150,50	142,96	108,48	90,45	81,59	59,05	44,37	27,57	18,26
2	127,50	127,50	119,57	90,30	90,21	64,96	52,83	41,97	27,03	15,55
3	111,70	99,18	91,60	83,27	74,28	62,19	52,02	40,90	23,70	14,90
4	91,70	91,60	87,88	75,73	69,00	60,29	49,38	36,74	22,90	13,70
5	91,60	88,90	84,62	72,39	67,80	59,00	45,68	35,59	19,49	13,20
6	77,50	77,50	77,26	68,46	62,90	56,80	41,66	29,96	18,77	11,63
7	76,70	76,48	76,24	65,25	56,80	53,80	35,72	26,69	18,33	11,40
8	72,80	72,80	72,80	57,15	55,74	50,57	32,30	25,77	18,20	10,89
9	69,00	68,50	67,46	57,11	49,10	45,70	30,53	25,00	16,60	10,70
10	54,30	54,30	54,30	50,85	48,64	44,50	30,31	22,88	16,30	10,40

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Serra Talhada**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	98,70	98,70	98,70	98,70	97,80	68,50	42,86	30,47	19,70	12,21
2	90,10	84,40	84,40	65,96	59,66	55,54	37,65	28,44	19,00	11,93
3	84,40	83,91	76,99	63,87	59,30	54,60	35,00	26,54	16,75	11,70
4	69,80	69,80	69,60	63,24	58,58	50,00	34,60	26,43	16,30	10,70
5	69,70	69,70	67,77	60,10	56,90	44,90	34,27	25,60	15,92	10,54
6	69,60	69,60	66,00	56,90	50,34	39,40	31,89	25,35	15,80	10,50
7	68,20	68,20	65,85	52,73	46,90	36,96	31,18	24,86	15,60	10,48
8	65,20	65,20	63,40	51,83	43,50	36,00	29,82	24,62	15,16	9,60
9	63,40	63,40	56,90	50,70	43,39	35,87	28,49	23,45	14,84	9,43
10	56,90	56,90	54,70	48,09	42,86	35,45	27,91	21,53	14,56	8,73
11	55,00	54,80	53,80	47,16	41,14	34,88	27,79	20,82	14,10	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Serrolândia**

<b>Ordem</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	123,3	106,2	88,1	86,014	78,523	60,06	36,5	31,413	22,75	13,65
2	111,8	88,1	73,9	66,145	60,856	54,6	36,231	30,669	20,388	12,87
3	75,1	74,5	67,4	63,883	59,6	50,74	35,311	30,371	18	11,25
4	71,5	67	64,6	62,245	52,305	46,36	35,1	30,35	17,929	11,07
5	71,1	64,6	64,148	57,308	51,4	45,3	34,88	25,2	16,125	11
6	64,6	63,7	63,525	52,5	47,873	45,1	34,733	24,475	15,067	10,7
7	63,7	62,6	62,6	51,6	47,2	41,75	31,513	23,631	14	10,01
8	61,4	61,4	61,4	51,311	45,244	40,62	27,3	22,846	13,818	9,225
9	58,9	56,743	53,6	47,9	44,72	39,5	26,627	20,74	13,72	8,818
10	55,3	54,44	52,5	46,3	41,8	35,84	26,277	19,5	13,315	8,429
11	55	53,9	47,9	44,65	39,8	34,8	25,136	18,5	12,375	8

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Tabira**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	98,50	98,50	98,50	98,50	88,67	67,04	42,70	31,87	21,70	14,47
2	88,20	87,49	77,35	68,60	65,26	54,63	40,70	31,70	19,40	12,64
3	72,70	72,70	69,00	67,96	59,40	52,60	38,23	27,92	17,14	12,29
4	72,30	71,80	68,60	65,45	58,13	51,50	34,05	26,96	16,17	11,73
5	69,00	69,00	68,40	61,30	56,85	40,70	32,19	25,16	15,77	10,66
6	68,60	68,60	64,78	61,01	55,43	40,35	30,21	25,02	15,64	10,13
7	68,40	68,40	62,99	53,03	45,43	39,51	26,43	21,31	15,18	9,59
8	63,20	63,20	61,99	52,82	44,68	33,14	25,55	19,90	14,40	9,44
9	55,00	48,10	43,69	42,60	42,60	32,35	25,48	19,67	14,10	8,50
10	55,00	47,96	42,60	41,00	39,80	28,50	23,95	18,09	13,67	8,40

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Triunfo**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	174,10	163,20	153,65	113,13	89,27	61,54	41,73	36,70	25,53	16,80
2	118,40	118,40	116,40	91,78	78,10	58,10	41,47	33,37	22,37	16,00
3	84,40	84,40	75,00	71,38	68,22	57,56	40,62	32,23	22,25	13,97
4	68,50	60,70	60,55	58,78	56,63	54,18	40,24	29,40	19,30	12,40
5	60,70	60,10	60,10	51,80	51,80	51,75	38,76	28,90	18,76	11,96
6	60,10	57,10	53,12	50,84	50,14	44,89	37,50	28,75	16,10	8,90
7	57,10	53,00	51,80	50,10	47,30	35,48	26,38	21,22	13,30	8,60
8	56,00	47,30	47,30	37,05	32,59	27,05	20,54	16,91	10,11	8,30
9	55,00	47,00	39,90	36,62	30,00	25,00	20,00	16,80	10,00	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Vertentes**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	91,00	91,00	91,00	87,69	81,48	56,53	47,86	32,70	22,78	21,04
2	88,40	84,46	84,10	83,93	74,38	55,60	42,27	31,56	20,94	16,80
3	84,10	84,10	75,40	75,40	69,26	54,84	37,96	31,35	20,93	13,07
4	80,20	75,40	73,50	72,58	60,70	54,20	34,80	31,30	18,65	12,40
5	73,50	73,50	70,50	63,01	55,83	52,07	33,19	29,60	18,60	11,96
6	73,20	73,20	63,98	61,99	55,66	40,82	32,43	27,63	17,14	11,47
7	68,30	68,30	63,71	59,80	54,20	36,30	28,90	25,95	16,90	10,44
8	66,80	63,63	62,16	54,46	49,72	35,20	26,34	21,64	15,95	9,00
9	63,90	63,00	58,37	50,54	44,02	34,21	26,09	21,58	15,54	8,70
10	63,00	62,20	57,60	45,36	41,60	31,66	25,80	20,71	15,29	8,50
11	62,20	61,30	53,20	41,60	38,30	30,84	24,97	20,63	14,12	8,33
12	61,50	57,60	46,45	40,90	37,47	29,91	22,90	20,56	13,51	8,17
13	57,60	54,60	43,98	38,59	36,09	29,87	21,39	17,58	11,00	8,08
14	55,00	53,20	40,10	33,28	31,33	27,80	20,35	16,61	10,44	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## 7.2 – Tabelas de séries anuais dos dados de pluviômetros

Séries anuais - Araripina

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	136,29	115,85	98,13	73,60	65,42	57,24	42,36	34,31	22,87	14,40
2	135,52	115,19	97,57	73,18	65,05	56,92	42,12	34,12	22,74	14,32
3	133,32	113,32	95,99	71,99	63,99	55,99	41,44	33,56	22,38	14,09
4	133,10	113,14	95,83	71,87	63,89	55,90	41,37	33,51	22,34	14,06
5	121,33	103,13	87,36	65,52	58,24	50,96	37,71	30,54	20,36	12,82
6	108,57	92,28	78,17	58,63	52,11	45,60	33,74	27,33	18,22	11,47
7	105,60	89,76	76,03	57,02	50,69	44,35	32,82	26,58	17,72	11,16
8	104,50	88,83	75,24	56,43	50,16	43,89	32,48	26,31	17,54	11,04
13	94,82	80,60	68,27	51,20	45,51	39,82	29,47	23,87	15,91	10,02
14	93,72	79,66	67,48	50,61	44,99	39,36	29,13	23,59	15,73	9,90
15	92,73	78,82	66,77	50,07	44,51	38,95	28,82	23,34	15,56	9,80
16	92,40	78,54	66,53	49,90	44,35	38,81	28,72	23,26	15,51	9,76
17	91,30	77,61	65,74	49,30	43,82	38,35	28,38	22,98	15,32	9,65
18	91,30	77,61	65,74	49,30	43,82	38,35	28,38	22,98	15,32	9,65
19	90,86	77,23	65,42	49,06	43,61	38,16	28,24	22,87	15,25	9,60
20	90,75	77,14	65,34	49,01	43,56	38,12	28,21	22,85	15,23	9,59
21	90,31	76,76	65,02	48,77	43,35	37,93	28,07	22,74	15,16	9,54
22	89,10	75,74	64,15	48,11	42,77	37,42	27,69	22,43	14,95	9,42
23	87,78	74,61	63,20	47,40	42,13	36,87	27,28	22,10	14,73	9,28
24	84,15	71,53	60,59	45,44	40,39	35,34	26,15	21,18	14,12	8,89
25	83,60	71,06	60,19	45,14	40,13	35,11	25,98	21,05	14,03	8,83
26	82,61	70,22	59,48	44,61	39,65	34,70	25,68	20,80	13,86	8,73
27	80,08	68,07	57,66	43,24	38,44	33,63	24,89	20,16	13,44	8,46
28	79,75	67,79	57,42	43,07	38,28	33,50	24,79	20,08	13,38	8,43
29	79,75	67,79	57,42	43,07	38,28	33,50	24,79	20,08	13,38	8,43
30	79,53	67,60	57,26	42,95	38,17	33,40	24,72	20,02	13,35	8,40
31	79,42	67,51	57,18	42,89	38,12	33,36	24,68	19,99	13,33	8,39
32	79,20	67,32	57,02	42,77	38,02	33,26	24,62	19,94	13,29	8,37
33	77,99	66,29	56,15	42,11	37,44	32,76	24,24	19,63	13,09	8,24
34	73,92	62,83	53,22	39,92	35,48	31,05	22,97	18,61	12,41	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Belo Jardim**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	149,60	127,16	107,71	80,78	71,81	62,83	46,50	37,66	25,11	15,81
2	138,60	117,81	99,79	74,84	66,53	58,21	43,08	34,89	23,26	14,65
3	137,50	116,88	99,00	74,25	66,00	57,75	42,74	34,62	23,08	14,53
4	123,09	104,63	88,62	66,47	59,08	51,70	38,26	30,99	20,66	13,01
5	112,64	95,74	81,10	60,83	54,07	47,31	35,01	28,36	18,90	11,90
6	100,21	85,18	72,15	54,11	48,10	42,09	31,15	25,23	16,82	10,59
7	98,89	84,06	71,20	53,40	47,47	41,53	30,74	24,90	16,60	10,45
8	93,83	79,76	67,56	50,67	45,04	39,41	29,16	23,62	15,75	9,92
9	90,31	76,76	65,02	48,77	43,35	37,93	28,07	22,74	15,16	9,54
10	82,72	70,31	59,56	44,67	39,71	34,74	25,71	20,82	13,88	8,74
11	82,28	69,94	59,24	44,43	39,49	34,56	25,57	20,71	13,81	8,69
12	74,80	63,58	53,86	40,39	35,90	31,42	23,25	18,83	12,55	8,00
13	71,50	60,78	51,48	38,61	34,32	30,03	22,22	18,00	12,00	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

**Séries anuais - Bezerros**

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
1	163,13	138,66	117,45	88,09	78,30	68,51	50,70	41,07	27,38	17,24
2	119,46	101,54	86,01	64,51	57,34	50,17	37,13	30,07	20,05	12,62
3	93,72	79,66	67,48	50,61	44,99	39,36	29,13	23,59	15,73	9,90
4	91,30	77,61	65,74	49,30	43,82	38,35	28,38	22,98	15,32	9,65
5	89,65	76,20	64,55	48,41	43,03	37,65	27,86	22,57	15,05	9,47
6	85,36	72,56	61,46	46,09	40,97	35,85	26,53	21,49	14,33	9,02
7	84,26	71,62	60,67	45,50	40,44	35,39	26,19	21,21	14,14	8,90
8	80,52	68,44	57,97	43,48	38,65	33,82	25,03	20,27	13,51	8,51
9	74,36	63,21	53,54	40,15	35,69	31,23	23,11	18,72	12,48	8,00
10	74,14	63,02	53,38	40,04	35,59	31,14	23,04	18,66	12,44	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Custódia

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	191,62	162,88	137,97	103,47	91,98	80,48	59,56	48,24	32,16	20,25
2	131,34	111,64	94,56	70,92	63,04	55,16	40,82	33,06	22,04	13,88
3	127,60	108,46	91,87	68,90	61,25	53,59	39,66	32,12	21,42	13,48
4	121,22	103,04	87,28	65,46	58,19	50,91	37,68	30,52	20,34	12,81
5	121,00	102,85	87,12	65,34	58,08	50,82	37,61	30,46	20,31	12,79
6	116,93	99,39	84,19	63,14	56,13	49,11	36,34	29,44	19,62	12,36
7	105,93	90,04	76,27	57,20	50,85	44,49	32,92	26,67	17,78	11,19
8	105,60	89,76	76,03	57,02	50,69	44,35	32,82	26,58	17,72	11,16
9	99,55	84,62	71,68	53,76	47,78	41,81	30,94	25,06	16,71	10,52
10	95,26	80,97	68,59	51,44	45,72	40,01	29,61	23,98	15,99	10,07
11	90,64	77,04	65,26	48,95	43,51	38,07	28,17	22,82	15,21	9,58
12	88,22	74,99	63,52	47,64	42,35	37,05	27,42	22,21	14,81	9,32
13	88,22	74,99	63,52	47,64	42,35	37,05	27,42	22,21	14,81	9,32
14	88,00	74,80	63,36	47,52	42,24	36,96	27,35	22,15	14,77	9,30
15	86,02	73,12	61,93	46,45	41,29	36,13	26,74	21,66	14,44	9,09
16	86,02	73,12	61,93	46,45	41,29	36,13	26,74	21,66	14,44	9,09
17	83,71	71,15	60,27	45,20	40,18	35,16	26,02	21,07	14,05	8,85
18	82,50	70,13	59,40	44,55	39,60	34,65	25,64	20,77	13,85	8,72
19	82,50	70,13	59,40	44,55	39,60	34,65	25,64	20,77	13,85	8,72
20	81,18	69,00	58,45	43,84	38,97	34,10	25,23	20,44	13,62	8,58
21	81,18	69,00	58,45	43,84	38,97	34,10	25,23	20,44	13,62	8,58
22	79,20	67,32	57,02	42,77	38,02	33,26	24,62	19,94	13,29	8,37
23	79,20	67,32	57,02	42,77	38,02	33,26	24,62	19,94	13,29	8,37
24	77,44	65,82	55,76	41,82	37,17	32,52	24,07	19,50	13,00	8,18
25	77,22	65,64	55,60	41,70	37,07	32,43	24,00	19,44	12,96	8,16
26	74,80	63,58	53,86	40,39	35,90	31,42	23,25	18,83	12,55	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Jutai

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	158,84	135,01	114,36	85,77	76,24	66,71	49,37	39,99	26,66	16,78
2	137,50	116,88	99,00	74,25	66,00	57,75	42,74	34,62	23,08	14,53
3	129,80	110,33	93,46	70,09	62,30	54,52	40,34	32,68	21,78	13,72
4	125,40	106,59	90,29	67,72	60,19	52,67	38,97	31,57	21,05	13,25
5	121,33	103,13	87,36	65,52	58,24	50,96	37,71	30,54	20,36	12,82
6	117,26	99,67	84,43	63,32	56,28	49,25	36,44	29,52	19,68	12,39
7	117,04	99,48	84,27	63,20	56,18	49,16	36,38	29,46	19,64	12,37
8	114,62	97,43	82,53	61,89	55,02	48,14	35,62	28,86	19,24	12,11
9	112,42	95,56	80,94	60,71	53,96	47,22	34,94	28,30	18,87	11,88
10	102,30	86,96	73,66	55,24	49,10	42,97	31,79	25,75	17,17	10,81
11	96,80	82,28	69,70	52,27	46,46	40,66	30,09	24,37	16,25	10,23
12	95,92	81,53	69,06	51,80	46,04	40,29	29,81	24,15	16,10	10,14
13	93,50	79,48	67,32	50,49	44,88	39,27	29,06	23,54	15,69	9,88
14	92,40	78,54	66,53	49,90	44,35	38,81	28,72	23,26	15,51	9,76
15	92,40	78,54	66,53	49,90	44,35	38,81	28,72	23,26	15,51	9,76
16	86,90	73,87	62,57	46,93	41,71	36,50	27,01	21,88	14,58	9,18
17	86,90	73,87	62,57	46,93	41,71	36,50	27,01	21,88	14,58	9,18
18	86,90	73,87	62,57	46,93	41,71	36,50	27,01	21,88	14,58	9,18
19	86,46	73,49	62,25	46,69	41,50	36,31	26,87	21,77	14,51	9,14
20	85,80	72,93	61,78	46,33	41,18	36,04	26,67	21,60	14,40	9,07
21	85,03	72,28	61,22	45,92	40,81	35,71	26,43	21,41	14,27	8,99
22	85,03	72,28	61,22	45,92	40,81	35,71	26,43	21,41	14,27	8,99
23	83,93	71,34	60,43	45,32	40,29	35,25	26,09	21,13	14,09	8,87
24	83,16	70,69	59,88	44,91	39,92	34,93	25,85	20,94	13,96	8,79
25	79,64	67,69	57,34	43,01	38,23	33,45	24,75	20,05	13,37	8,42
26	76,23	64,80	54,89	41,16	36,59	32,02	23,69	19,19	12,79	8,06
27	74,80	63,58	53,86	40,39	35,90	31,42	23,25	18,83	12,55	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Salgueiro

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	264,00	224,40	190,08	142,56	126,72	110,88	82,05	66,46	44,31	27,90
2	154,00	130,90	110,88	83,16	73,92	64,68	47,86	38,77	25,85	16,27
3	144,76	123,05	104,23	78,17	69,48	60,80	44,99	36,44	24,30	15,30
4	143,00	121,55	102,96	77,22	68,64	60,06	44,44	36,00	24,00	15,11
5	137,50	116,88	99,00	74,25	66,00	57,75	42,74	34,62	23,08	14,53
6	136,40	115,94	98,21	73,66	65,47	57,29	42,39	34,34	22,89	14,41
7	135,74	115,38	97,73	73,30	65,16	57,01	42,19	34,17	22,78	14,34
8	127,60	108,46	91,87	68,90	61,25	53,59	39,66	32,12	21,42	13,48
9	124,30	105,66	89,50	67,12	59,66	52,21	38,63	31,29	20,86	13,14
10	121,00	102,85	87,12	65,34	58,08	50,82	37,61	30,46	20,31	12,79
11	114,84	97,61	82,68	62,01	55,12	48,23	35,69	28,91	19,27	12,14
12	110,22	93,69	79,36	59,52	52,91	46,29	34,26	27,75	18,50	11,65
13	106,92	90,88	76,98	57,74	51,32	44,91	33,23	26,92	17,94	11,30
14	106,92	90,88	76,98	57,74	51,32	44,91	33,23	26,92	17,94	11,30
15	102,30	86,96	73,66	55,24	49,10	42,97	31,79	25,75	17,17	10,81
16	99,11	84,24	71,36	53,52	47,57	41,63	30,80	24,95	16,63	10,47
17	99,00	84,15	71,28	53,46	47,52	41,58	30,77	24,92	16,62	10,46
18	97,35	82,75	70,09	52,57	46,73	40,89	30,26	24,51	16,34	10,29
19	94,60	80,41	68,11	51,08	45,41	39,73	29,40	23,82	15,88	10,00
20	94,05	79,94	67,72	50,79	45,14	39,50	29,23	23,68	15,78	9,94
21	93,50	79,48	67,32	50,49	44,88	39,27	29,06	23,54	15,69	9,88
22	93,50	79,48	67,32	50,49	44,88	39,27	29,06	23,54	15,69	9,88
23	89,32	75,92	64,31	48,23	42,87	37,51	27,76	22,49	14,99	9,44
24	86,13	73,21	62,01	46,51	41,34	36,17	26,77	21,68	14,46	9,10
25	85,58	72,74	61,62	46,21	41,08	35,94	26,60	21,54	14,36	9,04
26	84,81	72,09	61,06	45,80	40,71	35,62	26,36	21,35	14,23	8,96
27	83,60	71,06	60,19	45,14	40,13	35,11	25,98	21,05	14,03	8,83
28	83,60	71,06	60,19	45,14	40,13	35,11	25,98	21,05	14,03	8,83
29	82,50	70,13	59,40	44,55	39,60	34,65	25,64	20,77	13,85	8,72
30	81,40	69,19	58,61	43,96	39,07	34,19	25,30	20,49	13,66	8,60
31	80,96	68,82	58,29	43,72	38,86	34,00	25,16	20,38	13,59	8,56
32	80,52	68,44	57,97	43,48	38,65	33,82	25,03	20,27	13,51	8,51
33	80,30	68,26	57,82	43,36	38,54	33,73	24,96	20,22	13,48	8,49
34	79,42	67,51	57,18	42,89	38,12	33,36	24,68	19,99	13,33	8,39
35	78,43	66,67	56,47	42,35	37,65	32,94	24,38	19,74	13,16	8,29
36	78,21	66,48	56,31	42,23	37,54	32,85	24,31	19,69	13,13	8,26
37	77,00	65,45	55,44	41,58	36,96	32,34	23,93	19,38	12,92	8,14
38	77,00	65,45	55,44	41,58	36,96	32,34	23,93	19,38	12,92	8,14
39	75,90	64,52	54,65	40,99	36,43	31,88	23,59	19,11	12,74	8,02
40	74,03	62,93	53,30	39,98	35,53	31,09	23,01	18,64	12,42	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Serra Talhada

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	163,68	139,13	117,85	88,39	78,57	68,75	50,87	41,21	27,47	17,30
2	148,94	126,60	107,24	80,43	71,49	62,55	46,29	37,50	25,00	15,74
3	140,91	119,77	101,46	76,09	67,64	59,18	43,79	35,47	23,65	14,89
4	124,52	105,84	89,65	67,24	59,77	52,30	38,70	31,35	20,90	13,16
5	121,00	102,85	87,12	65,34	58,08	50,82	37,61	30,46	20,31	12,79
6	117,70	100,05	84,74	63,56	56,50	49,43	36,58	29,63	19,75	12,44
7	107,80	91,63	77,62	58,21	51,74	45,28	33,50	27,14	18,09	11,39
8	104,50	88,83	75,24	56,43	50,16	43,89	32,48	26,31	17,54	11,04
9	98,89	84,06	71,20	53,40	47,47	41,53	30,74	24,90	16,60	10,45
10	97,90	83,22	70,49	52,87	46,99	41,12	30,43	24,65	16,43	10,35
11	95,70	81,35	68,90	51,68	45,94	40,19	29,74	24,09	16,06	10,11
12	85,80	72,93	61,78	46,33	41,18	36,04	26,67	21,60	14,40	9,07
13	82,50	70,13	59,40	44,55	39,60	34,65	25,64	20,77	13,85	8,72
14	82,50	70,13	59,40	44,55	39,60	34,65	25,64	20,77	13,85	8,72
15	81,62	69,38	58,77	44,07	39,18	34,28	25,37	20,55	13,70	8,62
16	79,20	67,32	57,02	42,77	38,02	33,26	24,62	19,94	13,29	8,37
17	77,66	66,01	55,92	41,94	37,28	32,62	24,14	19,55	13,03	8,21
18	75,24	63,95	54,17	40,63	36,12	31,60	23,38	18,94	12,63	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Serrolândia

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	150,70	128,10	108,50	81,38	72,34	63,29	46,84	37,94	25,29	15,92
2	137,72	117,06	99,16	74,37	66,11	57,84	42,80	34,67	23,11	14,55
3	120,78	102,66	86,96	65,22	57,97	50,73	37,54	30,41	20,27	12,76
4	111,76	95,00	80,47	60,35	53,64	46,94	34,74	28,14	18,76	11,81
5	100,54	85,46	72,39	54,29	48,26	42,23	31,25	25,31	16,87	10,62
6	100,32	85,27	72,23	54,17	48,15	42,13	31,18	25,26	16,84	10,60
7	94,82	80,60	68,27	51,20	45,51	39,82	29,47	23,87	15,91	10,02
8	93,94	79,85	67,64	50,73	45,09	39,45	29,20	23,65	15,77	9,93
9	88,00	74,80	63,36	47,52	42,24	36,96	27,35	22,15	14,77	9,30
10	85,80	72,93	61,78	46,33	41,18	36,04	26,67	21,60	14,40	9,07
11	85,58	72,74	61,62	46,21	41,08	35,94	26,60	21,54	14,36	9,04
12	84,70	72,00	60,98	45,74	40,66	35,57	26,32	21,32	14,22	8,95
13	81,84	69,56	58,92	44,19	39,28	34,37	25,44	20,60	13,74	8,65
14	81,51	69,28	58,69	44,02	39,12	34,23	25,33	20,52	13,68	8,61
15	69,74	59,28	50,21	37,66	33,48	29,29	21,68	17,56	11,70	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Tabira

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	184,80	157,08	133,06	99,79	88,70	77,62	57,44	46,52	31,02	19,53
2	139,70	118,75	100,58	75,44	67,06	58,67	43,42	35,17	23,45	14,76
3	115,50	98,18	83,16	62,37	55,44	48,51	35,90	29,08	19,38	12,21
4	112,31	95,46	80,86	60,65	53,91	47,17	34,91	28,27	18,85	11,87
5	108,90	92,57	78,41	58,81	52,27	45,74	33,85	27,42	18,28	11,51
6	99,00	84,15	71,28	53,46	47,52	41,58	30,77	24,92	16,62	10,46
7	84,70	72,00	60,98	45,74	40,66	35,57	26,32	21,32	14,22	8,95
8	83,82	71,25	60,35	45,26	40,23	35,20	26,05	21,10	14,07	8,86
9	83,60	71,06	60,19	45,14	40,13	35,11	25,98	21,05	14,03	8,83
10	79,64	67,69	57,34	43,01	38,23	33,45	24,75	20,05	13,37	8,42
11	77,22	65,64	55,60	41,70	37,07	32,43	24,00	19,44	12,96	8,16
12	75,90	64,52	54,65	40,99	36,43	31,88	23,59	19,11	12,74	8,02
13	70,62	60,03	50,85	38,13	33,90	29,66	21,95	17,78	11,85	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

## Séries anuais - Triunfo

Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	234,74	199,53	169,01	126,76	112,68	98,59	72,96	59,10	39,40	24,81
2	177,10	150,54	127,51	95,63	85,01	74,38	55,04	44,58	29,72	18,71
3	176,22	149,79	126,88	95,16	84,59	74,01	54,77	44,36	29,58	18,62
4	172,70	146,80	124,34	93,26	82,90	72,53	53,68	43,48	28,98	18,25
5	171,82	146,05	123,71	92,78	82,47	72,16	53,40	43,26	28,84	18,16
6	158,40	134,64	114,05	85,54	76,03	66,53	49,23	39,88	26,58	16,74
7	146,41	124,45	105,42	79,06	70,28	61,49	45,50	36,86	24,57	15,47
8	144,98	123,23	104,39	78,29	69,59	60,89	45,06	36,50	24,33	15,32
9	143,77	122,20	103,51	77,64	69,01	60,38	44,68	36,19	24,13	15,19
10	139,48	118,56	100,43	75,32	66,95	58,58	43,35	35,11	23,41	14,74
11	132,00	112,20	95,04	71,28	63,36	55,44	41,03	33,23	22,15	13,95
12	126,72	107,71	91,24	68,43	60,83	53,22	39,38	31,90	21,27	13,39
13	123,53	105,00	88,94	66,71	59,29	51,88	38,39	31,10	20,73	13,05
14	122,10	103,79	87,91	65,93	58,61	51,28	37,95	30,74	20,49	12,90
15	119,02	101,17	85,69	64,27	57,13	49,99	36,99	29,96	19,98	12,58
16	115,94	98,55	83,48	62,61	55,65	48,69	36,03	29,19	19,46	12,25
17	115,61	98,27	83,24	62,43	55,49	48,56	35,93	29,10	19,40	12,22
18	114,51	97,33	82,45	61,84	54,96	48,09	35,59	28,83	19,22	12,10
19	114,18	97,05	82,21	61,66	54,81	47,96	35,49	28,74	19,16	12,07
20	112,64	95,74	81,10	60,83	54,07	47,31	35,01	28,36	18,90	11,90
21	109,56	93,13	78,88	59,16	52,59	46,02	34,05	27,58	18,39	11,58
22	108,24	92,00	77,93	58,45	51,96	45,46	33,64	27,25	18,17	11,44
23	108,13	91,91	77,85	58,39	51,90	45,41	33,61	27,22	18,15	11,43

<b>Ordem/ Duração</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>6h</b>	<b>3h</b>	<b>2h</b>	<b>1h</b>	<b>30min</b>	<b>20min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
24	108,13	91,91	77,85	58,39	51,90	45,41	33,61	27,22	18,15	11,43
25	105,49	89,67	75,95	56,96	50,64	44,31	32,79	26,56	17,70	11,15
26	96,80	82,28	69,70	52,27	46,46	40,66	30,09	24,37	16,25	10,23
27	93,50	79,48	67,32	50,49	44,88	39,27	29,06	23,54	15,69	9,88
28	92,95	79,01	66,92	50,19	44,62	39,04	28,89	23,40	15,60	9,82
29	92,73	78,82	66,77	50,07	44,51	38,95	28,82	23,34	15,56	9,80
30	92,73	78,82	66,77	50,07	44,51	38,95	28,82	23,34	15,56	9,80
31	91,74	77,98	66,05	49,54	44,04	38,53	28,51	23,10	15,40	9,69
32	90,20	76,67	64,94	48,71	43,30	37,88	28,03	22,71	15,14	9,53
33	86,46	73,49	62,25	46,69	41,50	36,31	26,87	21,77	14,51	9,14
34	86,13	73,21	62,01	46,51	41,34	36,17	26,77	21,68	14,46	9,10
35	85,80	72,93	61,78	46,33	41,18	36,04	26,67	21,60	14,40	9,07
36	85,14	72,37	61,30	45,98	40,87	35,76	26,46	21,43	14,29	9,00
37	84,70	72,00	60,98	45,74	40,66	35,57	26,32	21,32	14,22	8,95
38	83,49	70,97	60,11	45,08	40,08	35,07	25,95	21,02	14,01	8,82
39	81,40	69,19	58,61	43,96	39,07	34,19	25,30	20,49	13,66	8,60
40	81,40	69,19	58,61	43,96	39,07	34,19	25,30	20,49	13,66	8,60
41	79,20	67,32	57,02	42,77	38,02	33,26	24,62	19,94	13,29	8,37
42	78,98	67,13	56,87	42,65	37,91	33,17	24,55	19,88	13,26	8,35
43	77,00	65,45	55,44	41,58	36,96	32,34	23,93	19,38	12,92	8,14
44	75,90	64,52	54,65	40,99	36,43	31,88	23,59	19,11	12,74	8,02
45	75,90	64,52	54,65	40,99	36,43	31,88	23,59	19,11	12,74	8,02
	74,47	63,30	53,62	40,21	35,75	31,28	23,15	18,75	12,50	8,00

Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

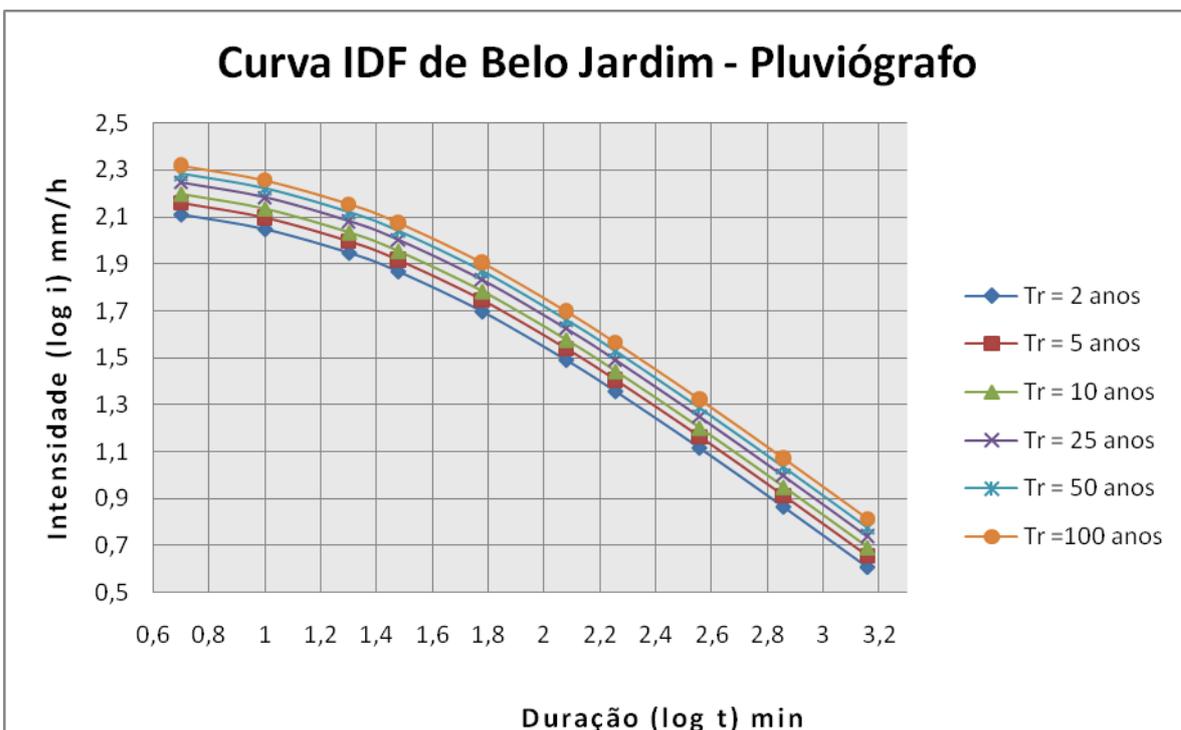
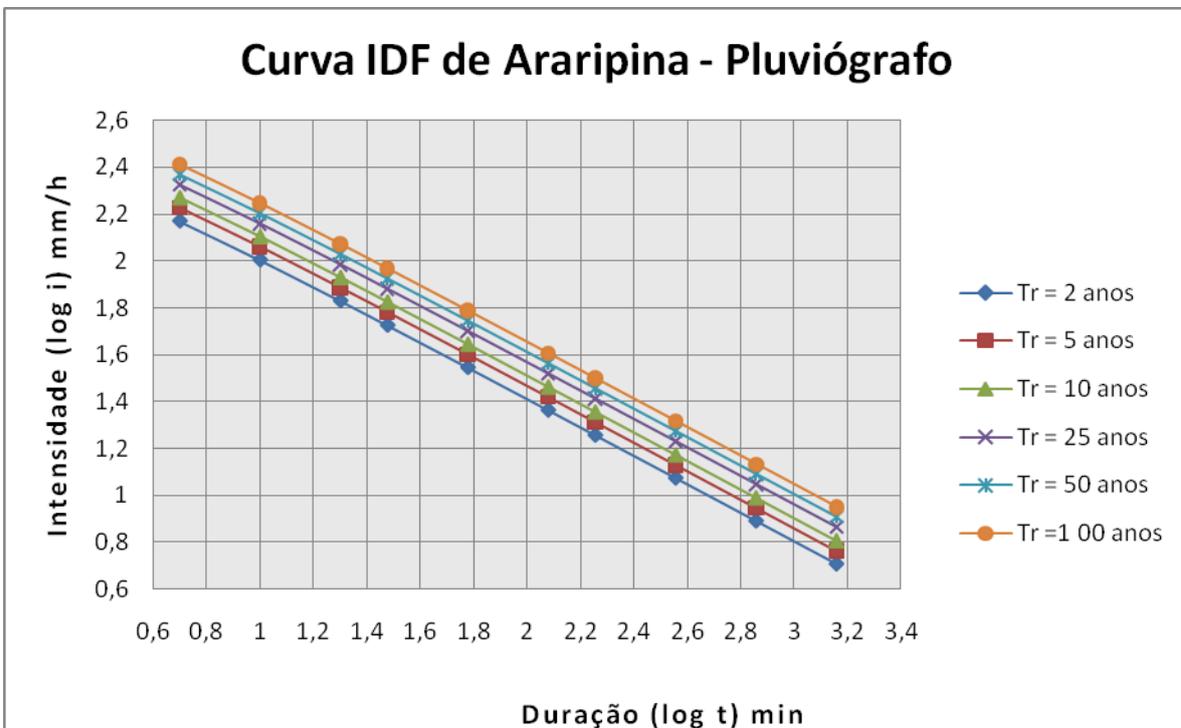
## Séries anuais - Vertentes

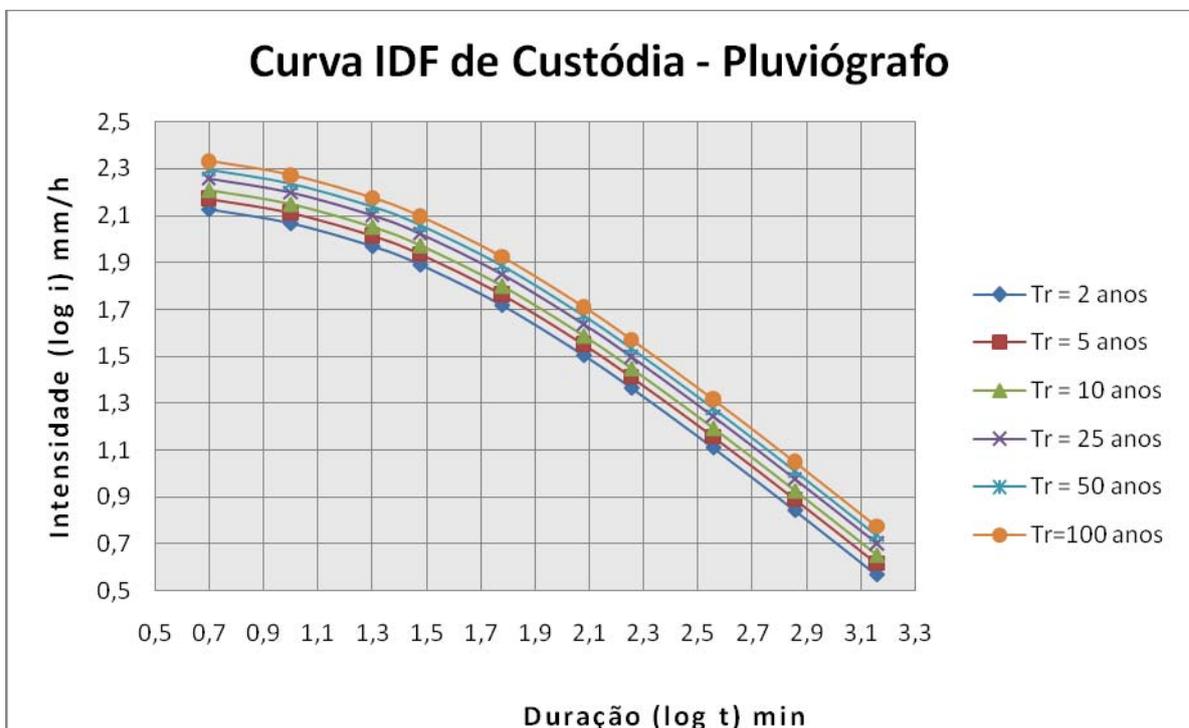
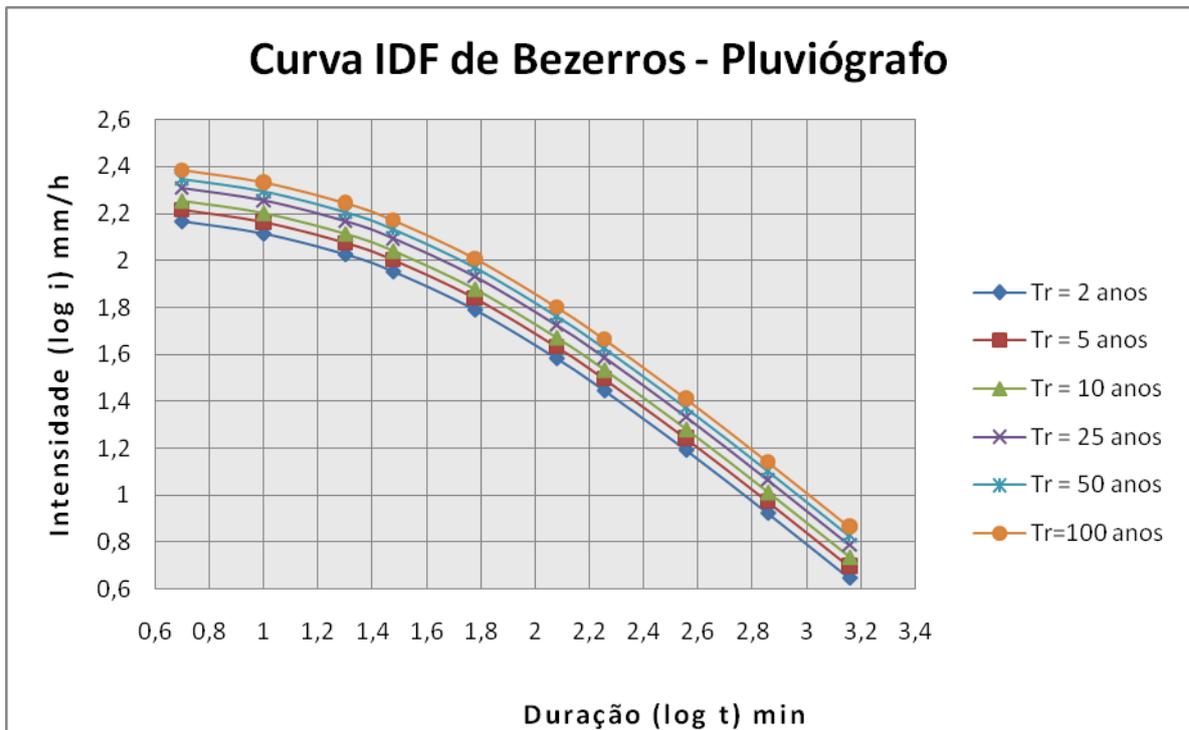
Ordem/ Duração	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30min	20min	10min	5min
1	193,60	164,56	139,39	104,54	92,93	81,31	60,17	48,74	32,49	20,46
2	121,55	103,32	87,52	65,64	58,34	51,05	37,78	30,60	20,40	12,84
3	119,46	101,54	86,01	64,51	57,34	50,17	37,13	30,07	20,05	12,62
4	112,75	95,84	81,18	60,89	54,12	47,36	35,04	28,38	18,92	11,91
5	110,22	93,69	79,36	59,52	52,91	46,29	34,26	27,75	18,50	11,65
6	109,34	92,94	78,72	59,04	52,48	45,92	33,98	27,53	18,35	11,55
7	109,12	92,75	78,57	58,92	52,38	45,83	33,91	27,47	18,31	11,53
8	108,46	92,19	78,09	58,57	52,06	45,55	33,71	27,30	18,20	11,46
9	105,60	89,76	76,03	57,02	50,69	44,35	32,82	26,58	17,72	11,16
10	100,54	85,46	72,39	54,29	48,26	42,23	31,25	25,31	16,87	10,62
11	100,32	85,27	72,23	54,17	48,15	42,13	31,18	25,26	16,84	10,60
12	94,60	80,41	68,11	51,08	45,41	39,73	29,40	23,82	15,88	10,00
13	92,73	78,82	66,77	50,07	44,51	38,95	28,82	23,34	15,56	9,80
14	92,73	78,82	66,77	50,07	44,51	38,95	28,82	23,34	15,56	9,80
15	92,62	78,73	66,69	50,01	44,46	38,90	28,79	23,32	15,54	9,79
16	89,65	76,20	64,55	48,41	43,03	37,65	27,86	22,57	15,05	9,47
17	84,26	71,62	60,67	45,50	40,44	35,39	26,19	21,21	14,14	8,90
18	83,93	71,34	60,43	45,32	40,29	35,25	26,09	21,13	14,09	8,87
19	83,27	70,78	59,95	44,97	39,97	34,97	25,88	20,96	13,98	8,80
20	83,16	70,69	59,88	44,91	39,92	34,93	25,85	20,94	13,96	8,79
21	82,94	70,50	59,72	44,79	39,81	34,83	25,78	20,88	13,92	8,76
22	79,42	67,51	57,18	42,89	38,12	33,36	24,68	19,99	13,33	8,39
23	78,32	66,57	56,39	42,29	37,59	32,89	24,34	19,72	13,14	8,28
24	74,58	63,39	53,70	40,27	35,80	31,32	23,18	18,78	12,52	8,00

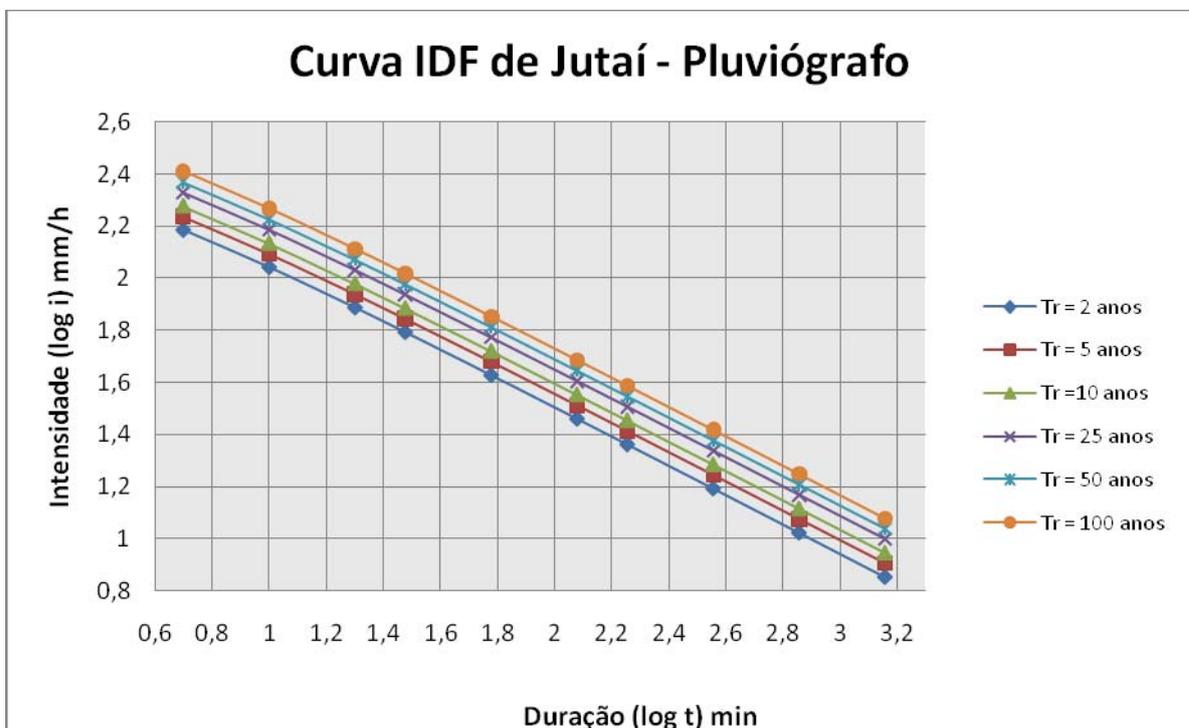
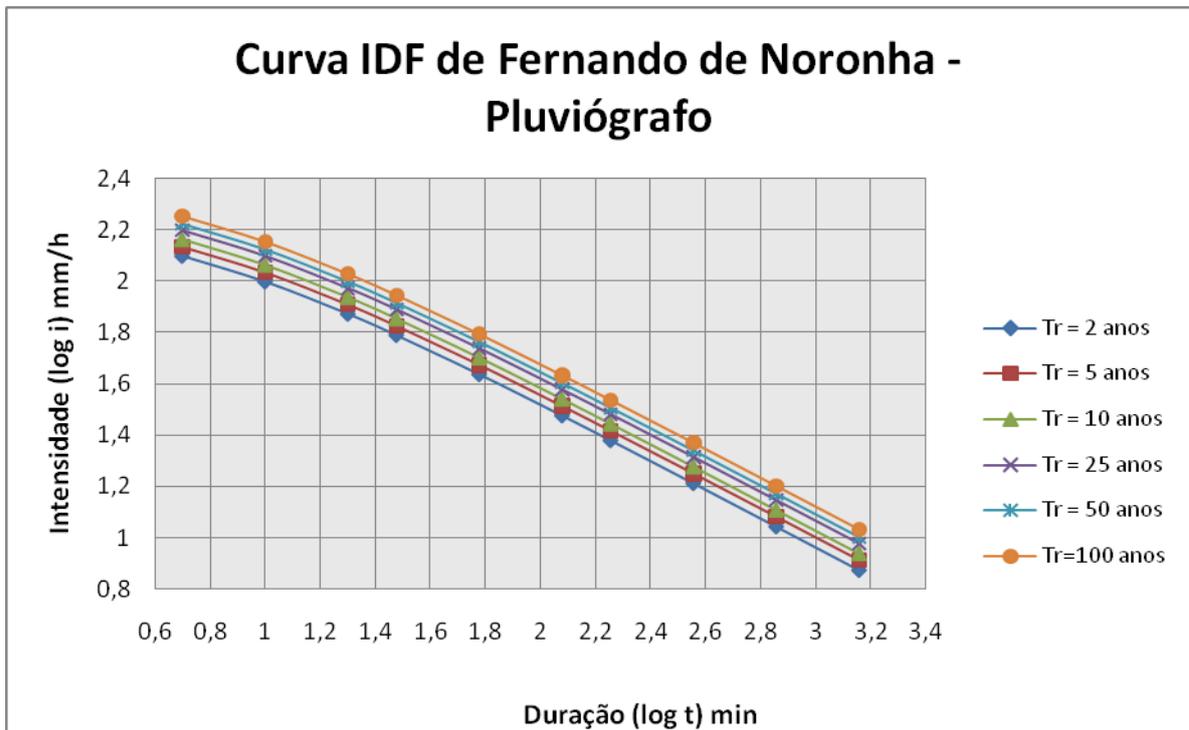
Séries anuais de precipitação máxima diária (mm)

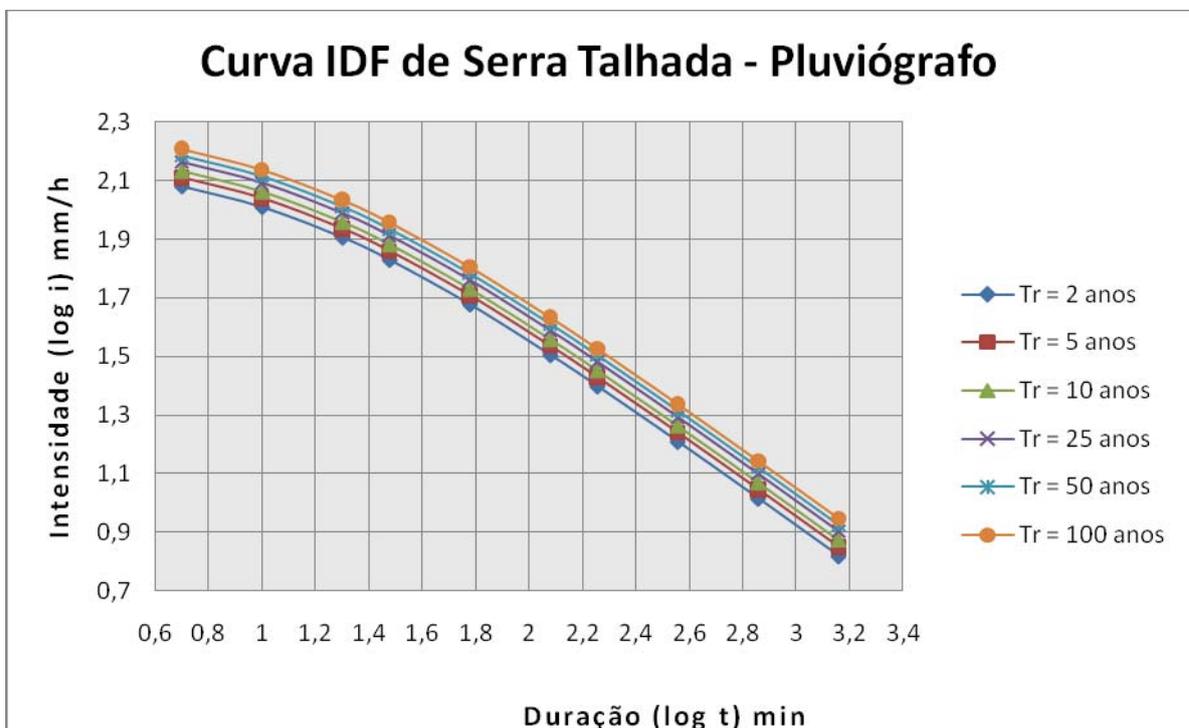
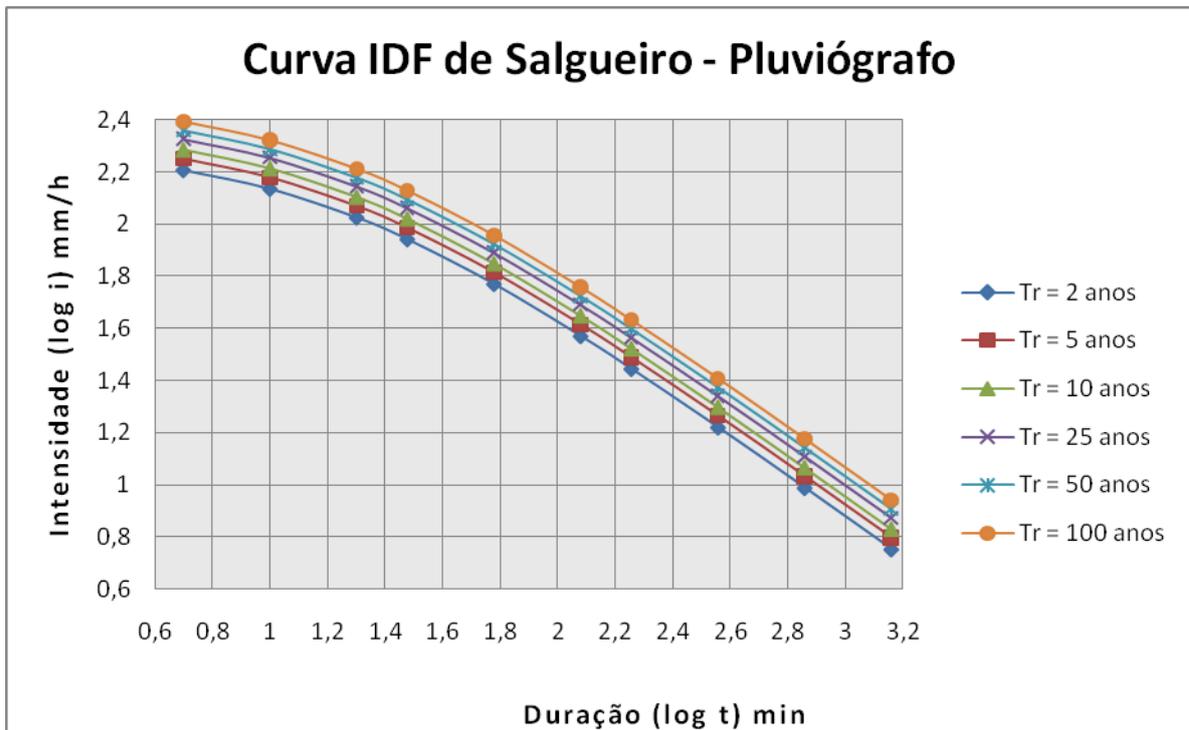
7.3 – Curvas IDF geradas

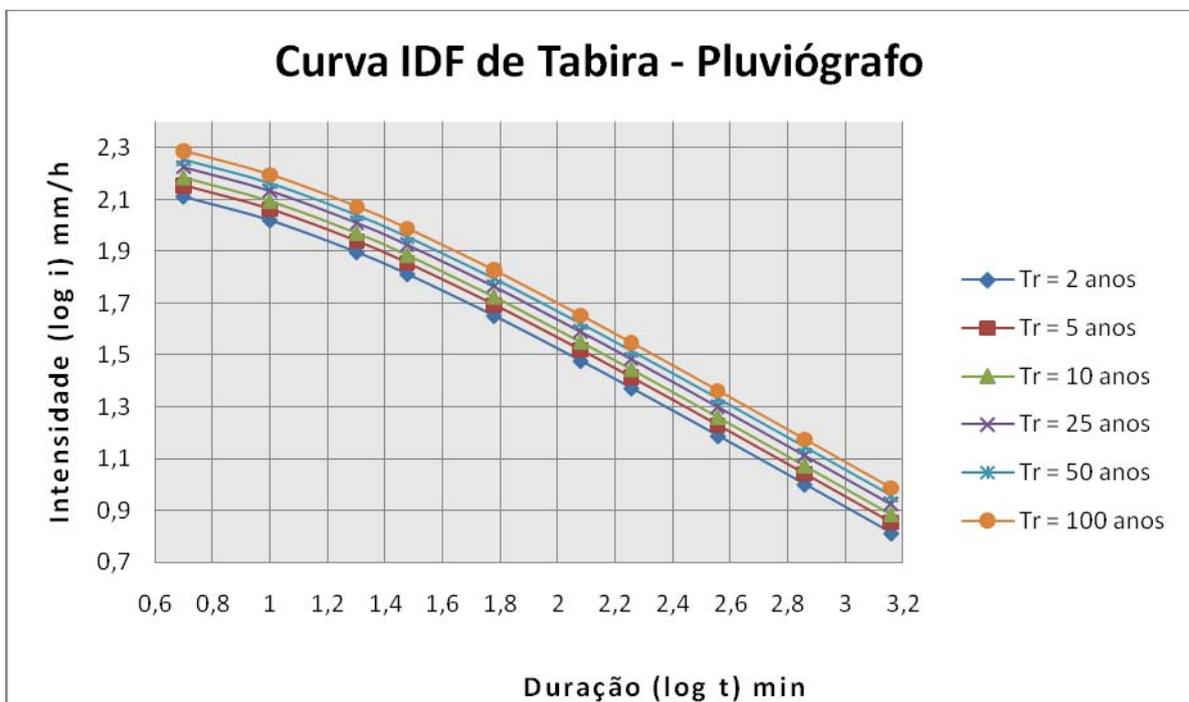
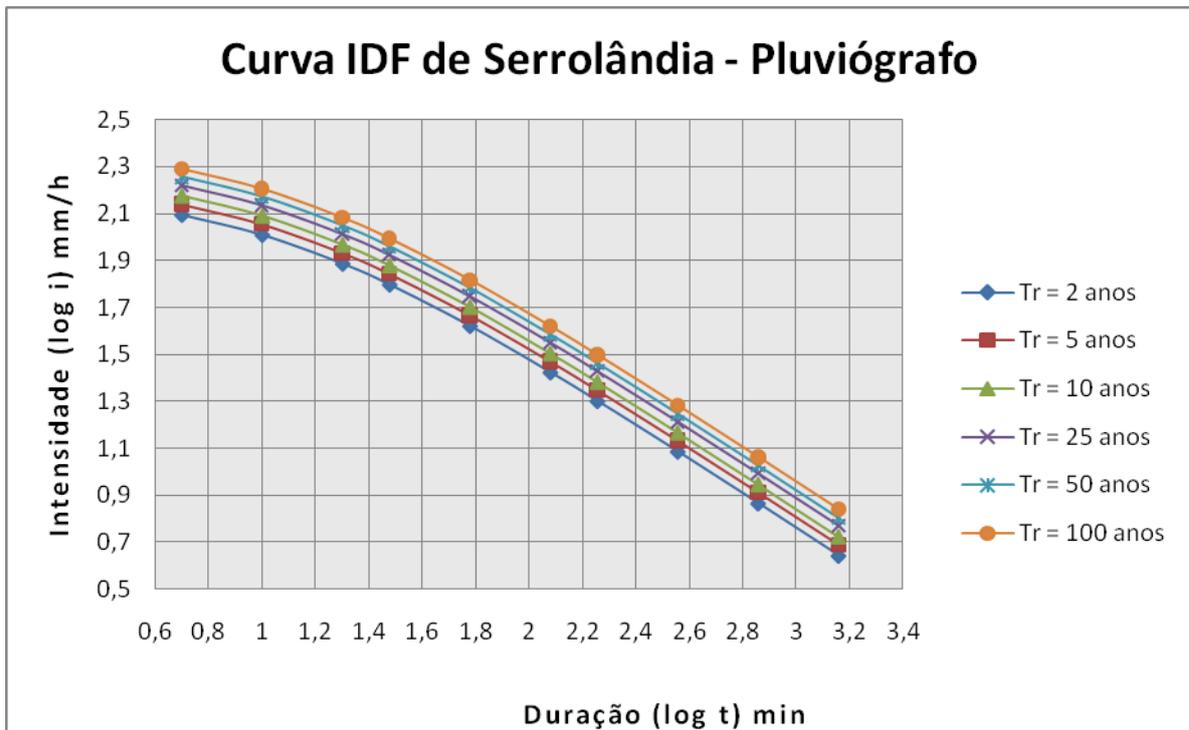
7.3.1. Por meio de pluviógrafos

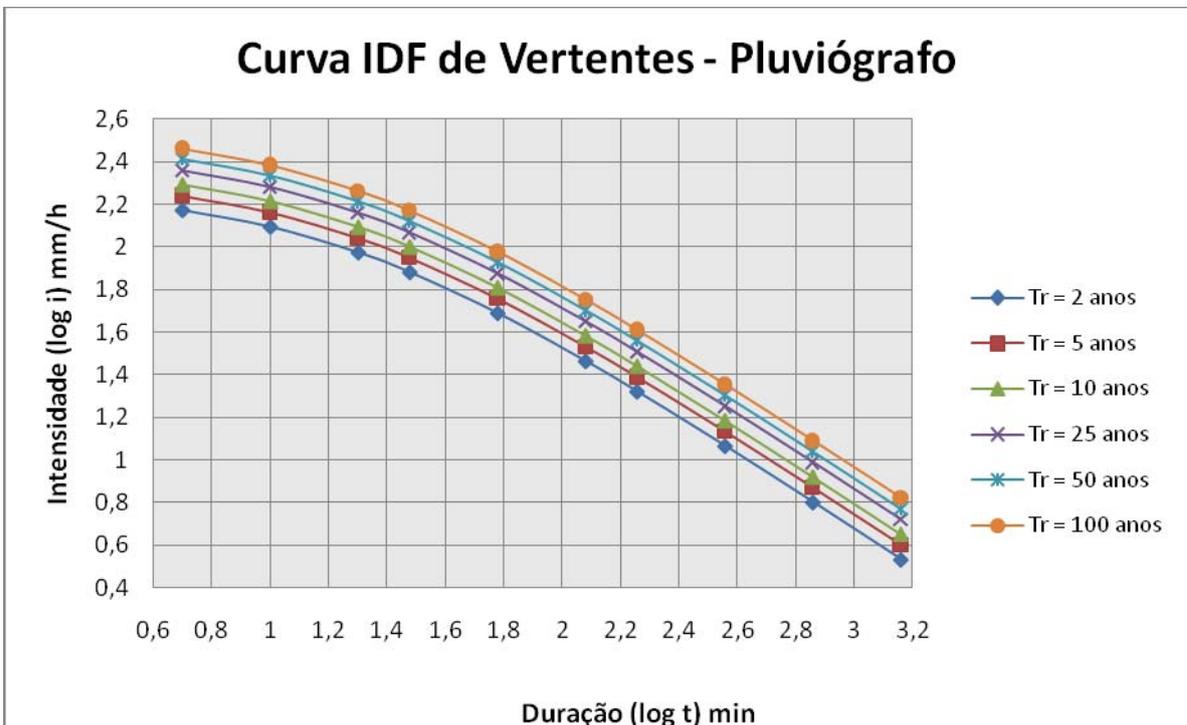
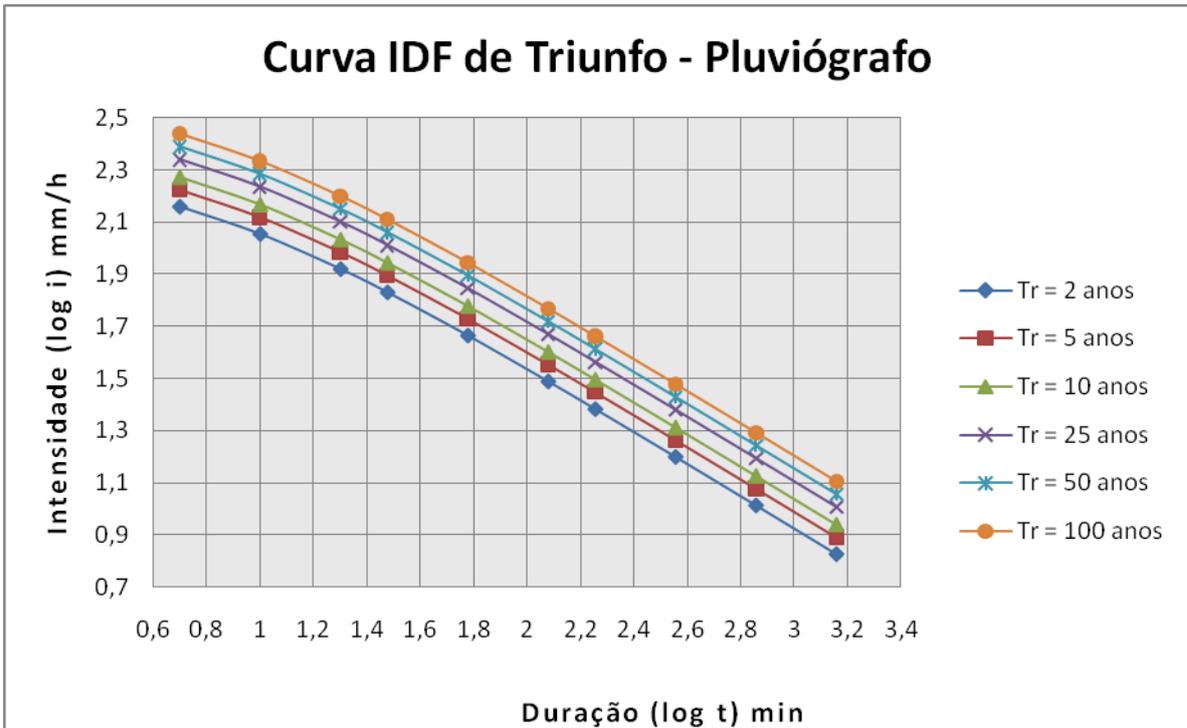




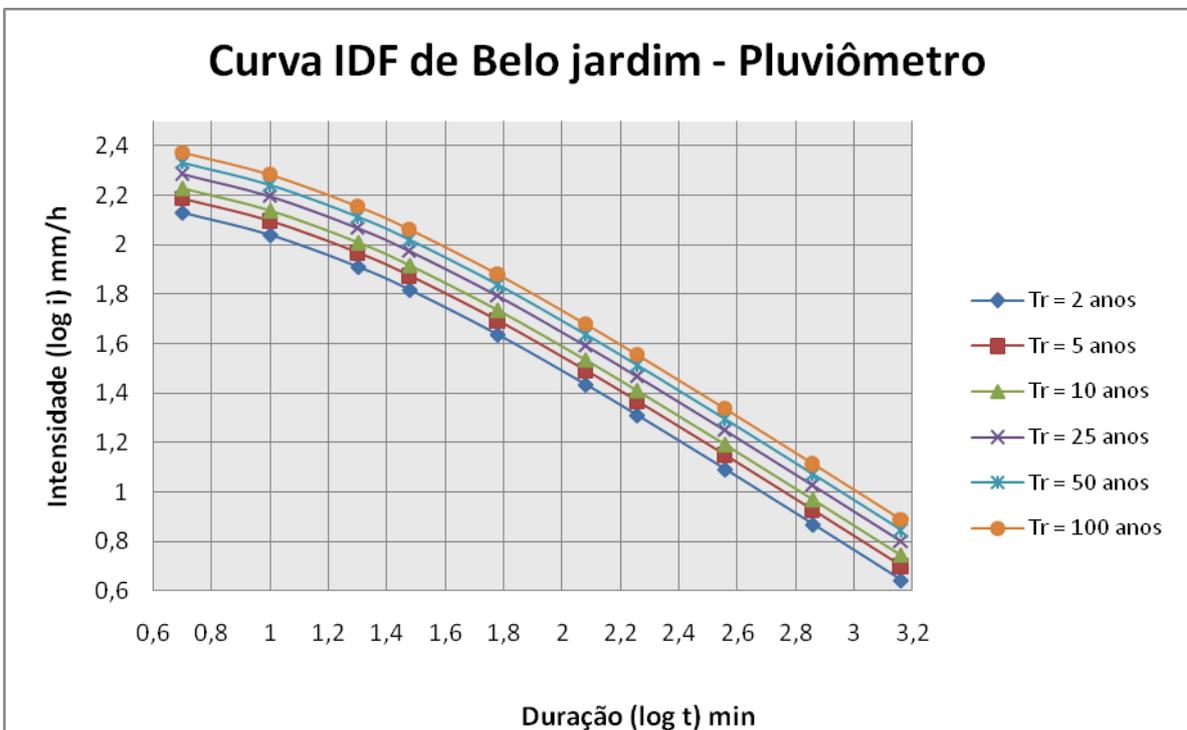
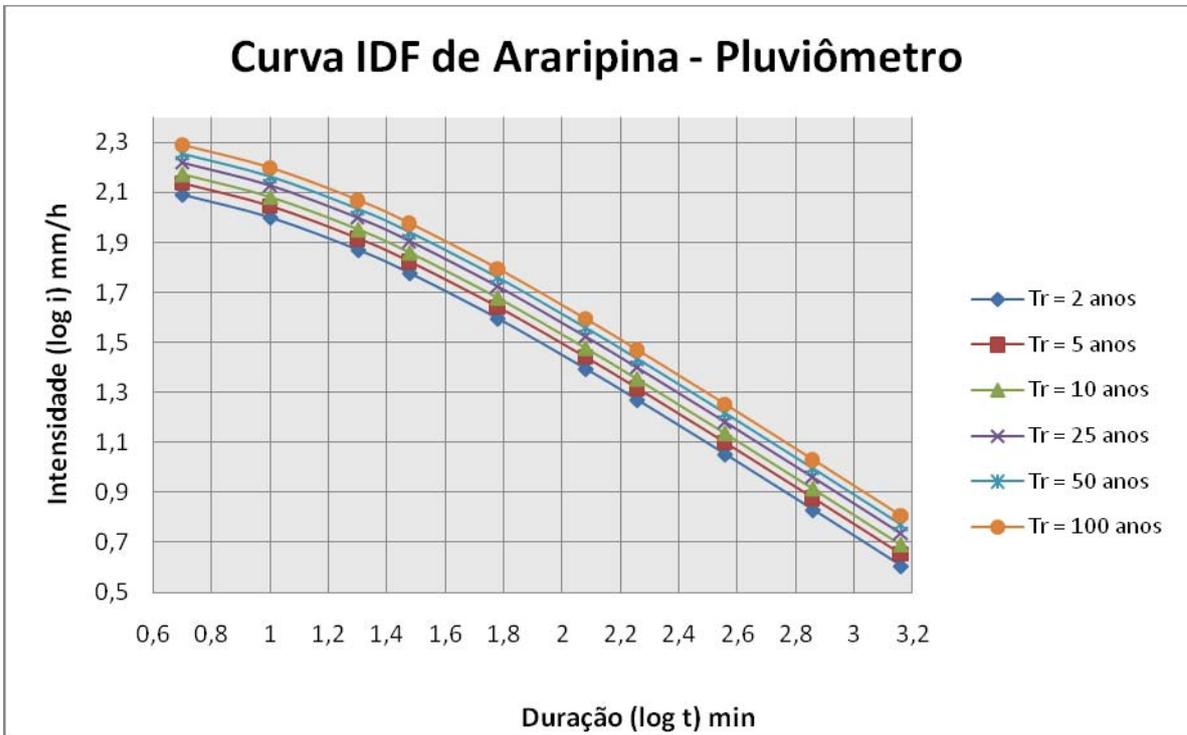


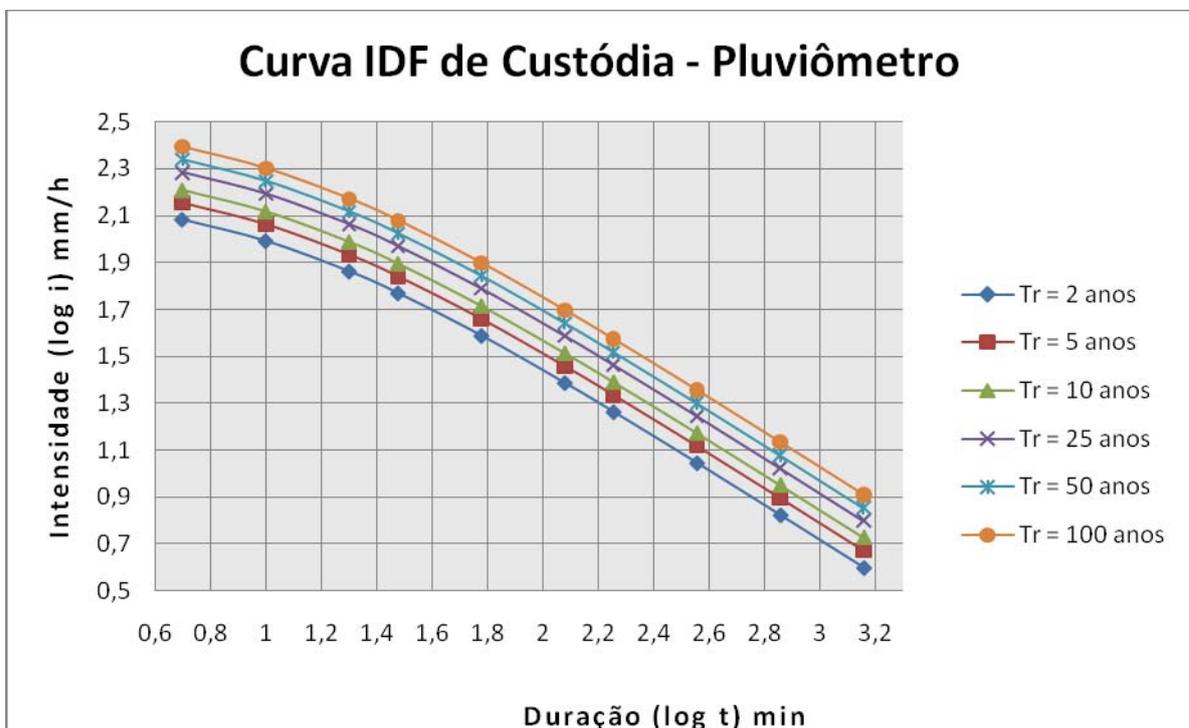
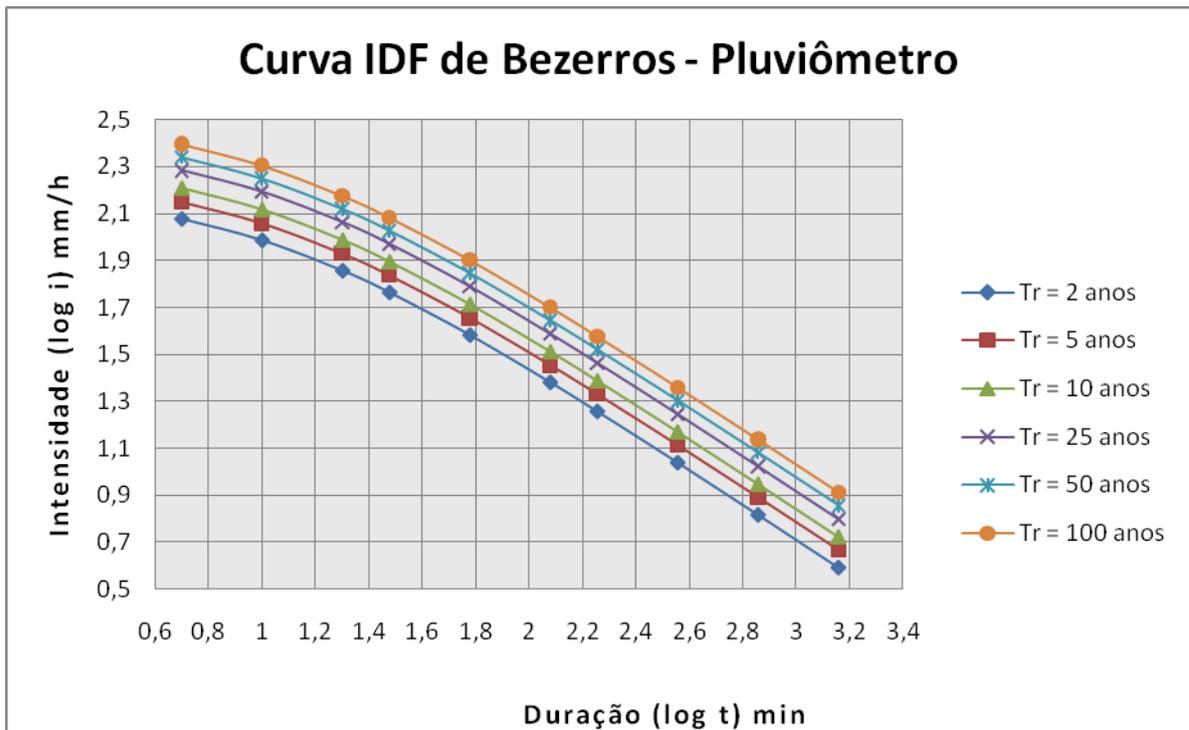


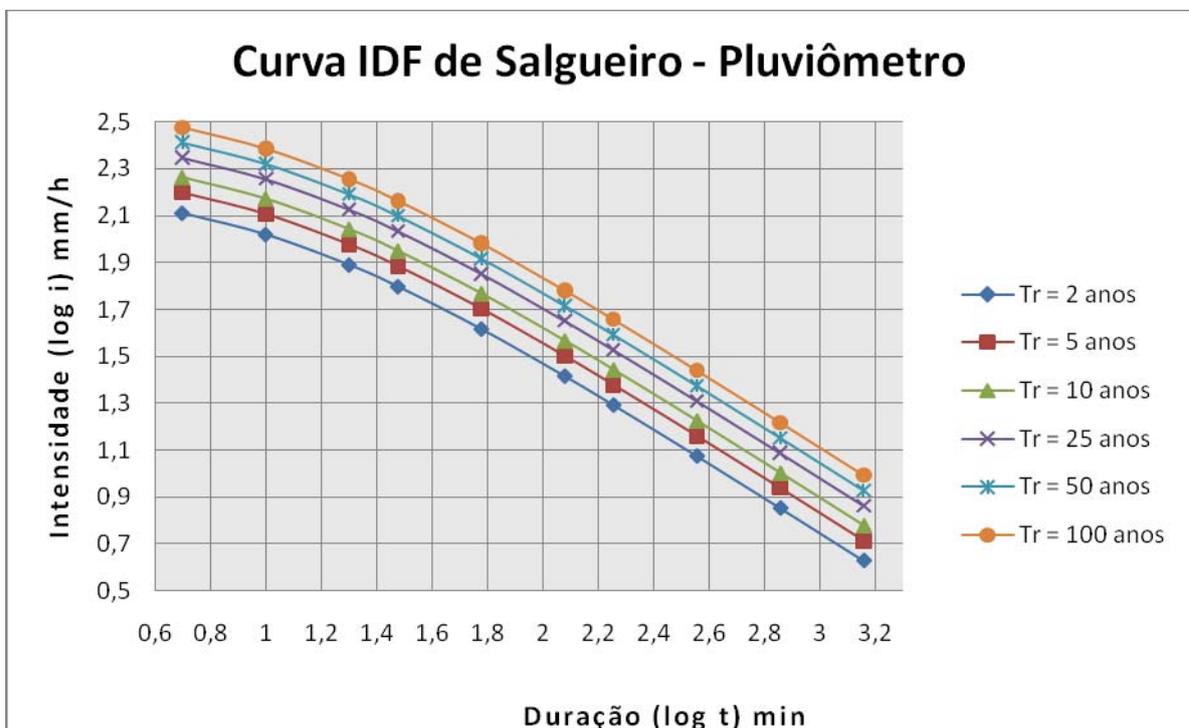
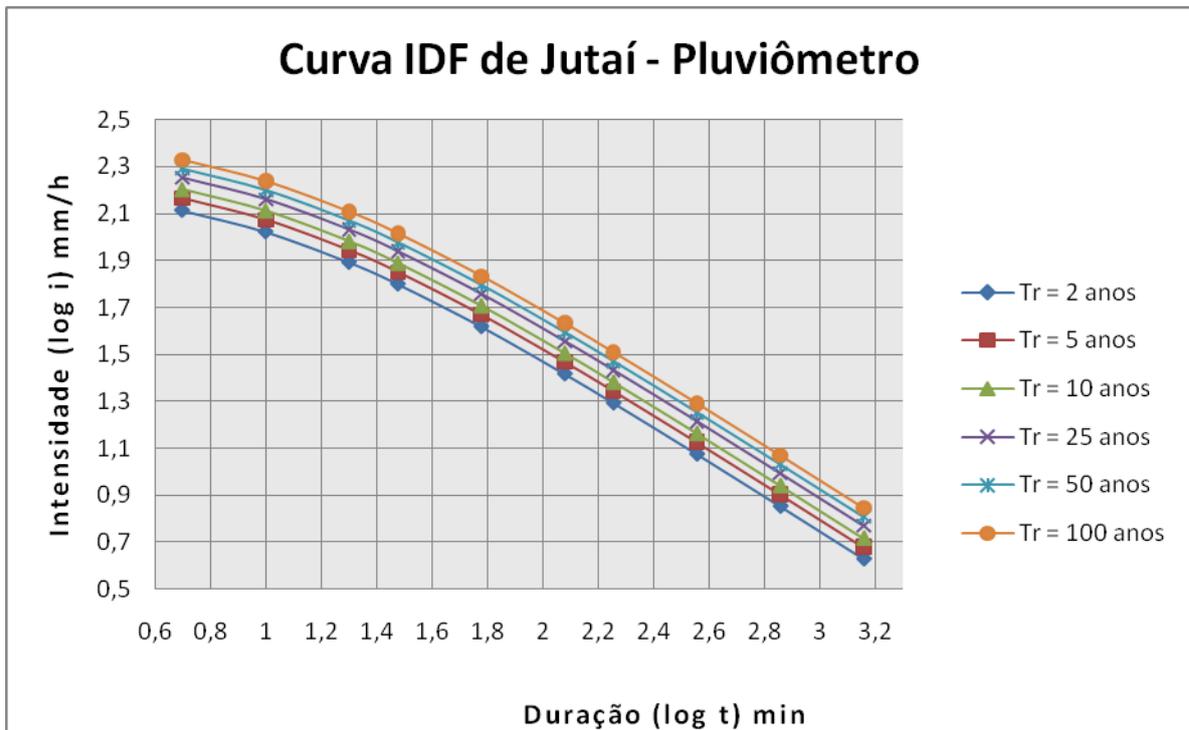


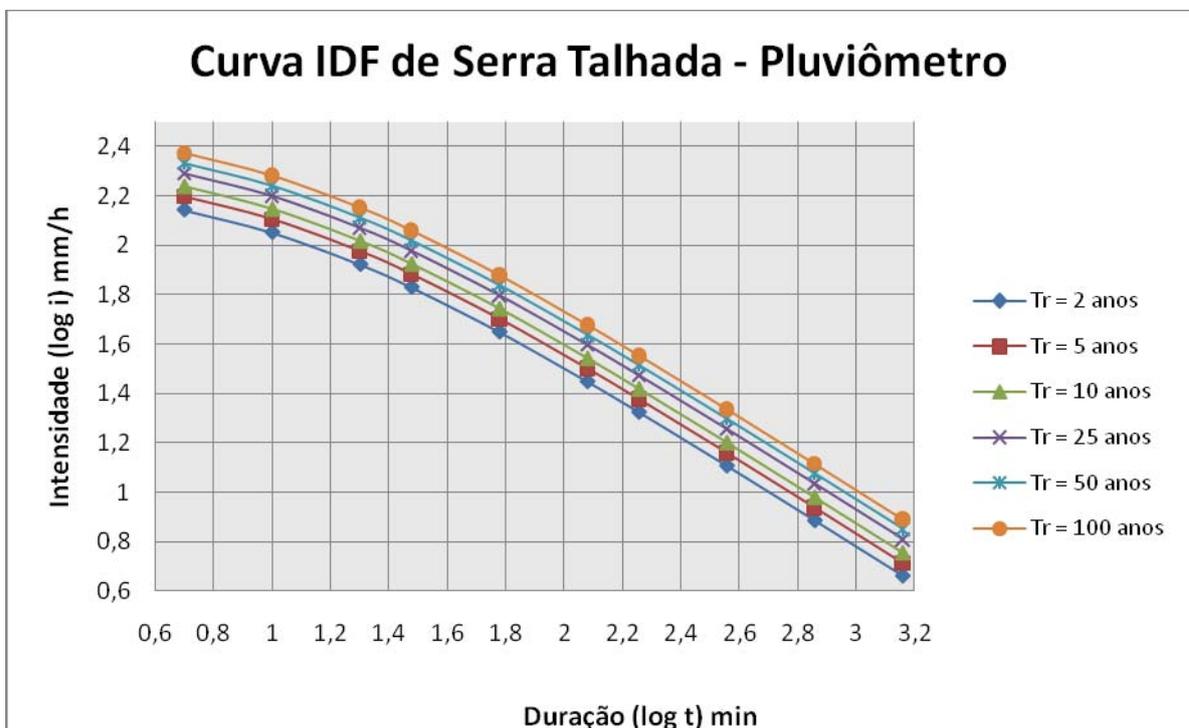
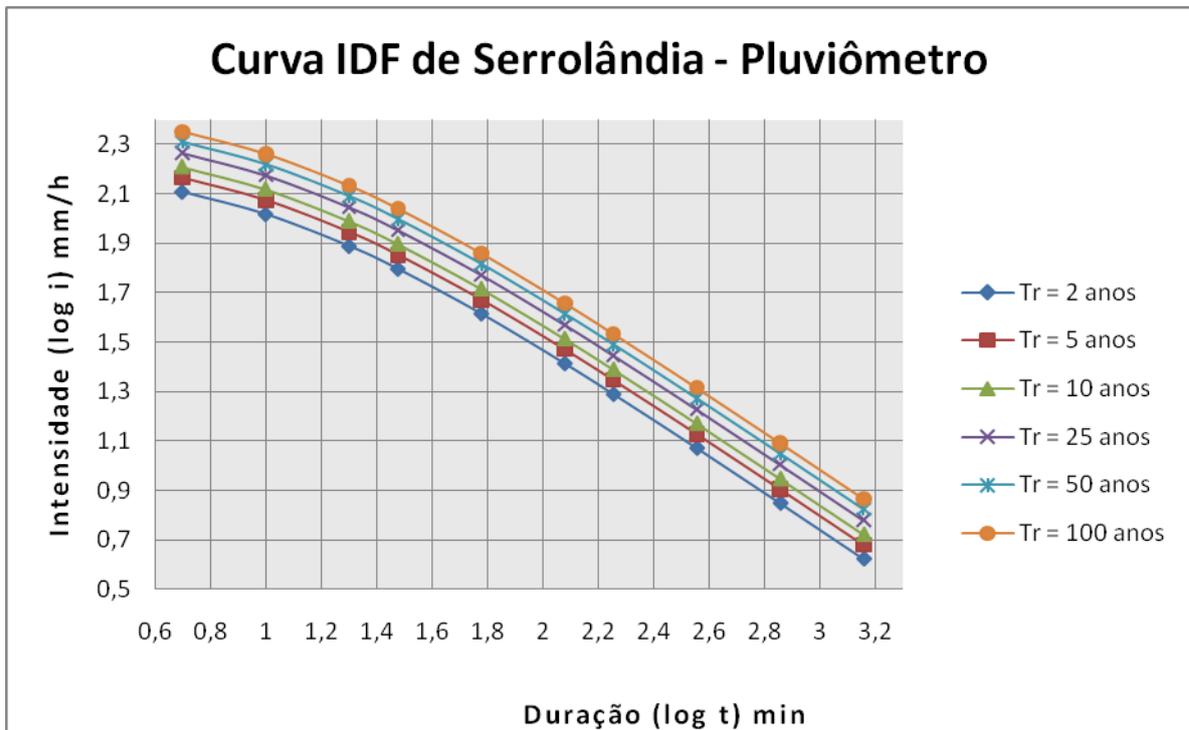


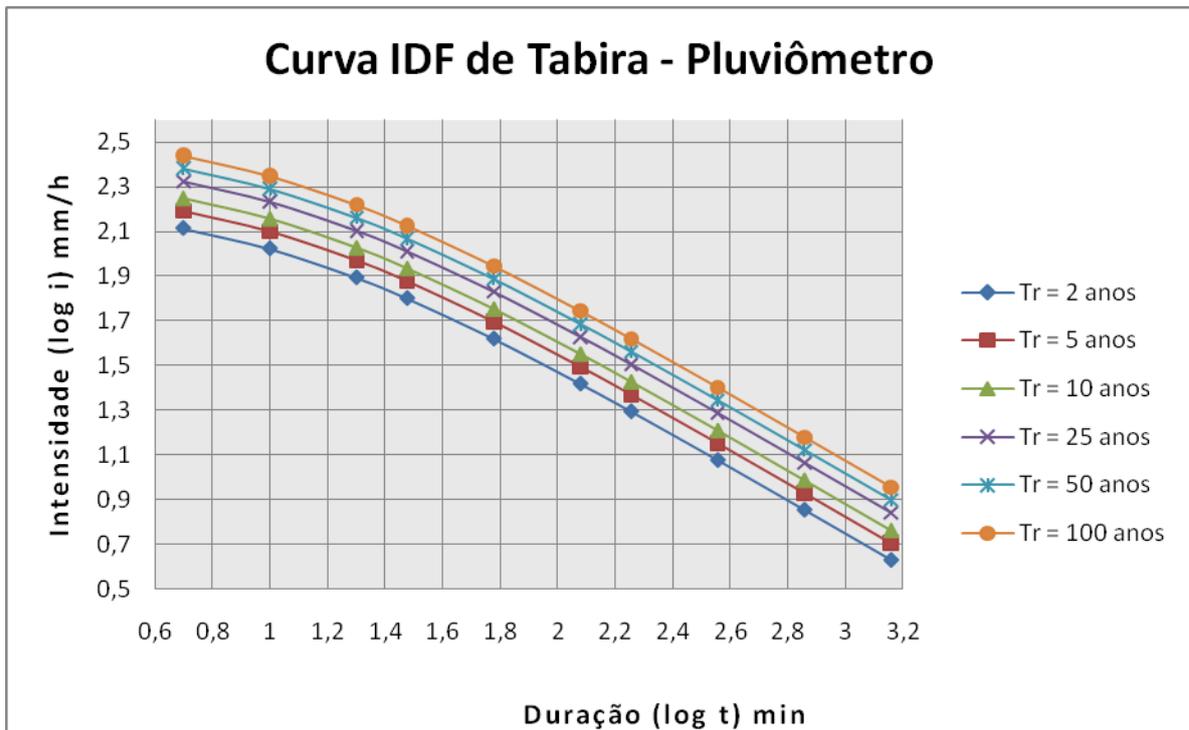
7.3.2. Por meio de pluviômetros

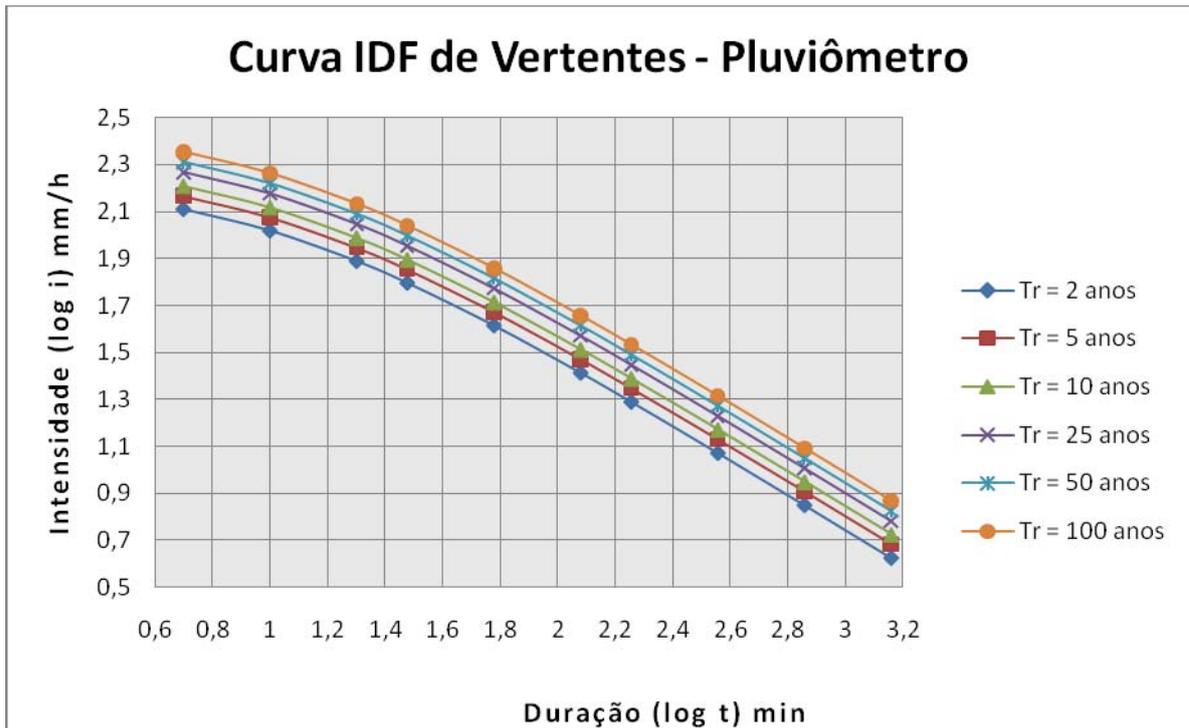




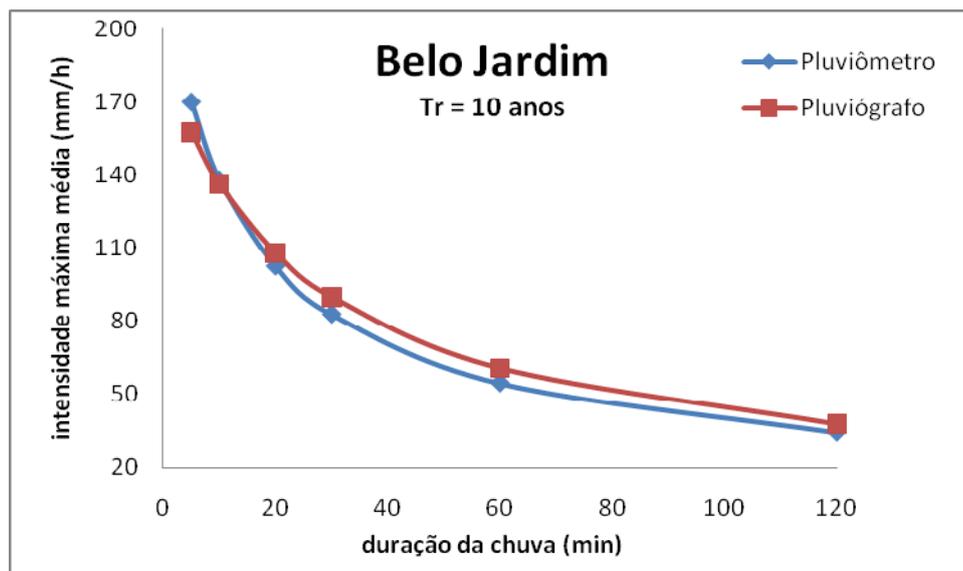
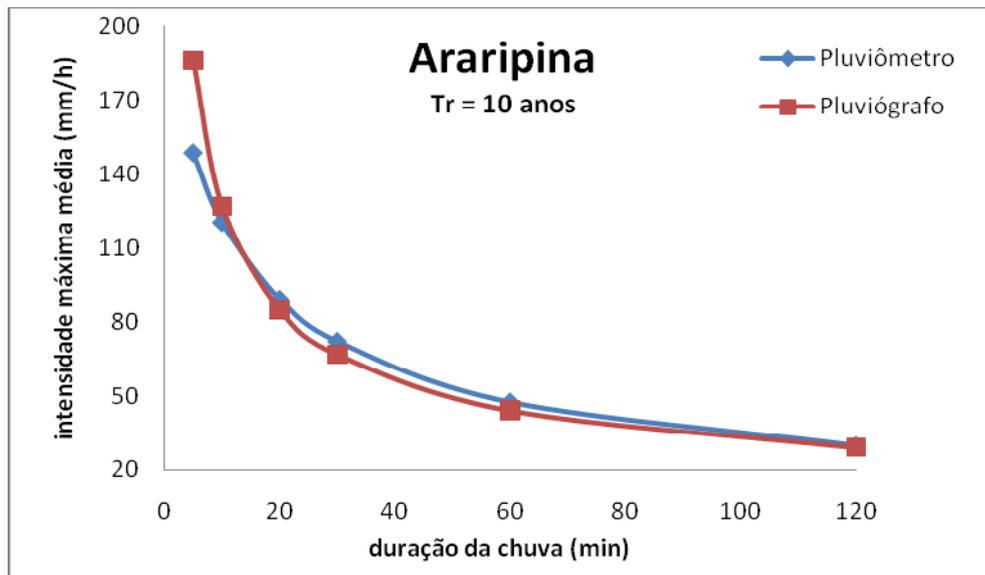


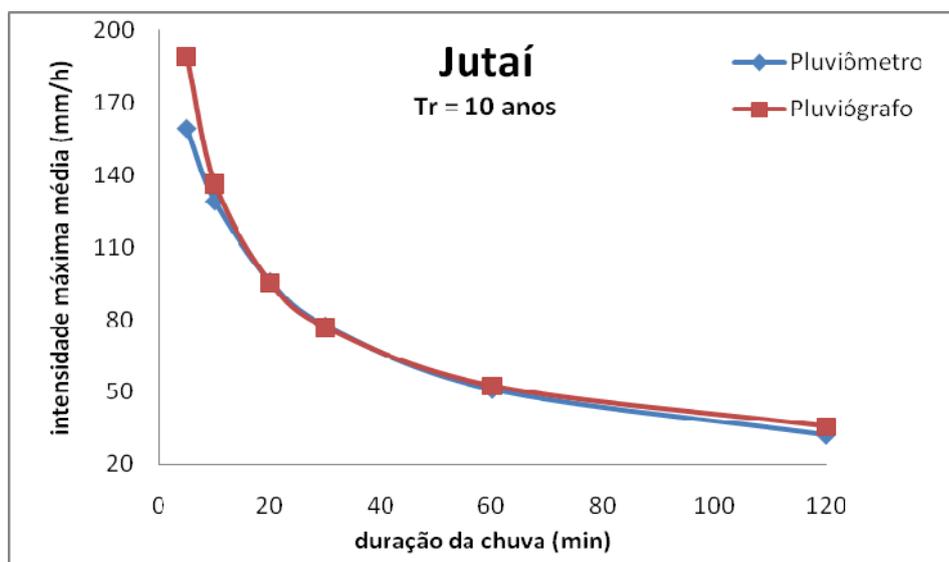
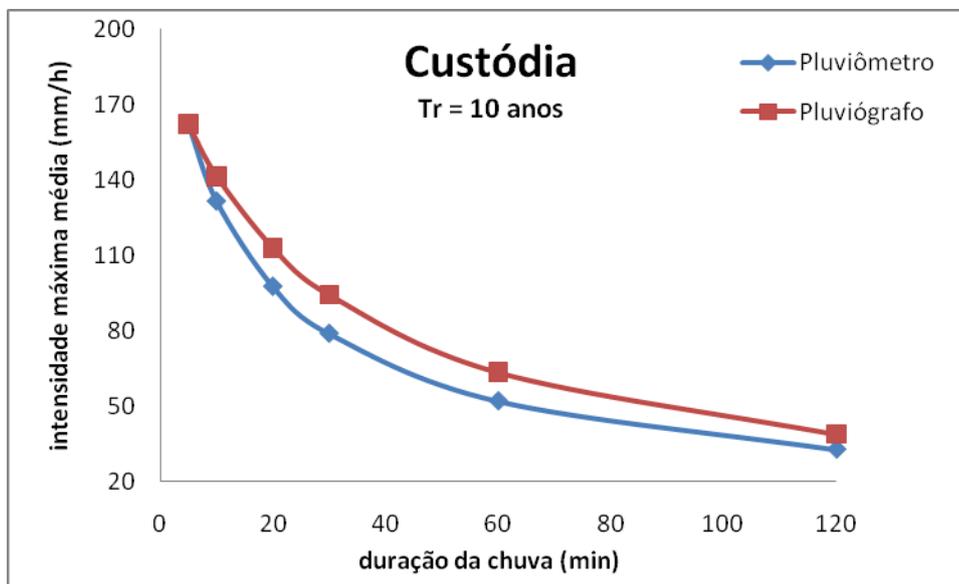
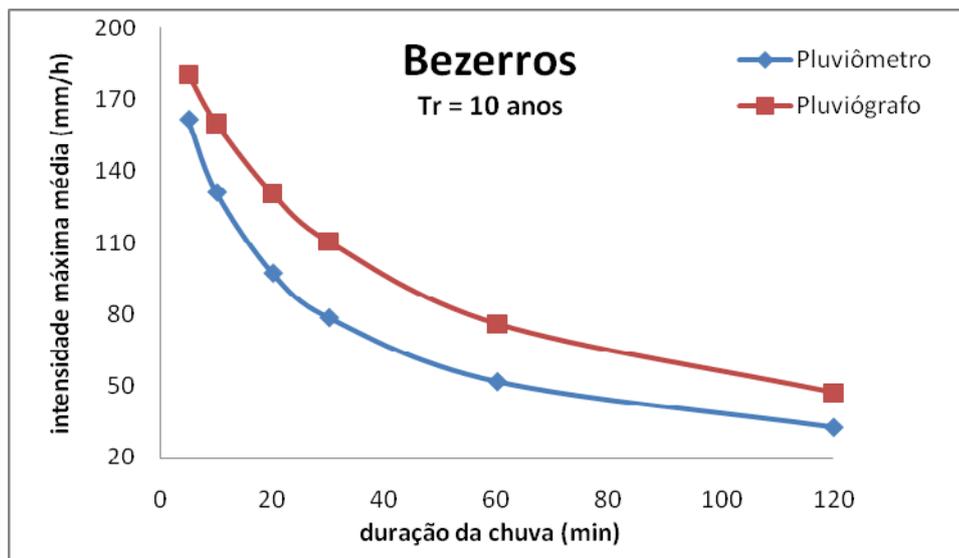


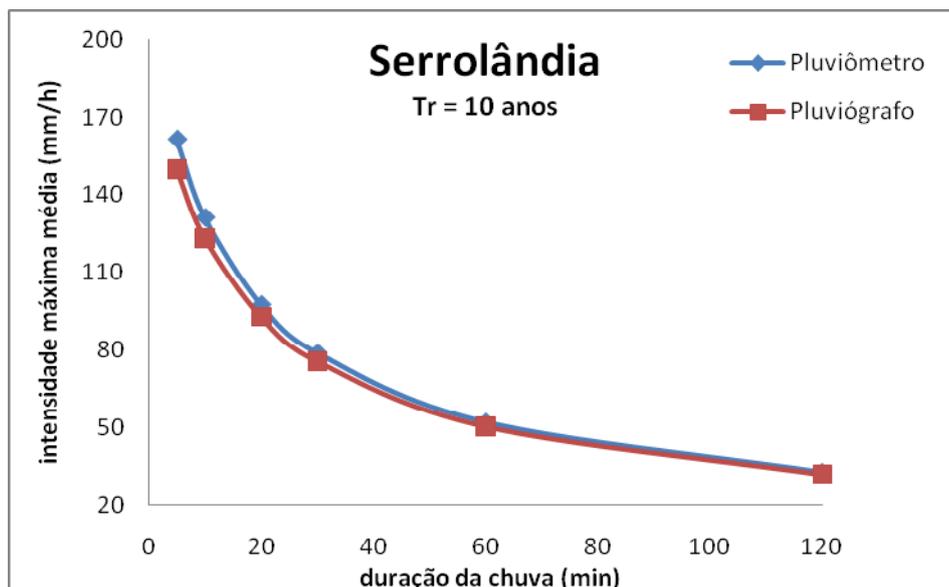
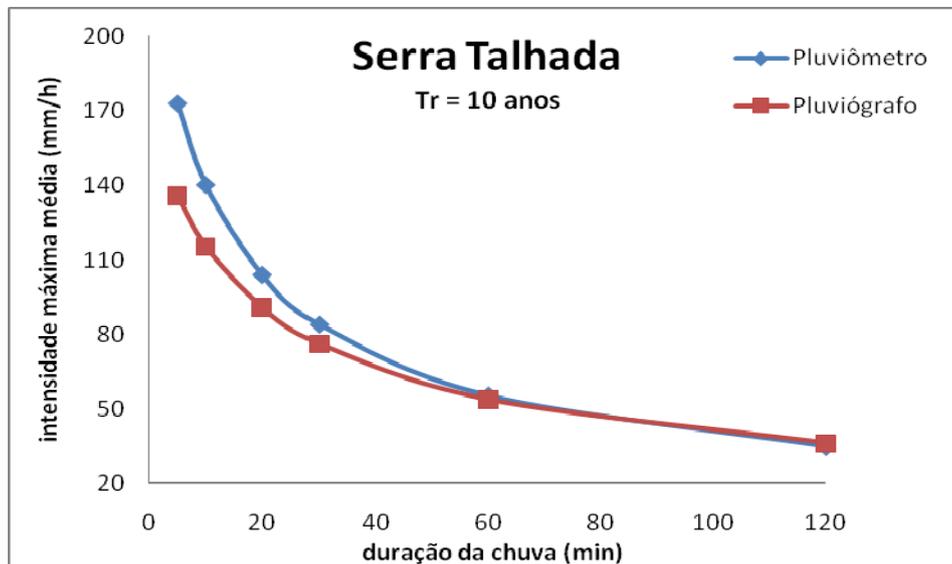
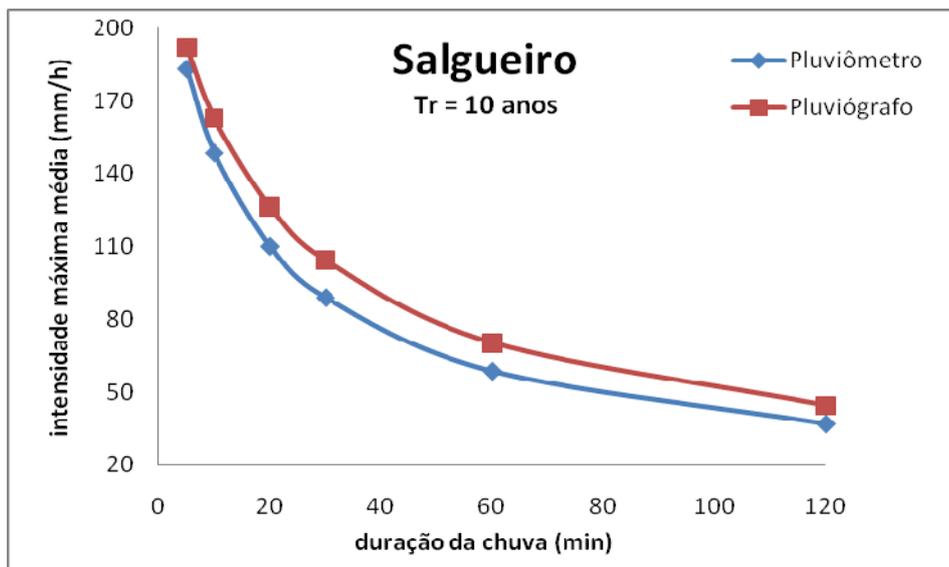


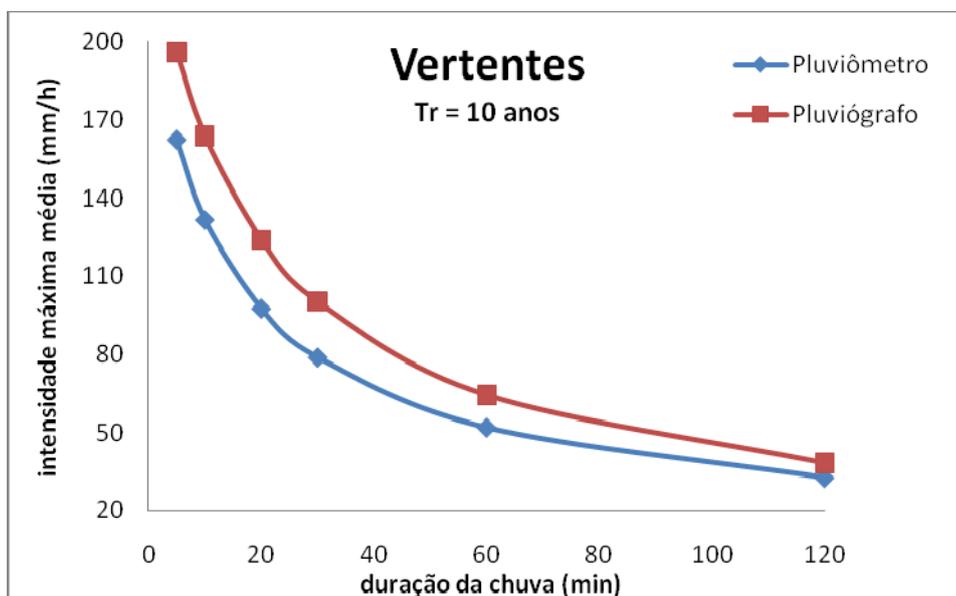
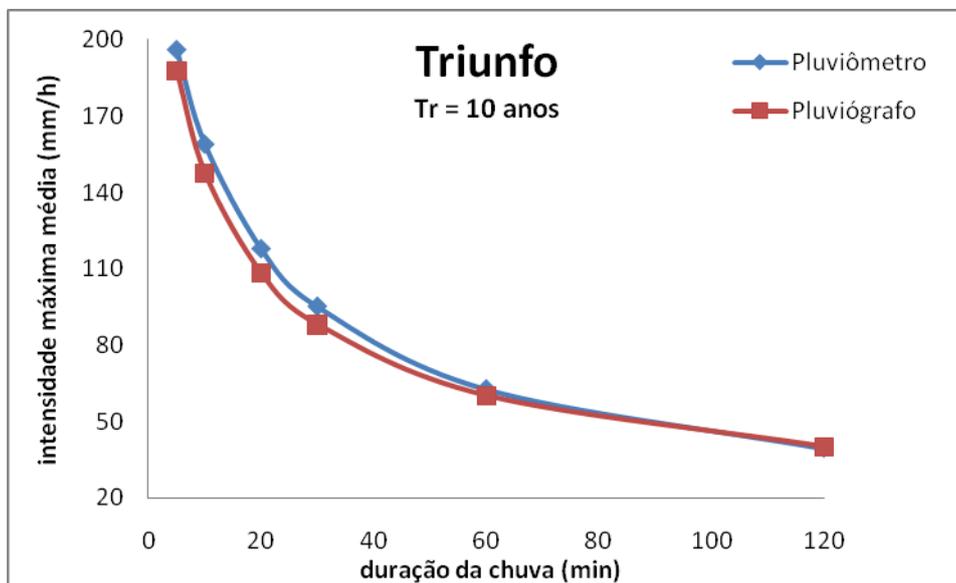
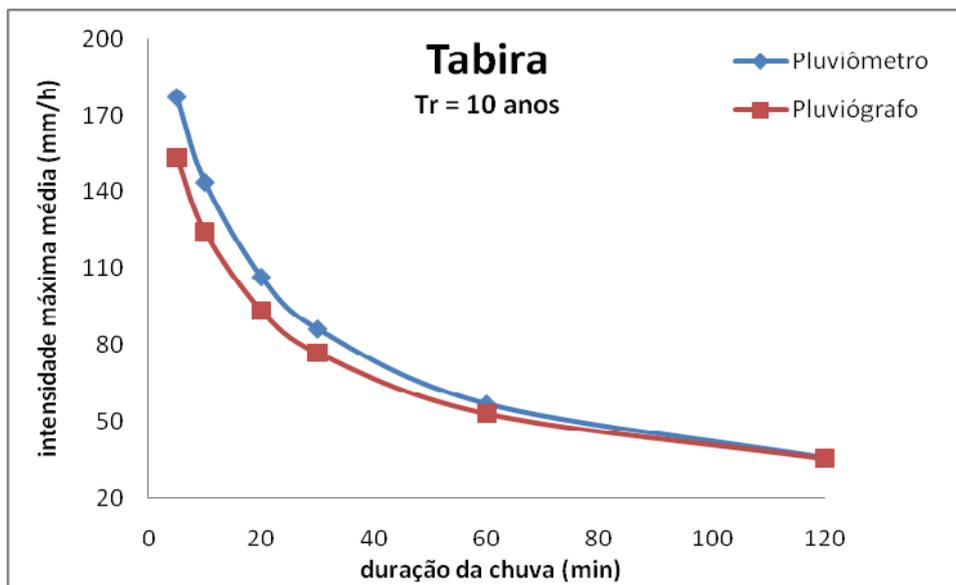


7.4 – Comparação entre as equações IDF geradas



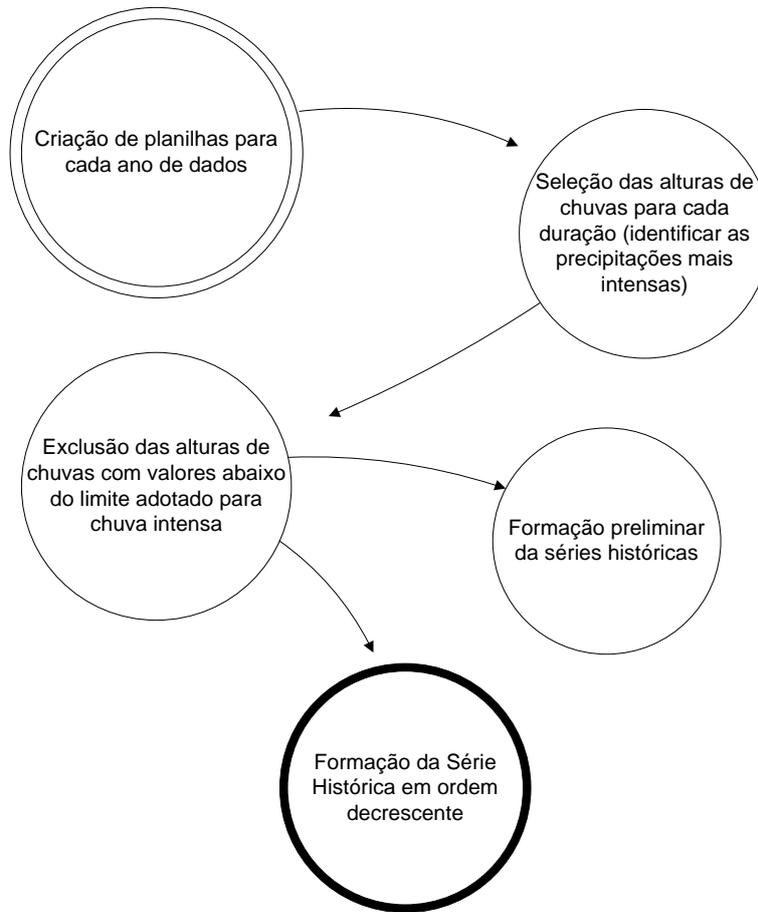




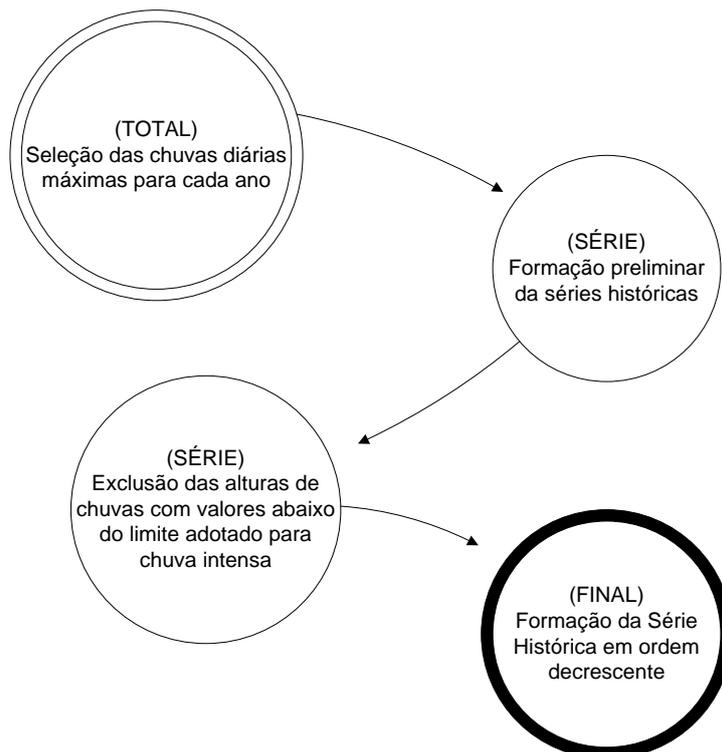


**7.5 – Fluxogramas para utilização dos aplicativos matemáticos**

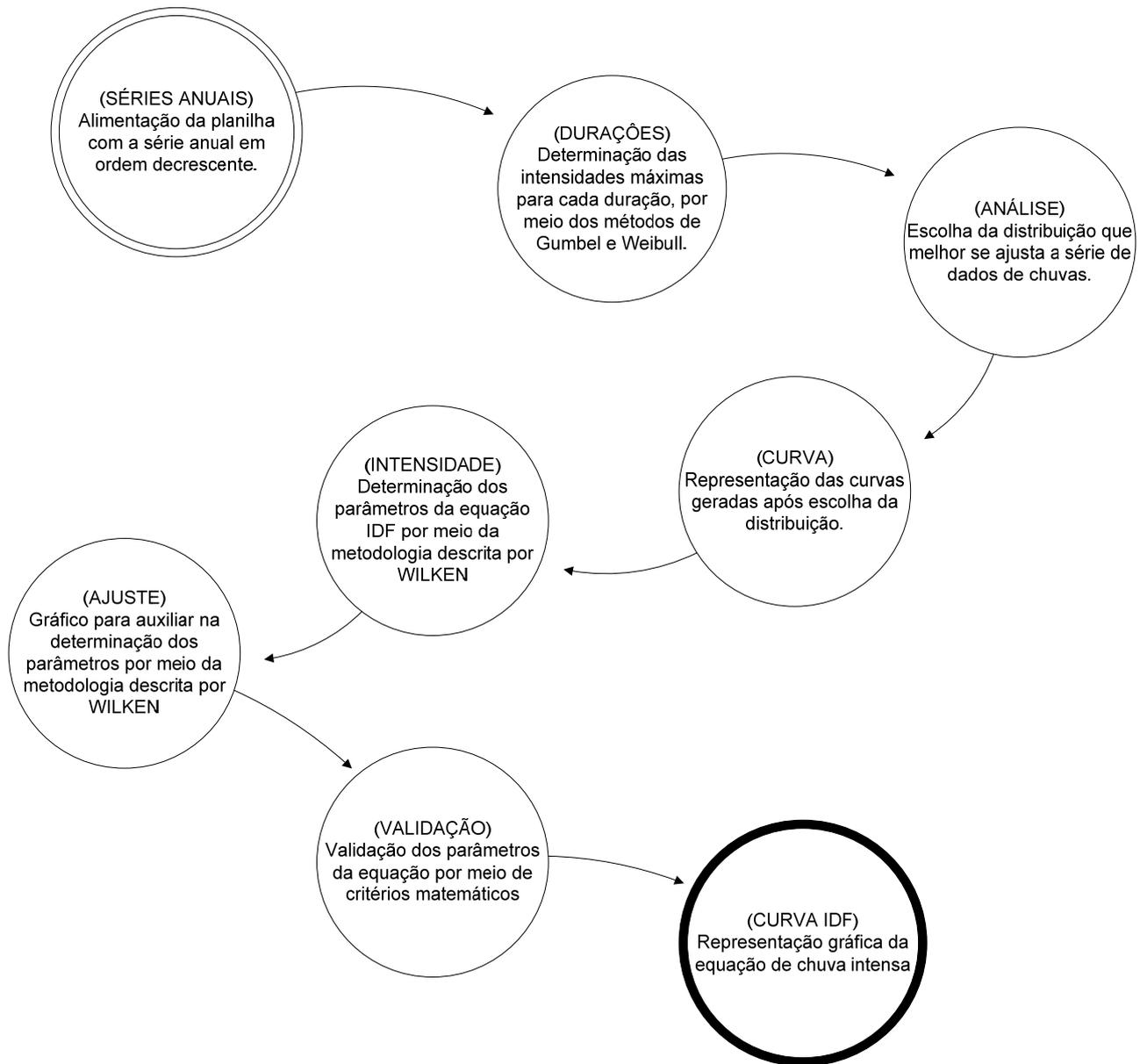
*7.5.1 Aplicativo para obtenção das séries históricas com dados pluviográficos*



*7.5.2 Aplicativo para obtenção das séries históricas com dados pluviométricos*



7.5.3 Aplicativo para obtenção da equação de chuva intensa



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)