



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CURVAS IDF COM DADOS
PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA- PB**

EMERSON DA SILVA FREITAS

**João Pessoa
Junho – 2016**

EMERSON DA SILVA FREITAS

**DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CURVAS IDF COM DADOS
PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA- PB**

Tema: Recursos Hídricos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

João Pessoa

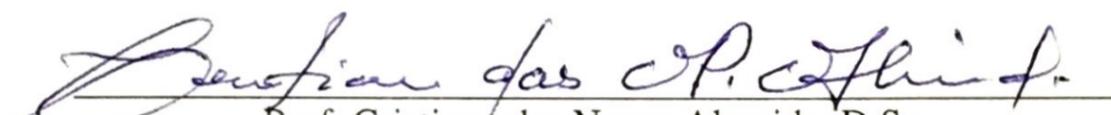
Junho – 2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

EMERSON DA SILVA FREITAS

**DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CURVAS IDF COM DADOS
PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA- PB**

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/06/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:


Prof. Cristiano das Neves Almeida, D.Sc.

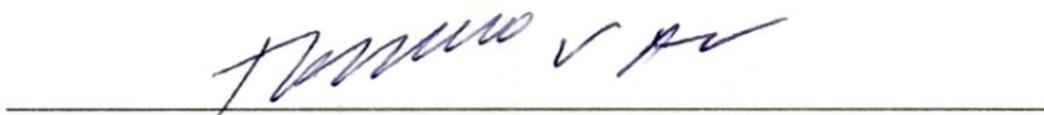
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado


Prof. Adriano Rolim da Paz, D.Sc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado


Prof. Tarcisio Cabral da Silva, D.Sc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Prof. Ana Claudia Fernandes Medeiros Braga, D.Sc.

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o amor, dedicação, comprometimento e carinho dispensados para comigo no curso de todos os momentos da minha vida, os quais contribuíram imprescindivelmente na formação de minha conduta moral, ética e religiosa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo agradeço a Deus, por todas as bênçãos concedidas assim como por toda proteção dada, tanto em momentos de alegrias e felicidades quanto ao longo dos desafios da minha vida.

À minha mãe, agricultora Gerlande da Silva Freitas, por todos os ensinamentos passados ao longo da minha vida para construir o meu caráter, dignidade, integridade, honestidade e temor a Deus. Por ter me apoiado e incentivado sempre na direção da instrução e do conhecimento, privando-se de bens financeiros para investir na minha educação básica. Ela, não possuindo o ensino fundamental completo, mas possuindo a instrução de uma mãe dedicada e batalhadora que sempre quis possibilitar a melhor condição possível para seu filho estudar. Sem dúvidas, a mulher da minha vida.

Ao meu pai, pedreiro Edvaldo Xavier de Freitas, meu maior exemplo de caráter e honestidade, assim como inspiração profissional, apesar de não dispor das oportunidades que me foram concedidas para chegar a este posto profissional, me ensinou que na vida tudo se constrói com trabalho, esforço e dedicação.

Ao professor Cristiano das Neves Almeida, agradeço-lhe pela grande orientação nesta monografia, assim como pelo apoio, incentivo, críticas construtivas e cobranças a fim de obter sempre o meu melhor desempenho, tornando-se uma pessoa fundamental em minha formação profissional.

À minha irmã, psicóloga Edilane da Silva Freitas, por toda orientação que me foi passada, por sempre acreditar em mim e me incentivar, por sempre acreditar que vou conseguir alcançar meus resultados e pelo apoio incondicional.

À minha namorada, Juliene Diniz Pereira, estudante de Enfermagem, por todo amor, apoio, confiança, prestatividade, além de todas as palavras de incentivo naqueles momentos que precisei. Eu me espelho na sua dedicação e esforço diário em busca dos seus objetivos. Deus não poderia ter colocado uma melhor companheira em minha vida.

Aos meus avós e tios por sempre me apoiarem nos melhores e piores momentos da vida, estando sempre ao meu lado prestando toda assistência que necessitei.

Aos meus colegas de trabalho no LARHENA-UFPB, Luis Romero, Victor Coelho e André Gadelha pelo conhecimento transmitido e apoio que me forneceram no período que trabalhei com eles.

Aos meus ex-professores Flávio Ferreira e João Francisco que sempre acreditaram no meu potencial, me ajudaram a expandir meus conhecimentos na educação básica e na minha formação como cidadão antes de mais nada.

RESUMO

Dados observados de vazão para o dimensionamento de obras hidráulicas não são fáceis de serem obtidos, mesmo em grandes e importantes bacias hidrográficas. Por conta disto, utilizam-se dados de precipitação para calcular vazões de projeto. Com uma longa série de dados de precipitação pode-se determinar as equações Intensidade-Duração-Frequência, relacionando aqueles parâmetros, que são utilizados para determinação da intensidade a ser utilizada em projetos. O objetivo desse estudo é a elaboração de curvas IDF a partir de dados pluviométricos desagregados, com o uso de tabelas de desagregação, e dados pluviográficos. Foram utilizados 13 anos de dados de precipitação de três estações pluviográficas, onde os mesmos foram acumulados para simular um pluviômetro na bacia. A metodologia consistiu em gerar a curva IDF com os dados pluviográficos das estações da bacia. Foram agregados os dados subdiários para uma escala diária, simulando um pluviômetro, e desagregar a partir de uma tabela de desagregação de precipitação diária. Assim também gerou-se a curva para estes dados, comparando-se assim os dados gerados por estas curvas. Os resultados mostraram que as intensidades geradas com dados diários desagregados, para pequenas durações, de 5 a 30 min, superestimam os valores de intensidade. Esta superestimação normalmente tem valores consideráveis que quando utilizados para dimensionar uma obra, a mesma seria superdimensionada, o que geraria um custo adicional não necessário a estas obras. A principal conclusão deste estudo é que há diferenças significativas nas intensidades utilizados em projetos de estruturas hidráulicas provenientes de curvas IDF com dados diários de precipitação desagregados e com dados de precipitação instantâneos.

Palavras-chave: Intensidade de precipitação, chuvas intensas, bacia experimental

ABSTRACT

Observed flow data for the design of hydraulic works are not easy to obtain, even in large and important watersheds. Because of this, precipitation data are used to calculate design flow. With a long series of rainfall data can determine the intensity-duration-frequency equations relating these parameters, which are used for determining the intensity to be used in designs. The aim of this study is to develop IDF curves from disaggregated rainfall data, with the use of breakdown tables, and rain gauge data. They were used 13 years of precipitation data from three pluviograph stations, where they were retained to simulate a rain gauge in the basin. The methodology was to generate the IDF curve with rain gauge data from stations in the basin. Subsequently, aggregate the data for subdiários a daily scale, simulating a rain gauge, and disaggregate from a breakdown of daily precipitation table. Thus also it generated, the curve for these data, and comparing them to data generated by these curves. The results showed that the intensities generated from daily data broken down to smaller durations of 5 to 30 min overestimate the intensity values. This overestimation usually has considerable values when used to scale a work, it would be oversized, which would generate an additional cost not necessary to these works. The main conclusion of this study is that there are significant differences in the intensities used in projects of hydraulic structures from IDF curves with disaggregated daily precipitation data and instantaneous rainfall data.

Keywords: intensity, heavy rains, experimental basin

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- DETERMINAÇÃO DO EVENTO CHUVOSO A PARTIR DE MIT E MLP.	18
FIGURA 2 - INTENSIDADE DO EVENTO CHUVOSO, INTENSIDADE DOS SUBEVENTOS E INTENSIDADE MÉDIA DOS (MIT EVENTO: 24 HORAS, MIT SUBEVENTO: 1 HORA, ANO DE REFERÊNCIA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO 2005)	18
FIGURA 3- LOCALIZAÇÃO DA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA.	25
FIGURA 4- ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO: PRECIPITAÇÃO ACUMULADA PARA O ANO DE 2004 DAS ESTAÇÕES DA BACIA	27
FIGURA 5- AGREGAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS PARA SIMULAR UMA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	28
FIGURA 6- INTERVALO DE MAIOR PRECIPITAÇÃO PARA UMA DURAÇÃO DE 5 MIN EM UM EVENTO DE 7 MIN.	30
FIGURA 7- ADERÊNCIA DA SÉRIE DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO À DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.	38
FIGURA 8-ADERÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DA SÉRIE DE DADOS SUBDIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO A DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	39
FIGURA 9- REGRESSÃO LINEAR PARA DEFINIR OS PARÂMETROS N E B DA EQUAÇÃO PARA OS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	41
FIGURA 10- REGRESSÃO LINEAR PARA DEFINIR OS PARÂMETROS K E M DA EQUAÇÃO PARA OS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	41
FIGURA 11-REGRESSÃO LINEAR PARA DEFINIR OS PARÂMETROS N E B DA EQUAÇÃO PARA OS DADOS PLUVIOGRÁFICOS	42
FIGURA 12-REGRESSÃO LINEAR PARA DEFINIR OS PARÂMETROS K E M DA EQUAÇÃO PARA OS DADOS PLUVIOGRÁFICOS	42
FIGURA 13- IDFPG: CURVA IDF GERADA A PARTIR DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS.....	43
FIGURA 14- IDFPM: CURVA IDF GERADA A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	43
FIGURA 15- ERROS ABSOLUTOS PARA OS PERÍODOS DE RETORNO	46
FIGURA 16- ERROS ABSOLUTOS PARA AS DURAÇÕES	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- LIMITES MÍNIMOS DE PRECIPITAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS	16
TABELA 2- LIMITES MÍNIMOS PARA CONSIDERAR UMA CHUVA INTENSA.....	16
TABELA 3- COEFICIENTES PARA DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DIÁRIAS.....	20
TABELA 4- RELAÇÃO MÉDIA ENTRE PRECIPITAÇÕES DE DIFERENTES DURAÇÕES.....	21
TABELA 5- PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE OTTO PFAFSTETTER.....	23
TABELA 6- ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOGRÁFICAS DA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA	26
TABELA 7- ESTAÇÕES UTILIZADAS PARA A DETERMINAÇÃO DAS CURVAS IDF DA BACIA	28
TABELA 9- NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA DIFERENTES TAMANHOS DE AMOSTRAS	33
TABELA 10- APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBELA SÉRIE DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO.....	37
TABELA 11- TESTE DE ADERÊNCIA DA SÉRIE DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA A DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL	37
TABELA 12- APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBELA SÉRIE DE DADOS SUBDIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO.....	38
TABELA 13- TESTE DE ADERÊNCIA DA SÉRIE DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO SUBDIÁRIA A DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	39
TABELA 14- CÁLCULO DA INTENSIDADE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS A PARTIR DOS DADOS DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	40
TABELA 15- CÁLCULO DA INTENSIDADE DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS A PARTIR DOS DADOS DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	40
TABELA 16- SUPERESTIMAÇÃO E SUBESTIMAÇÃO DAS INTENSIDADES GERADAS A PARTIR DAS CURVAS IDFPM E IDFPG	44
TABELA 17- DIFERENÇA ABSOLUTA ENTRE AS INTENSIDADES DAS CURVAS IDFPM E IDFPG	45
TABELA 18- FAIXAS DE COMPARAÇÃO ENTRE OS ERROS ABSOLUTOS DAS INTENSIDADES EM MM/H E OS COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA.....	47

TABELA 19-SUBESTIMAÇÃO E SUPERESTIMAÇÃO DA INTENSIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E A INTENSIDADE GERADA PELA IDFPG.....	48
TABELA 20-ERROS ABSOLUTOS ENTRE AS INTENSIDADES DA PRECIPITAÇÃO (EM MM/H) DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E DA IDFPG.....	49
TABELA 21-ERROS RELATIVOS ENTRE AS INTENSIDADES DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E DA IDFPG	50
TABELA 22-SUBESTIMAÇÃO E SUPERESTIMAÇÃO DA INTENSIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E A INTENSIDADE GERADA PELA IDFPM.....	50
TABELA 23-ERROS ABSOLUTOS (EM MM/H) ENTRE OS DADOS DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E DAS CURVAS IDFPM	51
TABELA 24-ERROS RELATIVOS ENTRE AS INTENSIDADES DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL E DA IDFPM.....	52
TABELA 25-SUPERESTIMAÇÃO E SUBESTIMAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL GERADAS COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOGRÁFICOS	53
TABELA 26-ERRO ABSOLUTO DA PRECIPITAÇÃO (EM MM) DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL GERADAS COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOGRÁFICOS.....	54
TABELA 27-FAIXAS DE COMPARAÇÃO ENTRE OS ERROS ABSOLUTOS DAS PRECIPITAÇÕES EM MM E OS COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA.....	54
TABELA 28- COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO GERADOS PARA A BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA	55
TABELA 29-ERROS ABSOLUTOS ENTRE A PRECIPITAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS E OS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DESAGREGADOS (EM MM) COM A NOVA TABELA DE DESAGREGAÇÃO.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 GERAIS.....	15
2.2 ESPECÍFICOS.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 DEFINIÇÃO DE CHUVAS INTENSAS.....	16
3.2 RELAÇÃO DA INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO COM A SUA DURAÇÃO	17
3.3 MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA	19
3.4 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA EXPANSÃO DE SÉRIES DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	22
3.5 METODOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE CURVAS IDF.....	22
3.6 COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS GERADAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS	24
4. METODOLOGIA	25
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 ESCOLHA DE POSTOS DE TRABALHO NA BACIA EXPERIMENTAL	26
4.3 AGREGAÇÃO E DESAGREGAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO	28
4.4 AGREGAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS.....	29
4.5 APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL À SÉRIE DE DADOS	30
4.6 GERAÇÃO DAS CURVAS IDF	33
4.6.1 <i>Dados Pluviométricos</i>	34
4.6.2 <i>Dados Pluviográficos</i>	36
4.7 DESENVOLVIMENTO DA TABELA DE DESAGREGAÇÃO PARA A BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 GERAÇÃO DAS CURVAS IDF	37
5.1.1 <i>Aplicação da distribuição de Gumbel</i>	37
5.1.2 <i>Cálculo das variáveis da curva IDF</i>	41
5.2 ANÁLISE DAS INTENSIDADES GERADAS PELOS DOIS CONJUNTOS DE CURVAS	44
5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE INTENSIDADES REAIS E OS OBTIDOS PELA DA EQUAÇÃO IDF	48
5.3.1 <i>Eficiência da IDF_{pg} na representação dos dados</i>	48
5.3.2 <i>Influência da IDF_{pm} na representação dos dados</i>	50
5.4 EFICIÊNCIA DA TABELA DE DESAGREGAÇÃO	52
5.5 DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA TABELA DE DESAGREGAÇÃO.....	54
6. CONCLUSÕES	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento de dados observados de vazão é de extrema importância, para o dimensionamento de obras hidráulicas como barragens, drenagens, dentro tantos outros na engenharia (DAMÉ, 2006). Aragão (2000) adverte que ter conhecimento da vazão de projeto para dimensionar obras hidráulicas é importante para evitar inundações.

Dados observados de vazão não são fáceis de serem obtidos, mesmo em grandes e importantes bacias hidrográficas. Por conta disto, utilizam-se dados de precipitação para calcular vazões de projeto.

Os estudos dos processos hidrológicos e hidrogeológicos em bacias hidrográficas vêm sendo desenvolvidos de maneira detalhada por pesquisadores de instituições do Nordeste brasileiro, utilizando bacias representativas e experimentais, porém em quantidade ainda pequena. É o caso dos projetos de pesquisa desenvolvidos pela Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), em que sete bacias experimentais foram instaladas em diversas áreas do Nordeste do Brasil, mas poucas bacias experimentais permanecem em operação (REHISA, 2004).

Quando possível, todas as obras hidráulicas deveriam ser dimensionadas com séries de dados de medição de vazão no local da obra, o que quase sempre não é possível por conta do alto custo de obtenção desta variável (DAMÉ, 2008).

Devido à maior facilidade de se obter séries de dados de precipitação em um longo período de tempo, é comum relacionar dados de precipitação com vazão encontrando-se a precipitação de projeto (FERREIRA & MACEDO, 2011).

Em bacias experimentais, o monitoramento das variáveis hidrológicas é feito com boas resoluções espaciais e temporais, o que conseqüentemente permite um estudo detalhado das variáveis. No caso da bacia hidrográfica experimental do riacho Guaraíra, localizada na região litorânea sul do estado da Paraíba, os pluviógrafos instalados medem a precipitação na escala sub-horária.

É frequente o uso de dados de precipitação a fim de calcular a vazão de cheia para dimensionamento de obras hidráulicas. Para caracterização da precipitação é indispensável conhecer a sua intensidade, duração e frequência de ocorrência, também conhecida como período de retorno (DAMÉ, 2008). Com uma longa série de dados pluviográficos podem-se

determinar as equações IDF (Intensidade-Duração-Frequência), relacionando aqueles parâmetros, que são utilizados para determinação da intensidade a ser utilizada em projetos.

O pioneiro no Brasil no desenvolvimento dessas equações IDF foi o engenheiro Otto Pfafstetter (1957) com seu estudo de chuvas intensas no Brasil . O autor estabeleceu curvas para 98 postos pluviográficos e pluviométricos espalhados por todo o Brasil.

O estudo pioneiro no estado da Paraíba a equação IDF foi desenvolvido pelo Eng. J. A. Souza (1972), que utilizou 13 anos de dados da estação de João Pessoa para construir a equação IDF.

A curva IDF é importante em projetos, pois a partir dela determina-se a precipitação que é a base de qualquer projeto de obras hidráulicas. A estimativa mais precisa de chuvas intensas é importante para que o projeto hidráulico seja viável de um ponto de vista técnico e econômico (MELLO et al., 2003).

A partir disto, esse trabalho realiza um estudo na bacia hidrográfica experimental do Riacho Guarára com dados de estações pluviográficas do projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas no Semiárido), a fim de verificar se as intensidades adotadas para projetos são muito divergentes em função da curva IDF que se utiliza.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo desse estudo é a elaboração de curvas IDF a partir de dados pluviométricos desagregados, com o uso de tabelas de desagregação, e dados pluviográficos. A partir das curvas traçadas para a mesma área de estudo, buscou-se avaliar a diferença entre as intensidades geradas pelas diferentes curvas e verificar com isto se a tabela de desagregação pode ser utilizada com segurança.

2.2 Específicos

- Comparar as curvas geradas com dados subdiários agregados de uma estação pluviográfica e diários de uma estação pluviométrica, ambas instaladas em uma mesma localização;
- Verificar a utilização da tabela de desagregação para gerar curvas a serem utilizadas em projetos;
- Elaborar uma tabela de desagregação de precipitação diária para a bacia experimental do riacho Guaraíra.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Definição de chuvas intensas

Para o estudo da precipitação em uma bacia hidrográfica é preciso ter conhecimento de suas chuvas intensas, pois as equações de chuvas intensas são as formas mais usuais na determinação de vazão de cheia (BACK, 2012) e (VILLELA & MATTOS, 1975).

Pfafstetter (1957) definiu que uma chuva pode ser considerada intensa desde que para qualquer duração ocorreu uma precipitação superior aos limites estabelecidas na Tabela 1.

Tabela 1- Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas

Duração (min)	Precipitação (mm)	Duração (h)	Precipitação (mm)
5	5	4	35
15	15	8	40
30	20	14	47
60	25	24	55
120	30	48	70

Fonte: Pfafstetter 1957

Goulart et al. (1992) consideraram que chuvas intensas são as que, com determinadas durações, se encontrem dentro dos limites mínimos fixados na Tabela 2.

Tabela 2- Limites mínimos para considerar uma chuva intensa.

Duração (min)	Precipitação (mm)
30	20
45	23
60	25
90	28
120	30
240	35
360	38
720	44
1080	50
1440	55

Fonte: Goulart 1992

Esse autor ainda afirmou que quando ao limite mínimo de lâmina precipitada estabelecida para ser chuva intensa não for superada para nenhuma das durações, pode-se considerar a maior precipitação como chuva intensa.

As chuvas intensas, também conhecidas como precipitações máximas, são fenômenos de ocorrência extrema que ocorre em uma bacia hidrográfica. São estas responsáveis por

inundações, falhas de obras hidráulicas e contribui para erosão do solo (SOUSA & SILVA, 1998).

3.2 Relação da intensidade da precipitação com a sua duração

O estudo da precipitação tendo em foco a relação da intensidade com a duração do evento está sendo cada vez mais colocado em pauta por estudos científicos realizados no mundo. Isto se deve ao fato de que esses aspectos influenciam na erosão do solo, geração de vazão, geração de sedimentos, erosão, dentre outros.

Diversos estudos vêm sendo realizados no sentido de melhor entender o comportamento da precipitação (HAILE *et al.*, 2011; DUNKERLEY, 2008). O estudo da precipitação e suas características na escala temporal subhorária permitem o melhor entendimento do processo de geração de vazão e dados com uma excelente precisão para determinação de curvas IDF.

JEBARI *et al.* (2012) afirmam que a falta de dados de precipitação em um nível de detalhe suficiente é uma barreira para a estimativa correta da perda de solo. Assim, para contribuir com estudos nessa área, eles aplicaram um modelo de desagregação da precipitação em cascata, para estimar a perda de solo numa pequena bacia hidrográfica, localizada na região Mediterrânea da Tunísia.

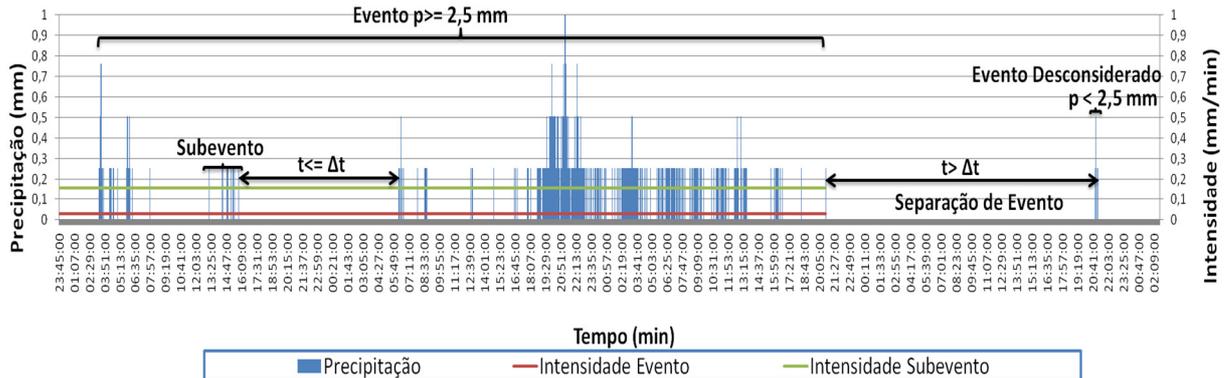
Com relação à precipitação propriamente dita, diversos estudos procuram entender essa variável, suas variações no espaço e/ou no tempo, e suas características, como lâmina precipitada, duração, frequência e intensidade. Diante disso, a literatura contém uma riqueza de estudos em que as propriedades dos eventos chuvosos se mostram importantes para os processos hidrológicos, muito embora uma menor exploração científica tenha sido proporcionada na definição e análise das propriedades dos eventos chuvosos, ou mesmo sobre sua variabilidade espaço-temporal (DUNKERLEY, 2008a).

As grandezas intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas pode ser obtida da análise de registros pluviográficos. Dados de chuvas intensas são obtidos através destes mesmos registros, ou seja, diagramas de precipitação acumulada ao longo do tempo (GARCIA *et al.*, 2011).

Contudo, um estudo foi realizado para analisar a influência da intensidade de subeventos dentro do evento chuvoso. Freitas *et al.* (2014) fizeram um estudo com a intensidade de eventos e subeventos chuvosos na bacia experimental do riacho Guaraíra, utilizando os critérios de MIT (mínimo intervalo de tempo) e MLP (mínima lâmina precipitada), que pode ser visto na Figura 1, para definição de eventos chuvosos.

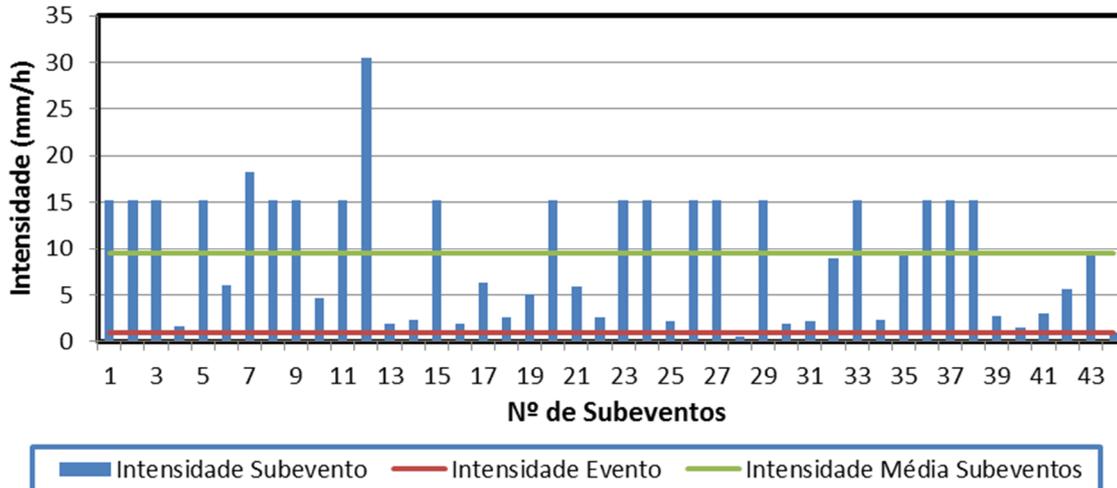
Esse estudo verificou que a intensidade média dos subeventos é normalmente maior que a intensidade do evento, onde aquela aumenta ou reduz e acordo com critérios adotados. A partir disso, verificou-se-se que a intensidade de subventos podem ser maiores, podendo gerar uma falha de estruturas hidráulicas dimensionadas a partir da intensidade do evento. Pode-se ver um exemplo dessa relação de intensidades na Figura 2.

Figura 1- Determinação do evento chuvoso a partir de MIT e MLP.



Fonte: Freitas, 2014.

Figura 2 - Intensidade do evento chuvoso, intensidade dos subeventos e intensidade média dos (MIT evento: 24 horas, MIT Subevento: 1 hora, ano de referência dos dados de precipitação 2005)



Fonte: Freitas, 2014.

A principal conclusão desse estudo é que há uma diferença significativa entre a intensidade do evento, intensidade dos subeventos e a intensidade média dos subeventos. A diferença entre esses três valores é importante para estudo de variáveis hidrológicas, sendo assim, é questionável se a intensidade considerada na geração das curvas IDF é a maior dentre essas.

3.3 Métodos de desagregação da precipitação diária

Devido à grande dificuldade de dados de precipitação provenientes de pluviógrafos disponíveis, alguns métodos foram desenvolvidos buscando desagregar esses dados diários em escalas subdiárias.

Na literatura é possível encontrar diversos métodos para obtenção de precipitação de eventos com determinada duração a partir de outros eventos com durações distintas. Estes métodos são conhecidos como métodos de desagregação de chuvas, normalmente diárias.

Os diferentes coeficientes de desagregação de chuva diária contribuem consideravelmente para determinação de parâmetros de curvas IDF. Estes fatores podem contribuir para projetos hidrológicos (TEODORO et al., 2014).

Já outros autores alertam quanto ao uso de coeficientes de desagregação, pois as equações geradas a partir de dados pluviométricos, empregando-se o método de desagregação, apresentam desvios altos (OLIVEIRA et al., 2005).

Os coeficientes de desagregação são bastante utilizados na desagregação da chuva diária pela sua simplicidade e facilidade de aplicação, foram desenvolvidos pela CETESB (1979) contendo valores médios para todo o Brasil. Os coeficientes de desagregação podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3- Coeficientes para desagregação de chuvas diárias.

RELAÇÃO	COEFICIENTES (CETESB)
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24	0,85
24h/1dia	1,14

Fonte: CETESB, 1979

Os coeficientes da Tabela 3 são relações médias de precipitação máxima com período de retorno entre 2 e 100 anos obtidos a partir das curvas de Otto Pfafstetter (1957). Essa tabela apresenta um grupo para precipitação menor que 30 min e maior que 1 hora, sendo este, o elo entre os grupos (SILVEIRA, 2000).

Silveira (2000) encontrou, a partir desta tabela de desagregação acima, uma equação que retorna os coeficientes de desagregação para qualquer duração em relação à chuva máxima precipitada em 24h, com um erro de até 6%. Essa equação pode ser vista abaixo, onde “d” é a duração em min e C é o coeficiente de desagregação com relação a uma chuva de 24h, ou seja, multiplicando-se o coeficiente pela precipitação de 24h, encontra-se a precipitação de uma determinada duração.

$$C(d) = e^{1,5 \ln(\ln d / 7,3)} \quad (1)$$

Outros autores procuraram determinar relações entre diferentes durações, por exemplo, Back (2012) realizou um estudo desta natureza com durações variando de 5 a 1440 min para 13 estações pluviográficas do estado de Santa Catarina, ver Tabela 4. Para os coeficientes no interior do estado constatou-se uma diferença inferior a 5%, já no litoral, a diferença chegou a valores de até 50% com relação à tabela de coeficiente de desagregação da CETESB.

Tabela 4- Relação média entre precipitações de diferentes durações.

RELAÇÃO	COEFICIENTES
5min/30min	0,35
10min/30min	0,53
15min/30min	0,68
30min/1h	0,75
1h/24h	0,35
6h/24h	0,61
12h/24	0,76
24h/1dia	1,16

Fonte: Adaptado de Back, 2012

A diferença dos coeficientes entre a região litorânea e o interior do estado é um possível indicativo que está se admitindo coeficientes de desagregação que não se correlacionam com a região estudada. Isto pode acontecer devido ao Brasil ter dimensões continentais e regimes de precipitação bastante diferenciados ao longo do seu território.

Beltrame et al. (1991) desenvolveram um método onde considera-se que as relações possuem validade regional. O método consiste em duas relações, sendo a primeira a relação é a estimativa de valores adimensionais com o tempo de retorno. A segunda relação é da média dos totais precipitados com a duração da chuva.

Robaina e Peiter (1992) propuseram um modelo de desagregação para chuvas com duração de 24h medidas em pluviômetros no estado do Rio Grande do Sul. A função proposta está descrita abaixo:

$$f(t) = 0,00008 \cdot t + 0,14 \cdot \ln(1 + 0,33 \cdot t) \quad (2)$$

onde "t" é a duração expressa em minutos.

Bell (1969) estabeleceu relações de desagregação utilizando dados de alguns países como Estados Unidos, Austrália, a extinta União Soviética, Porto Rico, Alasca, África do Sul e Havaí. Ajustou-se a equação:

$$X(t, T) = (0,21 \cdot \ln T + 0,52) \cdot (0,54t^{0,25} - 0,50) \cdot X(1,10) \quad (3)$$

onde X(t,T) é a precipitação em mm, t é a duração em minutos e T é o período de retorno em anos.

3.4 Métodos estatísticos para expansão de séries de dados de precipitação

Devido às dificuldades já citadas anteriormente de obtenção de longas séries de dados de variáveis hidrológicas, podem ser utilizadas distribuições de probabilidade para se prever eventos que venham ocorrer em períodos de recorrência que não se possui dados observados.

Diversas funções contínuas de probabilidade têm se mostrado úteis quanto à descrição de frequência de ocorrência de dados hidrológicos (CHOW, 1964 apud GOULART et al. 1992).

Distribuições teóricas de probabilidade são simplesmente funções analíticas utilizadas para descrever o comportamento de determinadas variáveis. No caso de extremos, apenas o ajuste de séries longas é que dão indicações sobre melhores distribuições (SANSIGOLO, 2008).

Geralmente as distribuições de valores de grandezas hidrológicas, tais como chuva, ajustam-se satisfatoriamente a distribuição tipo I de Fisher- Tippett, conhecida também como distribuição de Gumbel (VILLELA & MATTOS, 1975).

As distribuições que melhor se ajustam à precipitação máxima diária são as de Gumbel Weibull , Normal e Gumbel (SANSIGOLO, 2008).

3.5 Metodologias para geração de curvas IDF

Normamente as curvas IDF são obtidas a partir de ajustes de uma função de probabilidade de eventos extremos realizado com os valores máximos de precipitação anual em escala subdiária obtidos de séries históricas (SCHARDONG, 2014).

Quando não há dados pluviográficos nas proximidades do local da obra, podem ser utilizadas as equações geradas por Otto Pfafstetter (1957) de uma região próxima e com características semelhantes a do local da obra (DNIT, 2006).

Caso não haja dados pluviográficos, mas hajam dados de um pluviômetro instalado próximo ao local com no mínimo 10 anos de observação, pode-se correlacionar a precipitação diária do pluviômetro com a de um pluviógrafo que seja representativo (DNIT, 2006).

Existem diferentes metodologias aplicáveis para se construir curvas IDF a fim de aplicá-las para determinar a intensidade que se deve considerar na elaboração de projetos de estruturas hidráulicas.

Como já dito anteriormente, Pfafstetter (1957) elaborou para todo Brasil um estudo de chuvas intensas e determinou para várias regiões as suas curvas IDF a partir dos dados das mesmas. A equação por ele calibrada tem o seguinte formato:

$$P = TR^{A+B/TR^{0,25}} \cdot (at + b \cdot \log(1 + c)) \quad (4)$$

onde, P é a precipitação do evento em mm, TR é o período de recorrência em anos, t é a duração do evento em min, A,B são valores tabelados, a,b,c são parâmetros que dependem do posto que está sendo analisado.

Tabela 5- Parâmetros da equação de Otto Pfafstetter.

t	5 min	15 min	30 min	1h	2h	4h	8h	24h	2d	4d	6d
A	0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,17	0,166	0,156	0,152
B	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Fonte: DNIT, 2006

Aragão et al.(2000), Damé (2006), Gonçalves (2012) e Silva et al. (2013), e utilizaram a equação IDF geral:

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t+b)^n} \quad (5)$$

onde i é a intensidade máxima dada em mm/h, T é o período de retorno em anos, t é a duração do evento em min, K, m, b e n são parâmetros a se determinar dependendo do local em que o posto está instalado.

Outra equação IDF que pode ser ajustada com regressão linear em base logarítmica para dois intervalos, 5 min a 1h e 1h a 24h, resultando em duas equações distintas é (Farias, 2013):

$$i = \left\{ \left[(a \cdot \ln(T) + b) \cdot \ln \left(T + \left(\frac{k}{60} \right) \right) \right] + c \cdot \ln T + d \right\} / t \quad (6)$$

onde, i é a intensidade da chuva em mm/h; T é o período de retorno em anos; t é a duração da chuva em min; a,b,c,d e k são parâmetros a se determinar.

As equações em base logarítmica ajustadas reproduzem de forma precisa os dados vindos do modelo probabilístico ajustado a série de máximos diários e desagregados em chuvas de menores durações (FARIAS, 2013).

Na equação anterior, calibra-se a equação que retorna o valor da intensidade do evento, já a mostrada anteriormente, retorna o valor da lâmina precipitada, calculando a partir desta e a da duração a intensidade de projeto.

3.6 Comparação entre curvas geradas a partir de dados pluviográficos e pluviométricos

Damé (2006) realizou um estudo para verificar o desempenho da estimativa de valores de intensidade-duração-frequência quando se utiliza métodos de desagregação para 5 cidades do Rio Grande do Sul. Concluiu-se que a equação IDF retornou valores de intensidade máximas aceitáveis para a cidade de Pelotas, porém para as outras cidades retornou um valor discrepante, podendo ter sido ocasionado pelo período de dados utilizados para obter as curvas.

SILVA et. al. (2012) fizeram uma comparação de curvas IDF no estado de Pernambuco a fim de avaliar a qualidade dessas provenientes de dados pluviográficos. Foram utilizados 12 estações pluviográficas e 11 pluviométricas, com série de dados de 8 a 14 e 10 a 34 anos de observação respectivamente. Esse estudo concluiu que equações de curvas IDF podem ser geradas no estado de Pernambuco com dados pluviométricos quando houver ausência de dados pluviográficos sem perder a qualidade e pecar com a segurança

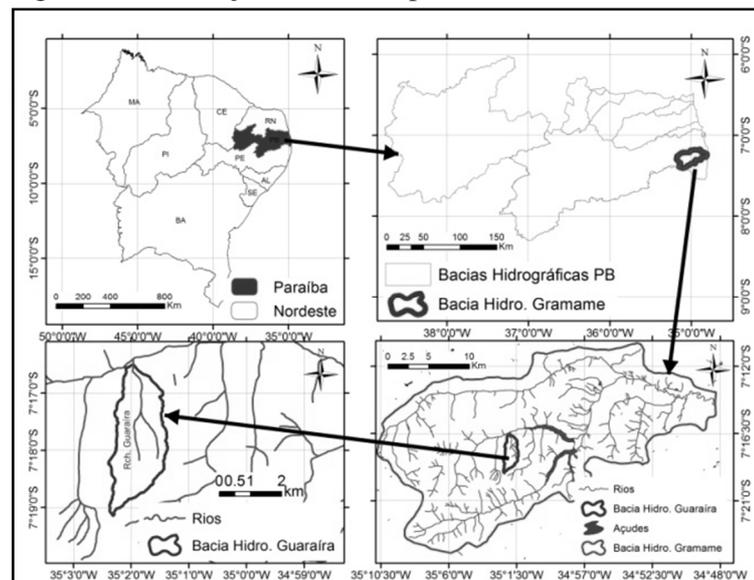
4. METODOLOGIA

4.1 Descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia experimental do riacho Guaraíra (BERG), localizada na bacia hidrográfica representativa do rio Gramame, e possui uma área aproximada de 5,84 km², conforme Figura 5. Nessa figura, a bacia em estudo situa-se parte no município de Alhandra e parte no de Pedras de Fogo entre as coordenadas UTM Norte 9.190,80 km e 9.195,25 km, e Leste 274,50 km e 277,00 km (SIRGAS 2000), distante 40 km de João Pessoa, capital do estado da Paraíba.

Sua área é ocupada principalmente por remanescentes de vegetações de Capoeira e de Mata Atlântica, cana-de-açúcar e abacaxi (LIRA et al., 2003). Outras características físicas, que têm grande influência no seu comportamento hidrológico, foram descritas detalhadamente por GOLDFARB et al. (2002).

Figura 3- Localização da bacia experimental do riacho Guaraíra.



Fonte: Freitas et al., 2014

A maior parte da bacia hidrográfica encontra-se assentada sobre os sedimentos da Formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas. A classificação climática para a região, de acordo com Köppen, indica para um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com precipitação predominante de outono-inverno com uma precipitação média anual de aproximadamente 1.600 mm (PDRH, 2000). Sua temperatura apresenta-se elevada durante o ano todo, com uma média de 26°C.

A BERG se encontra próxima à barragem de Gramame-Mamuaba, cuja capacidade de armazenamento gira em torno da ordem de 56 milhões de m³, e é de importância superlativa para a região metropolitana de João Pessoa, pois é por meio dela que cerca de um quarto da população do estado da Paraíba é abastecida (PDRH, 2000).

4.2 Escolha de postos de trabalho na bacia experimental

Como já dito anteriormente, manter os postos da bacia funcionando sem perdas de dados é muito difícil, logo os postos não possuem uma série de dados contínuas suficientemente longas para que seja construída a curva IDF utilizando dados de um único posto da bacia experimental.

Diante desta situação, foi feita uma análise de consistência dos dados de todas as estações da bacia experimental, a fim de se obter um diagnóstico das estações quanto à qualidade dos dados, estas informações foram dispostas em uma tabela (Tabela 6) para análise visual deste critério.

Tabela 6- Análise dos dados das estações pluviográficas da bacia experimental do riacho Guaraira

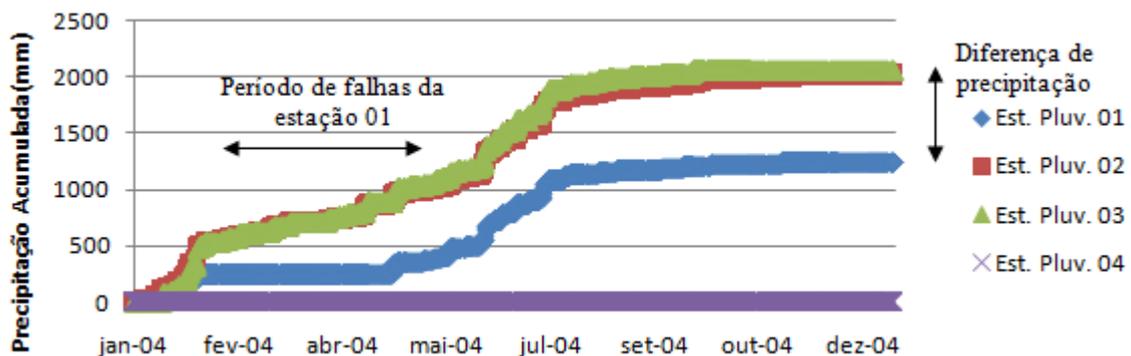
Ano	Est. Pluv 01		Est. Pluv 02		Est. Pluv 03		Est. Pluv 04	
	Situação		Situação		Situação		Situação	
	Precip.	Umidade do Solo	Precip.	Umidade do Solo	Precip.	Umidade do Solo	Precip.	Umidade do Solo
2003	×	×	×	×	×	×	✓	×
2004	✓	✓	✓	✓	✓	!	×	×
2005	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
2006	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
2007	✓	✓	✓	×	×	×	×	×
2008	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
2009	×	×	✓	✓	!	×	✓	✓
2010	×	×	✓	✓	×	×	✓	!
2011	!	×	✓	×	✓	×	×	×
2012	×	×	×	×	×	×	×	×
2013	×	×	×	×	×	×	✓	!
2014	×	×	×	×	×	×	✓	✓
2015	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
2016								
Legenda:	<p>✓ O ano possui todos os dados</p> <p>! O ano possui um perda de dados que não é significativa</p> <p>×</p>							

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esta análise em mãos verificou-se que seria necessário a utilização de mais de uma estação para construir uma série de dados contínua na bacia. Para isso foi feita uma análise da precipitação local a fim de se verificar diferenças entre as estações.

Foram acumuladas a precipitação diária de todas as estações ao longo de cada ano a fim de se verificar se o comportamento de precipitação era o mesmo em todas as estações e se pode-se considerar a curva homogênea na região.

Figura 4- Análise da precipitação: Precipitação acumulada para o Ano de 2004 das estações da bacia



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 4 pode-se ver que, a estação pluviográfica 04, (Est. Pluv.), não possui dados, a Est. Pluv. 02 e 03 possuem todos os dados e a Est. Pluv. 01 possui um período de falhas de meados de janeiro a meados de abril. Podemos concluir que a Est. Pluv. 01 possui falha porque no período que ela não registrou precipitação, as outras estações registraram.

Pode-se verificar uma semelhança nas curvas do gráfico de todas as estações, as precipitações possuem um comportamento bem parecido. A diferença na precipitação encontrada ao final do ano na estação 01 deve-se ao fato da perda de dados citada anteriormente, porém nos períodos sem falhas, a precipitação segue o mesmo comportamento das outras.

Com esta semelhança do comportamento das precipitações no local, pode-se afirmar que as precipitações são homogêneas na região. Visto isso, pode-se utilizar qualquer estação para representar a precipitação na bacia experimental.

Foram escolhidas as estações que possuíam dados completos em cada ano de modo que obtivéssemos a maior série contínua de dados possíveis para construção da curva IDF. Na Tabela 7 podemos verificar as estações utilizadas.

Tabela 7- Estações utilizadas para a determinação das curvas IDF da bacia

Ano	Estação Utilizada	Ano	Estação Utilizada
2003	EST. PLUV 04	2009	EST. PLUV 02
2004	EST. PLUV 02	2010	EST. PLUV 02
2005	EST. PLUV 02	2011	EST. PLUV 02
2006	EST. PLUV 02	2013	EST. PLUV 04
2007	EST. PLUV 01	2014	EST. PLUV 04
2008	EST. PLUV 02	2015	EST. PLUV 02

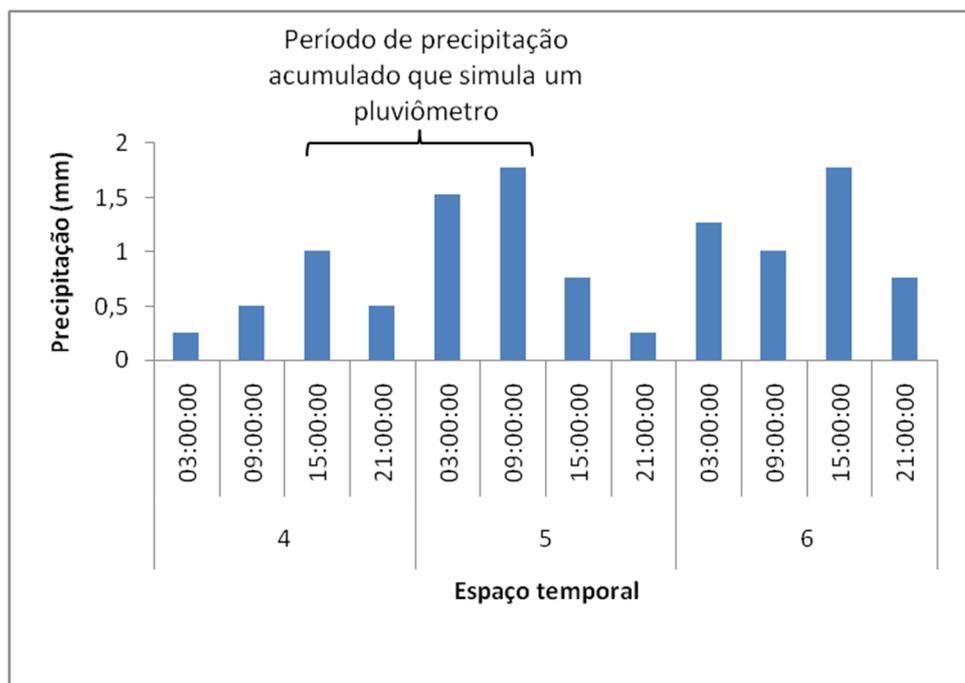
Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Agregação e desagregação de dados diários de precipitação

Na bacia experimental não se dispunha de dados pluviométricos pelo fato de na região dispor apenas de estações pluviográficas, diante disso, foi necessário acumular os dados instantâneos para a escala diária (24 horas) simulando um pluviômetro.

A medição da precipitação de um pluviômetro é feita as 9:00 da manhã, onde representa a precipitação daquele dia onde foi registrado a precipitação. Com isso foi necessário acumular os dados de precipitação instantânea para simular um pluviômetro conforme a Figura 5.

Figura 5- Agregação dos dados pluviográficos para simular uma estação pluviométrica



Fonte: Elaborado pelo autor

Porém, para poder gerar a curva IDF é necessário desagregar a precipitação diária em escalas subdiárias, com isso encontrando-se a precipitação que ocorreu em um período de tempo definido.

Os dados pluviométricos foram desagregados segundo a tabela de desagregação da CETESB, Tabela 3, que é muito utilizado para desagregar dados de pluviômetros em escala subdiária.

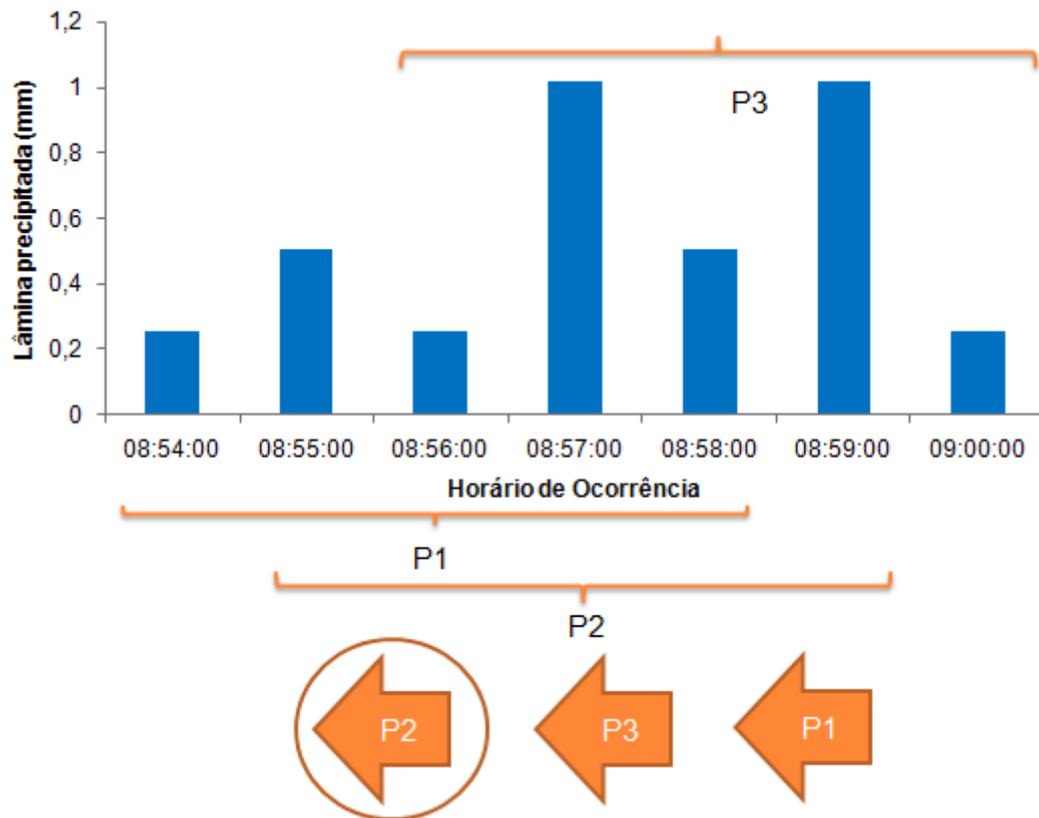
4.4 Agregação dos dados pluviográficos

A agregação dos dados provenientes das estações pluviográficas foram realizados por uma planilha em Excel utilizando o recurso de programação do *Visual Basic for Application* (VBA) de modo a automatizar essa agregação.

Com isso, a agregação dos dados de precipitação foi feita de modo que para cada duração, foram-se determinadas as lâminas que proporcionassem a maior precipitação com aquela duração específica.

Na Figura 6 pode-se ver que teria-se 3 opções (P1, P2 e P3) de agregar um subevento de 5 min dentro deste evento de 8 min, porém é escolhido aquele que continuamente obtiver a maior lâmina de duração especificada (P2), no caso de 5 min.

Figura 6- Intervalo de maior precipitação para uma duração de 5 min em um evento de 7 min.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a construção da equação IDF necessita-se das intensidades máximas em períodos de tempos definidos, estes são 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. Visto que os dados de precipitação são instantâneos, estes foram agregados para estes intervalos de tempo.

Poderia-se acumular a precipitação em mais períodos de duração por se tratar de dados de precipitação instantânea, porém como a tabela de desagregação possui apenas estes valores, foi-se acumulado para estes mesmos valores de forma que não possua diferenças na construção das curvas que não seja a origem dos dados.

4.5 Aplicação da distribuição de Gumbel à série de dados

Após a agregação dos dados em seus intervalos de tempo fixados com já especificado anteriormente, procura-se ajustar estes dados a uma distribuição de probabilidade a fim de prever eventos que venham ocorrer em um grande período de recorrência.

Como já visto anteriormente, a distribuição de Gumbel se adéqua bem a séries extremas de dados de variáveis hidrológicas, como a máxima precipitação diária. Assim procurou-se ajustar a série de 12 anos da bacia.

Para verificar a adequação da função de probabilidade, primeiro ordena-se os dados em ordem crescente de precipitação máxima diária no caso de dados pluviométricos e de precipitação máxima para cada duração escolhida das estações pluviográficas.

De posse destes dados ordenados, calcula-se a sua frequência dentro da série de dados a partir da seguinte expressão:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \quad (7)$$

Onde “m” é ordem do dado na série e “n” é o número total de dados da série.

Com a frequência do evento, pode-se calcular o período de retorno, que é o inverso da frequência, calculado pela expressão,

$$T = 1/P \quad (8)$$

Onde T é o período de retorno em anos; P é a frequência de ocorrência do evento.

De posse do período de retorno, pode-se calcular a variável reduzida de Gumbel que é utilizada na distribuição, esta é dada pela expressão,

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (9)$$

Onde y é a variável reduzida da distribuição; T é o período de retorno em anos.

Calculam-se então a média e o desvio padrão das variáveis reduzidas calculadas para cada período de retorno, e assim calcula-se a variável reduzida da série de precipitação, isto pelas seguintes expressões:

$$y = \frac{(P-xf).Sy}{Sp} \quad (10)$$

$$xf = \frac{(Xmed-Sp).ymed}{Sy} \quad (11)$$

Onde P é a precipitação naquele ano, Sy é o desvio padrão amostral da variável y de Gumbel, Sp é o desvio padrão amostral da precipitação ao longo dos anos, Xmed é a média da precipitação, ymed é a média das variáveis reduzidas de Gumbel.

Com a variável reduzida da série, calculam-se a frequência e o período de retorno de Gumbel, dados pelas expressões abaixo respectivamente:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (12)$$

$$T = 1/P \quad (13)$$

Com isto calcula-se o parâmetro K , para cada valor de precipitação, dado pela expressão abaixo:

$$K = \frac{(y - y_n)}{S_n} \quad (14)$$

onde y é a variável reduzida da série de dados; y_n é a média das variáveis reduzidas de Gumbel; S_n é o desvio padrão das variáveis reduzidas da série de Gumbel.

Para verificar se a distribuição de Gumbel pode ser aplicada à série de dados de precipitação, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv. Calcula-se as estatísticas mostradas nas equações (15) e (16). Estas estatísticas medem as distâncias (vertical) entre os gráficos das duas funções, teórica e empírica.

$$DN+ = |F(x_i) - F_n(x_i)| \quad (15)$$

$$DN- = |F(x_i) - F_n(x_{i-1})| \quad (16)$$

onde $F(x_i)$ é a frequência de Gumbel calculada; $F_n(x_i)$ é a frequência da série de dados de precipitação calculadas. Estas expressões calculam a distância entre os gráficos das duas funções, para que com isso possa-se avaliar a diferença entre as duas funções.

Determina-se o $D_{crítico}$, que é o valor que determinará se a hipótese de normalidade dos dados será rejeitada ou aceita, este valor é retirado da Tabela 8, onde este depende do tamanho da série e do nível de significância.

Como a série estudada tem 13 anos de dados, resolveu-se adotar o nível de significância de 0,01 onde pela tabela obtivemos o valor de 49% para avaliar a aderência da nossa série a distribuição normal de Gumbel.

Com estes dados, monta-se uma tabela no Excel como na Tabela 8, a fim de analisar e facilitar os cálculos e de organizar os dados. As equações são inseridas na planilha calculando-se as variáveis necessárias à análise.

Tabela 8- Níveis de significância para diferentes tamanhos de amostras

n	Nível de Significância α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
Valores maiores	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Fonte: Portal Action

Caso os valores de DN+ e DN- sejam menores que o Dcrítico temos que a amostra adere à distribuição de Gumbel, podendo assim, os valores de precipitação para períodos de recorrência superiores ao período de dados serem calculados por uma extrapolação de dados.

No caso dos dados pluviométricos esta análise foi feita para os dados diários de cada ano da análise de dados. Porém para os dados pluviográficos, como há os períodos de tempos definidos no item 4.4 de precipitação acumulada, ou seja, há a precipitação máxima para cada ano com as durações definidas.

4.6 Geração das curvas IDF

Para geração das curvas IDF, foi verificada a aderência dos dados observados de precipitação à distribuição de Gumbel, assim, foi utilizada apenas a distribuição de Gumbel, a fim de prever precipitações para tempos de recorrência definidos no item 4.4.

4.6.1 Dados Pluviométricos

A construção da curva IDF é um processo que necessita de várias variáveis e processos de cálculos. Para obter as curvas, necessitam-se primordialmente da intensidade da precipitação para as durações e períodos de retorno definidos, após isto, utiliza-se apenas um processo de ajuste de uma curva aos dados.

Para obter os dados de intensidade, primeiramente, calcula-se a precipitação diária para cada período de retorno deve ser calculada pela distribuição de Gumbel, já que os dados se adequam a esta de forma aceitável.

Para o cálculo da precipitação por Gumbel, precisa-se calcular um parâmetro K, este que depende apenas das variáveis da distribuição de Gumbel e do período de retorno que se deseja calcular, o que permite encontrar as precipitações para períodos de retorno maiores que a série de dados.

A variável K é calculada pela expressão,

$$K = \frac{-\ln[-\ln(\frac{T-1}{T}) - Y_n]}{S_n} \quad (17)$$

Onde T é o ano referente ao período de retorno que se deseja calcular a precipitação, Y_n é a média da variável reduzida de Gumbel e S_n o desvio padrão da variável reduzida de Gumbel.

Com isso, pode-se calcular a precipitação diária para cada período de retorno desejado, no caso 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Esta precipitação é calculada pela expressão,

$$P = X_{med} + K \cdot S_p \quad (18)$$

Calculadas todas as precipitações, aplica-se a tabela de desagregação da CETESB em busca de encontrar a precipitação para cada duração definida e para cada período de retorno desejado. Assim, tendo a precipitação e a duração, calcula-se a intensidade para cada duração e período de retorno. Para melhor organização dos dados, estes foram dispostos em uma planilha no Excel.

A equação da curva IDF gerada para a BERG é dada pela equação,

$$i = \frac{k \cdot T^m}{(t+b)^n} \quad (19)$$

Onde i é a intensidade da precipitação que se deseja calcular, T o período de retorno, t a duração do evento de precipitação, k, m, n e b são parâmetros que deve-se calibrar.

Como a equação da curva IDF é uma equação exponencial, podem-se aplicar as propriedades que relacionam as equações potenciais com as logarítmicas. Para isso, foi chamado o denominador da equação de uma variável C , tendo-se assim a seguinte equação:

$$i = \frac{C}{(t+b)^n} \quad (20)$$

Onde $C = k \cdot T^m$.

Aplicando-se as propriedades matemáticas na equação (19), temos,

$$\log i = \log C - n \log(t + b) \quad (21)$$

$$\log C = \log K + m \log T \quad (22)$$

Pode-se observar que a expressão (21) é uma reta linear ($Y=Ax+B$) onde não são conhecidos os coeficientes n e $\log C$, fazendo uma analogia a equação da reta tem que $A = n$ e $B = \log C$. O parâmetro b é encontrado pelo método de tentativa e erro, sendo este valor o que mais lineariza a reta. Como haviam os outros dados, aplicou-se uma regressão linear encontrando-se assim estes valores de $\log C$ e n .

Com o valor do $\log C$ sendo conhecido, aplicou-se este parâmetro na equação (22) e com mais uma regressão linear foram encontrados os valores de m e $\log K$, logo se encontraram os valores de m e K , achando-se assim todos os parâmetros necessários.

Como esses parâmetros foram calculados no Excel, o método de encontrar o parâmetro b foi por tentativas e erros, porém o mesmo não foi feito manualmente, foi utilizado o comando Solver no Excel, onde este altera os valores automaticamente. Todos os parâmetros foram deixados em função de b e ao final do processo aplica-se o solver para encontrar o valor de b , que melhor aproxima os valores de intensidade encontrados pela distribuição de Gumbel e os gerados pelas curvas.

Para avaliar quão melhor os valores de intensidade se aproximam, foi utilizado o coeficiente estatístico de Nash-Sutcliffe, dado pela seguinte expressão,

$$N = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Eo - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Eo - \overline{Es})^2} \quad (23)$$

Onde Eo é o evento observado, Es é o evento simulado, \overline{Es} é a média dos eventos simulados, n é o número de eventos. Este coeficiente pode variar de menos infinito até 1, sendo o valor 1 o perfeito ajuste.

4.6.2 Dados Pluviográficos

O processo para gerar a curva IDF com os dados pluviográficos é semelhante ao com dados pluviométricos, diante disto, mostra-se neste tópico apenas o processo que se difere do já discorrido no item 4.6.1.

Como os dados pluviográficos foram agregados para as durações definidas anteriormente, já se dispunha da precipitação máxima por ano para cada duração, e como visto anteriormente.

Logo, para a precipitação máxima anual de cada duração, é calculado o parâmetro K para todos os períodos de retorno, e em seguida foram calculadas as precipitações para cada duração. Encontrada essa precipitação, foi calculada a intensidade de todas as durações com todos os períodos de retorno.

Chegando nesta etapa, para a determinação da curva IDF segue o mesmo processo dos dados pluviométricos.

4.7 Desenvolvimento da tabela de desagregação para a bacia experimental do riacho Guaraíra

Para a geração da tabela de desagregação da bacia experimental do riacho Guaraíra foram utilizados os dados de precipitação instantâneos, a cada minuto, proveniente das estações pluviográficas como base, já aplicados a distribuição de Gumbel para extensão da série de dados.

Foram utilizados os dados de precipitação máximas diárias obtidos pela distribuição de Gumbel para cada período de retorno. Com estes dados, os coeficientes de desagregação foram calibrados de modo que os dados desagregados correspondam aos reais medidos na bacia.

Para isto foram montadas no Excel duas tabelas, uma com os dados de precipitação máximos medidos para cada duração e outra com os dados de precipitação máximas diárias. Foi utilizada a função Solver para calibrar os coeficientes de desagregação, de forma que o coeficiente de NASH entre os dados seja o melhor possível, de modo que os dados estimados representem os dados medidos na bacia experimental. Este procedimento é semelhante ao utilizado para o cálculo do parâmetro b da curva IDF citado anteriormente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Geração das curvas IDF

Antes da geração da curva IDF é necessária uma série de variáveis e parâmetros que devem ser calculados.

5.1.1 Aplicação da distribuição de Gumbel

Com os dados diários de precipitação foi aplicado a distribuição de Gumbel, calculando-se todas as variáveis necessárias. Foi aplicada a distribuição pra precipitação diária como pode ser visto na Tabela 9.

Na Tabela 9 pode-se observar que o DN crítico é maior que o DN máx, o maior entre DN+ e DN-, logo a série adere bem a distribuição de Gumbel. Na Figura 7 pode-se observar graficamente a aderência.

Tabela 9- Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados diários de precipitação

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS - DISTRIBUIÇÃO GUMBEL												
DADOS DE ENTRADA			GUMBEL				DADOS PRECIPITAÇÃO				TESTE ADERÊNCIA	
Ordem	Ano	Prec. Obs.	$P=m/(n+1)$	$T = 1/P$	γ - Gumbel	K	γ	K	P	T	DN+	DN-
1	2011	137,16 mm	8,33%	12,00	2,442	2,007	2,115	1,669	11,36%	8,80	3,03%	11,36%
2	2007	125,73 mm	16,67%	6,00	1,702	1,243	1,599	1,136	18,30%	5,47	1,63%	9,96%
3	2003	123,19 mm	25,00%	4,00	1,246	0,771	1,484	1,018	20,28%	4,93	4,72%	3,61%
4	2005	111,56 mm	33,33%	3,00	0,903	0,417	0,959	0,475	31,82%	3,14	1,51%	6,82%
5	2013	109,72 mm	41,67%	2,40	0,618	0,122	0,876	0,389	34,05%	2,94	7,62%	0,72%
6	2008	101,34 mm	50,00%	2,00	0,367	-0,138	0,498	-0,001	45,54%	2,20	4,46%	3,87%
7	2006	93,22 mm	58,33%	1,71	0,133	-0,379	0,132	-0,380	58,38%	1,71	0,05%	8,38%
8	2004	85,09 mm	66,67%	1,50	-0,094	-0,614	-0,235	-0,760	71,78%	1,39	5,12%	13,45%
9	2010	84,58 mm	75,00%	1,33	-0,327	-0,854	-0,258	-0,783	72,60%	1,38	2,40%	5,94%
10	2009	80,77 mm	83,33%	1,20	-0,583	-1,119	-0,430	-0,961	78,51%	1,27	4,82%	3,51%
11	2014	62,73 mm	91,67%	1,09	-0,910	-1,457	-1,245	-1,803	96,89%	1,03	5,23%	13,56%

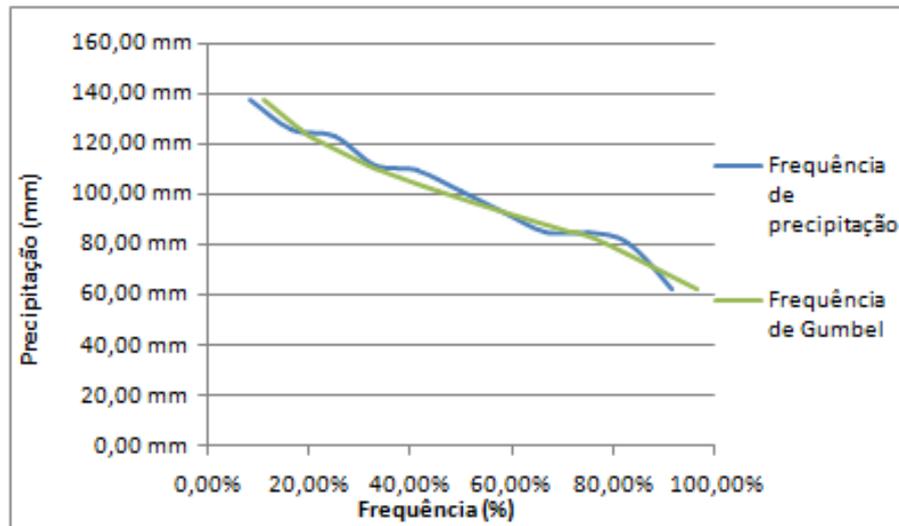
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10- Teste de aderência da série de dados de precipitação diária a distribuição de Gumbel

DN+	7,62%
DN-	13,56%
DN máx	13,56%
DN crít. $\alpha=0,01$	49,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7- Aderência da série de dados diários de precipitação à distribuição de Gumbel.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com os dados pluviográficos de precipitação, também foi aplicada a distribuição de Gumbel, calculando-se todas as variáveis necessárias. Foi aplicada a distribuição para precipitação diária como pode ser visto na Tabela 11 o exemplo para duração de 5 min. O mesmo foi feito para todas as durações.

Na Tabela 12 pode-se observar que o DNcrítico é maior que o DNmáx, o maior entre DN+ e DN-, logo a série adere bem a distribuição de Gumbel. Na Figura 8 pode-se observar graficamente a aderência.

Tabela 11-Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados subdiários de precipitação

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS - DISTRIBUIÇÃO GUMBEL- 5min												
DADOS DE ENTRADA			GUMBEL				DADOS PRECIPITAÇÃO				TESTE ADERÊNCIA	
Ordem	Ano	Prec. Obs.	$P=m/(n+1)$	$T = 1/P$	γ - Gumbel	K	γ	K	P	T	DN+	DN-
1	2003	12,19 mm	7,69%	13,00	2,525	2,056	2,738	2,273	6,26%	15,96	1,43%	6,26%
2	2009	9,91 mm	15,38%	6,50	1,789	1,308	1,343	0,854	22,98%	4,35	7,59%	15,28%
3	2015	9,65 mm	23,08%	4,33	1,338	0,849	1,188	0,696	26,27%	3,81	3,20%	10,89%
4	2010	9,65 mm	30,77%	3,25	1,000	0,505	1,188	0,696	26,27%	3,81	4,50%	3,20%
5	2011	9,14 mm	38,46%	2,60	0,723	0,223	0,878	0,381	34,00%	2,94	4,46%	3,24%
6	2013	8,89 mm	46,15%	2,17	0,480	-0,024	0,723	0,223	38,45%	2,60	7,71%	0,02%
7	2004	7,87 mm	53,85%	1,86	0,257	-0,250	0,103	-0,407	59,43%	1,68	5,58%	13,27%
8	2014	7,62 mm	61,54%	1,63	0,046	-0,466	-0,052	-0,565	65,12%	1,54	3,58%	11,27%
9	2006	7,11 mm	69,23%	1,44	-0,164	-0,679	-0,362	-0,880	76,21%	1,31	6,98%	14,68%
10	2008	7,11 mm	76,92%	1,30	-0,383	-0,901	-0,362	-0,880	76,21%	1,31	0,71%	6,98%
11	2007	6,86 mm	84,62%	1,18	-0,627	-1,150	-0,517	-1,038	81,30%	1,23	3,31%	4,38%
12	2005	6,35 mm	92,31%	1,08	-0,942	-1,470	-0,827	-1,353	89,84%	1,11	2,47%	5,22%

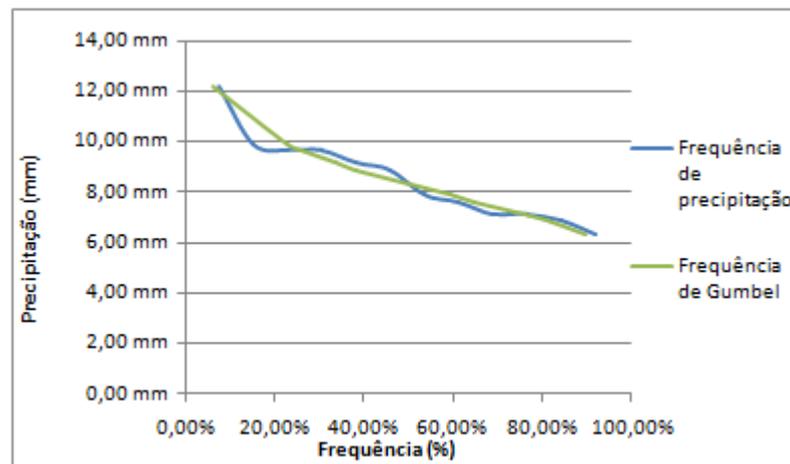
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12-Teste de aderência da série de dados de precipitação subdiária a distribuição de Gumbel

DN+	7,71%
DN-	15,28%
Dn _{máx}	15,28%
DN _{crít.α=0,01}	49,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8-Aderência da distribuição da série de dados subdiários de precipitação a distribuição de Gumbel.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como as séries se adéquam a distribuição, pode-se calcular a precipitação, e a partir da precipitação a intensidade. Com isso calcula-se a variável K com a equação(17) e em seguida aplicamos a equação (18) para o cálculo da precipitação, e dividindo-se pela duração a intensidade.

Na Tabela 13 pode-se ver o cálculo da intensidade a partir dos dados pluviométricos. Na Tabela 14 foram calculadas as intensidades de todas as durações dos dados pluviográficos. Neste caso, aplicou-se a equação (18) para cada duração achando-se assim a intensidade.

Tabela 13-Cálculo da intensidade dos dados pluviométricos a partir dos dados da distribuição de Gumbel

		TR (Tempo de recorrência):					
		2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
		K (Parâmetro de Gumbel):					
		-0,138	1,034	1,809	2,789	3,516	4,238
		Precipitação média diária (mm/d):					
		98,4	123,5	140,2	161,2	176,7	192,2
Coefficiente de desagregação	t (min)	i (mm/h)					
0,34	5	142,3	178,6	202,6	233,0	255,5	277,9
0,54	10	113,0	141,8	160,9	185,0	202,9	220,7
0,70	15	97,6	122,6	139,0	159,9	175,3	190,7
0,81	20	84,7	106,4	120,7	138,8	152,2	165,5
0,91	25	76,2	95,6	108,5	124,7	136,8	148,7
0,74	30	69,7	87,5	99,3	114,2	125,2	136,2
0,42	60	47,1	59,1	67,1	77,2	84,6	92,0
0,72	360	13,5	16,9	19,2	22,0	24,2	26,3
0,78	480	10,9	13,7	15,6	17,9	19,6	21,4
0,82	600	9,2	11,5	13,1	15,1	16,5	18,0
0,85	720	7,9	10,0	11,3	13,0	14,3	15,5
1,14	1440	4,7	5,9	6,7	7,7	8,4	9,1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14-Cálculo da intensidade dos dados pluviográficos a partir dos dados da distribuição de Gumbel

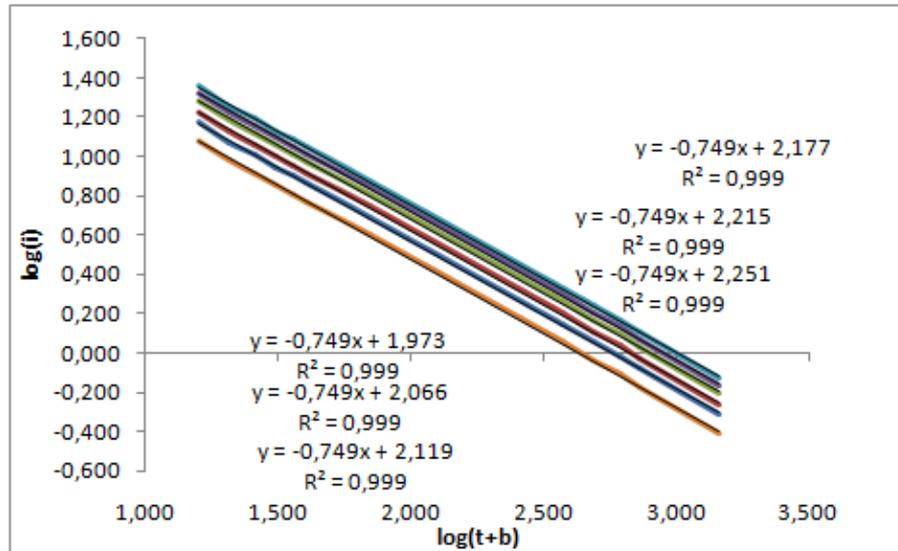
		TR:					
		2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
t (min)	i (mm/h)						
5	99,7	122,0	136,7	155,4	169,2	182,9	
10	88,1	109,4	123,5	141,3	154,5	167,6	
15	76,4	96,9	110,5	127,7	140,4	153,0	
20	68,3	88,4	101,8	118,6	131,1	143,5	
25	62,9	83,0	96,2	113,0	125,4	137,8	
30	58,4	77,3	89,7	105,5	117,2	128,9	
60	38,8	51,4	59,7	70,1	77,9	85,6	
360	14,3	18,2	20,8	24,1	26,5	28,9	
480	11,5	14,2	16,0	18,3	19,9	21,6	
600	9,8	11,8	13,2	15,0	16,2	17,5	
720	8,6	10,4	11,6	13,1	14,2	15,3	
1440	5,3	6,7	7,7	9,0	9,9	10,8	

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.2 Cálculo das variáveis da curva IDF

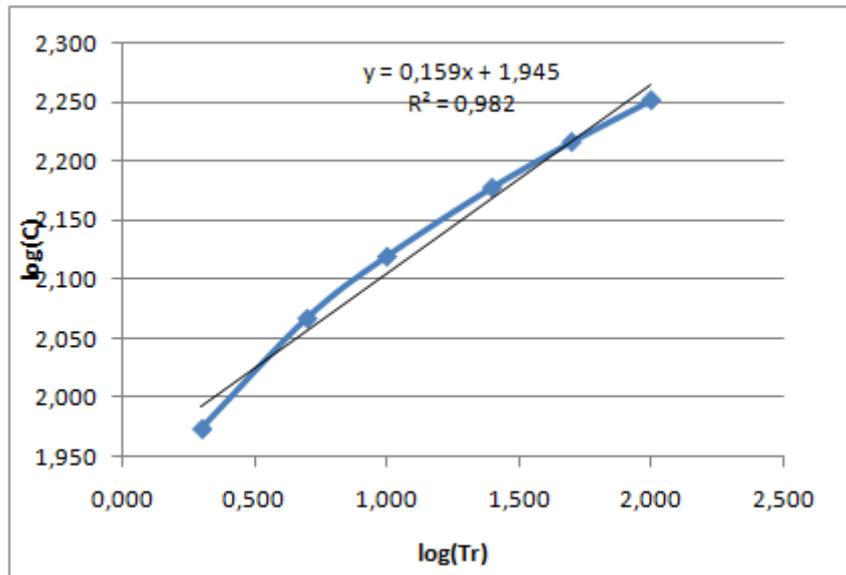
O cálculo das variáveis n e b para a intensidade dos dados pluviométricos pode ser visto na Figura 9 e os parâmetros K e m na Figura 10. O parâmetro b foi obtido tendo um coeficiente de NASH de 0,997.

Figura 9- Regressão linear para definir os parâmetros n e b da equação para os dados pluviométricos



Fonte: Elaborado pelo autor

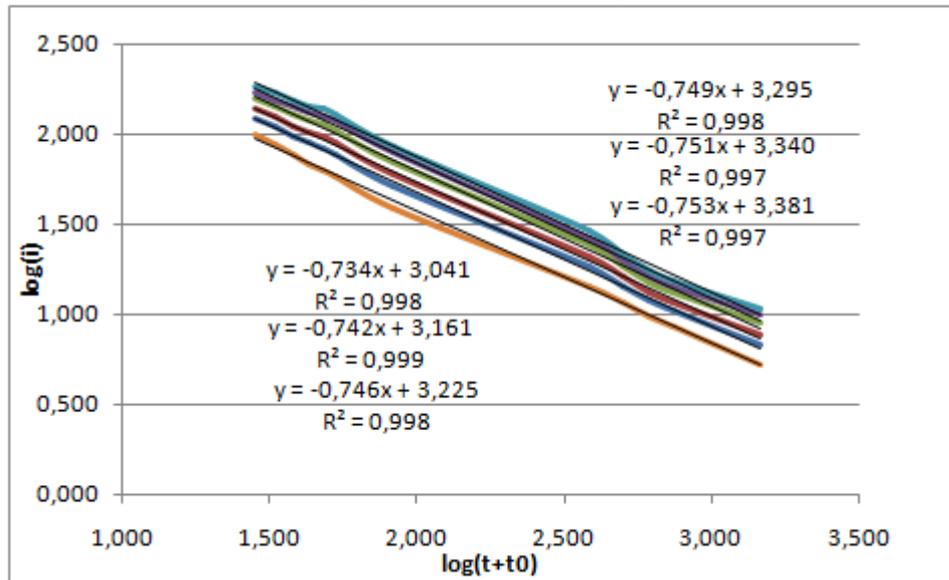
Figura 10- Regressão linear para definir os parâmetros K e m da equação para os dados pluviométricos



Fonte: Elaborado pelo autor

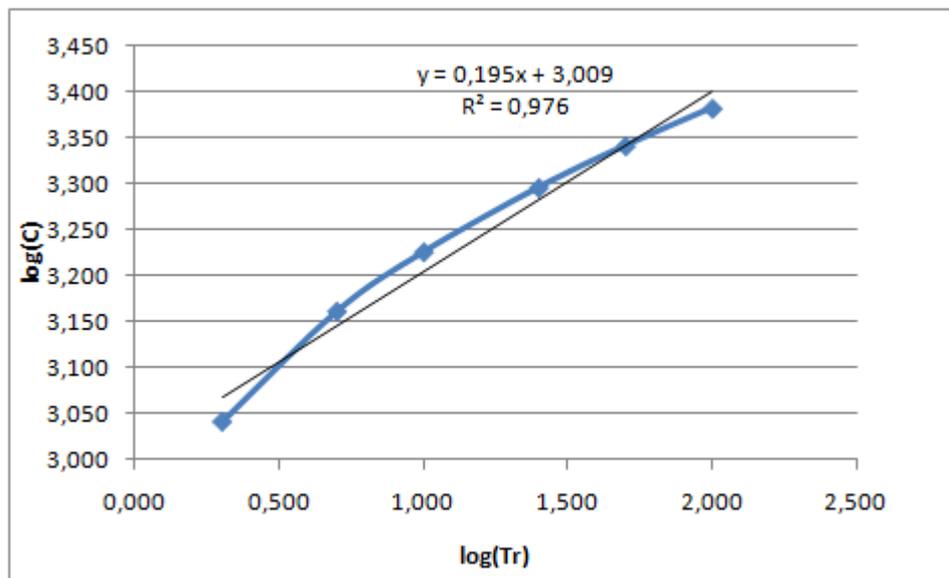
O cálculo das variáveis n e b para a intensidade dos dados pluviográficos pode ser visto na Figura 11 e os parâmetros K e m na Figura 12. O parâmetro b foi obtido tendo um coeficiente de NASH de 0,978.

Figura 11-Regressão linear para definir os parâmetros n e b da equação para os dados pluviográficos



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12-Regressão linear para definir os parâmetros K e m da equação para os dados pluviográficos



Fonte: Elaborado pelo autor

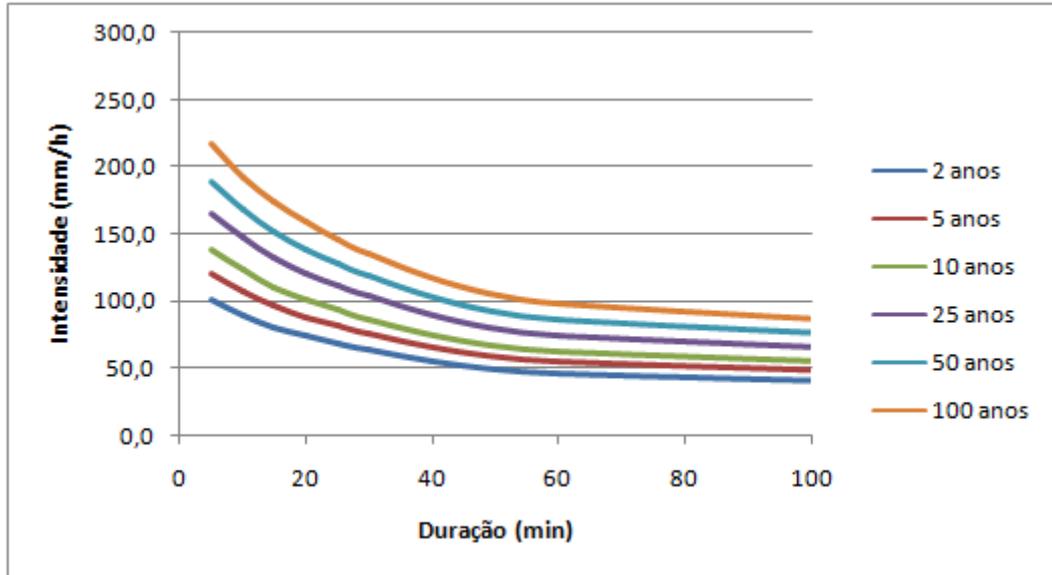
Com isso, foram geradas as curvas IDF para os dados e as seguintes curvas foram obtidas:

$$i = \frac{1044,40.T^{0,1674}}{(t+10,8094)^{0,7491}} \quad (24)$$

$$i = \frac{1022,93.T^{0,1953}}{(t+23,1414)^{0,7344}} \quad (25)$$

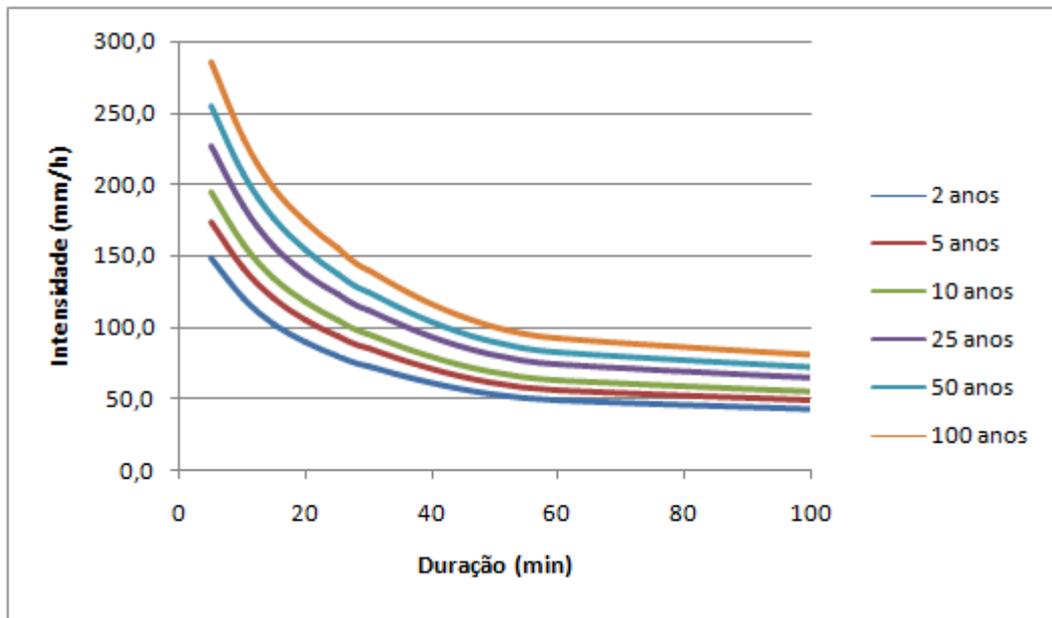
A primeira equação foi obtida a partir dos dados pluviométricos que foi chamada de IDFpm. A segunda foi obtida a partir dos dados pluviográficos, que foi chamada de IDFpg a partir deste momento.

Figura 13- IDFpg: Curva IDF gerada a partir de dados pluviográficos



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 14- IDFpm: Curva IDF gerada a partir de dados pluviométricos



Fonte: Elaborada pelo autor

Em uma análise preliminar e visual, pode-se ver que a curva IDFpm gera dados com maiores intensidades para durações menores que a IDFpg para todos os períodos de retorno. A curva IDFpm gera dados de intensidade de até 285 mm/h, já os dados da IDFpg não passa de 220 mm/h, para o período de retorno igual a 100 anos e duração de 5 min.

5.2 Análise das intensidades geradas pelos dois conjuntos de curvas

Neste tópico foram analisadas as diferenças entre as intensidades geradas pelas curvas IDF para o mesmo período de retorno (T) e a mesma duração (b) e verificado a magnitude destas diferenças.

Neste estudo foi considerado que a curva IDFpg é a de referência, pois ela foi gerada a partir de dados pluviográficos que medem chuva instantânea. Deste forma, os dados que foram utilizados são os reais, que observados no campo, enquanto os dados da IDFpm são dados estimados, como explicado anteriormente.

Pode-se ver na Tabela 15 que em todos os tempos de recorrência para durações até 30 min do evento chuvoso, a intensidade da IDFpg é sempre superestimada, tendo valores menores que os gerados pela IDFpm.

Já para intensidades maiores que 360 min, as intensidades da IDFpg são subestimadas. Para a duração de 60 min, quando o tempo de recorrência é baixo superestima e quando é alto subestima.

Tabela 15-Superestimação e subestimação das intensidades geradas a partir das curvas IDFpm e IDFpg

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	↑	↑	↑	↑	↑	↑
10	↑	↑	↑	↑	↑	↑
15	↑	↑	↑	↑	↑	↑
20	↑	↑	↑	↑	↑	↑
25	↑	↑	↑	↑	↑	↑
30	↑	↑	↑	↑	↑	↑
60	↑	↑	↑	↓	↓	↓
360	↓	↓	↓	↓	↓	↓
480	↓	↓	↓	↓	↓	↓
600	↓	↓	↓	↓	↓	↓
720	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1440	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Legenda		Superestima		Subestima		
		↑		↓		

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 16 podem ser vistas classes da diferença absoluta “d” entre as intensidades obtidas pelas curvas, para os mesmos períodos de recorrência e durações.

Tabela 16-Diferença absoluta entre as intensidades das curvas IDFpm e IDFpg

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5						
10						
15						
20						
25						
30						
60						
360						
480						
600						
720						
1440						
Legenda	d > 50 mm/h 	> d > 35 mm/h 	> d > 15 mm/h 	> d > 7,5 mm/h 	d < 7,5 mm/h 	

Fonte: Elaborado pelo autor

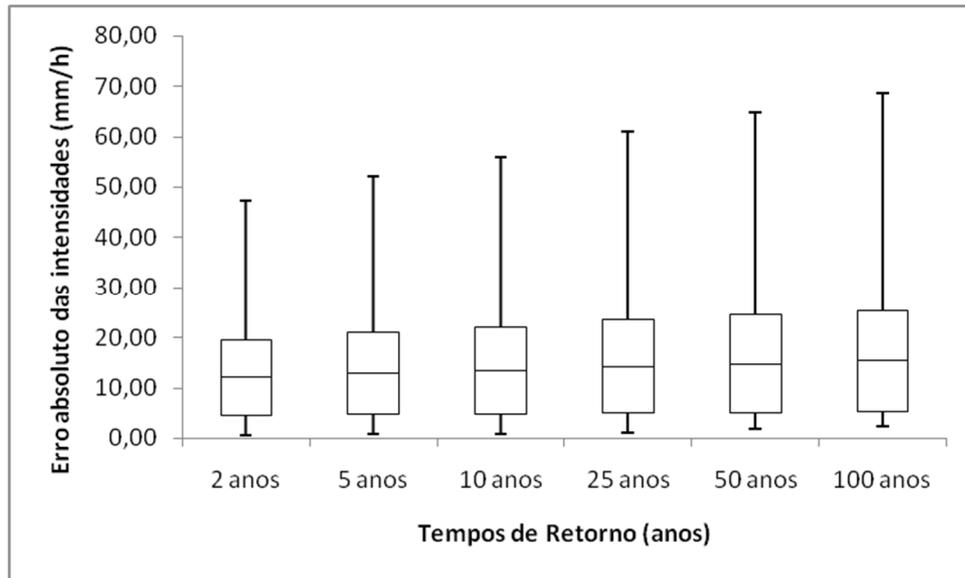
Mantendo o período de retorno constante, tem-se que para pequenas durações o erro absoluto tem uma magnitude bem alta, enquanto que para grandes durações, o erro é bem pequeno.

Com a duração constante, pode-se ver que ao aumentar o período de retorno, aumenta-se o erro para as durações de até 15 min. Para as demais durações, ao aumentar o período de retorno o erro tende a reduzir.

Quando são comparadas as Tabela 15 e Tabela 16, pode-se ver que, o período que superestima é o que os erros são mais elevados, já o período de subestimação os erros são mais baixos. Ou seja, quando superestima, geralmente é muito, quando subestima, normalmente é pouco.

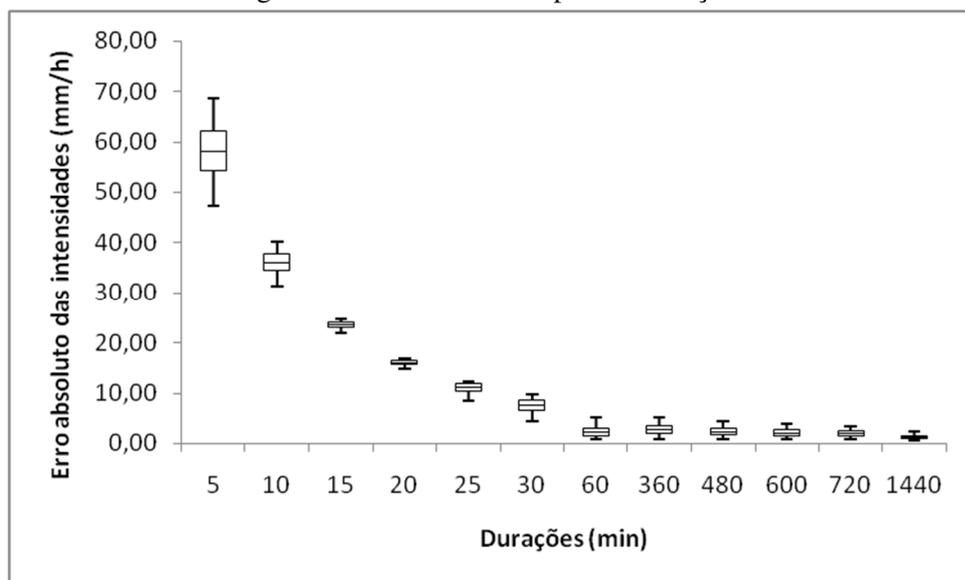
Para entender melhor como se comportam os erros absolutos, podem-se ver nas Figura 15 e Figura 16 que mostram o comportamento dos erros para as durações e os períodos de retorno.

Figura 15- Erros absolutos para os períodos de retorno



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16- Erros absolutos para as durações



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 15, para os períodos de retorno pode-se verificar que as médias dos erros absolutos estão bem semelhantes, cerca de 12 mm/h, isto mostra que a média dos erros das durações praticamente não depende do período de retorno analisado.

Assim como as médias, os desvios padrões têm basicamente a mesma variação independente do período de retorno analisado. Da mesma forma, o valor do erro mínimo não varia com o período de retorno, sendo um valor de praticamente zero.

Pode-se ver que, o valor máximo do erro absoluto varia com o período de retorno, quando aumenta o período de retorno, aumenta-se o erro máximo. Isso pode se dar ao fato de que, a série utilizada é muito curta para estimar intensidade grandes períodos de retorno, porém para pequenos períodos de retorno também se verifica erros altíssimos.

Na Figura 16 pode-se ver que, os erros, como visto anteriormente, são mais elevados para as pequenas durações, sendo que as durações de 10 min e 15 min possuem erros de maiores magnitudes quando comparado as outras

Estes erros de maiores magnitudes nestas durações, podem estar relacionados ao fato que a tabela de desagregação para pequenas durações não ter coeficientes de desagregação adequados. Os erros e os coeficientes podem ser vistos na Tabela 17.

Tabela 17-Faixas de comparação entre os erros absolutos das intensidades em mm/h e os coeficientes de desagregação de precipitação diária

t (min)	TR:						R
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	
5							0,34
10							0,54
15							0,70
20							0,81
25							0,91
30							0,74
60							0,42
360							0,72
480							0,78
600							0,82
720							0,85
1440							1,14
Legenda	d > 50 mm/h	50 mm/h > d > 35 mm/h	35 mm/h > d > 15 mm/h	15 mm/h > d > 7,5 mm/h	d < 7,5 mm/h		
Legenda							
	Bom	Regular	Ruim				

Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso, quando da elaboração um projeto de alguma obra hidráulica, que se precise de intensidades para durações baixas e se dispõe apenas de dados pluviométricos, pode-se estar cometendo um erro muito grande com o valor da intensidade, sendo este superestimado, podendo assim aumentar a sua estrutura desnecessariamente.

5.3 Comparação entre os dados de intensidades reais e os obtidos pela da equação IDF

As intensidades utilizadas para calibrar a equação IDF são obtidas a partir da distribuição de Gumbel como visto anteriormente. A partir destes dados, calibra-se a curva que melhor se adequará a estes dados de intensidade através de uma fórmula matemática. Neste item foi analisado a eficiência da equação em representar estes dados de intensidade obtidos da distribuição de Gumbel.

5.3.1 Eficiência da IDFpg na representação dos dados

Para isto, foram gerados todos os dados para cada período de retorno e duração pelas curva IDFpg e comparado com os dados obtidos da distribuição de Gumbel, e ver se os dados são equivalentes ou se possuem erros elevados.

Vamos considerar que os dados da distribuição de Gumbel, apesar de já ser uma estimacão dos dados de intensidades reais, estes são os dados corretos, e os dados gerados pela IDF são os estimados.

Tabela 18-Subestimacão e superestimacão da intensidade da distribuicão de Gumbel e a intensidade gerada pela IDFpg.

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	↑	↓	↑	↑	↑	↑
10	↑	↓	↓	↑	↑	↑
15	↑	↓	↑	↑	↑	↑
20	↑	↓	↓	↑	↑	↑
25	↑	↓	↓	↓	↑	↑
30	↑	↓	↓	↓	↑	↑
60	↑	↑	↑	↑	↑	↑
360	↑	↓	↓	↑	↑	↑
480	↑	↑	↑	↑	↑	↑
600	↑	↑	↑	↑	↑	↑
720	↑	↑	↑	↑	↑	↑
1440	↑	↓	↓	↑	↑	↑
Legenda	SUBESTIMANDO		SUPERESTIMANDO			
	↓		↑			

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 18 pode-ser ver que, não há uma regra ou tendênciade subestimar e superestimar os valores de intensidade. Porém para os períodos de retorno altos, 50 e 100

anos, os dados de intensidade apenas superestimam. Já para os períodos de retorno de 5 e 10 anos são os que possuem mais subestimação.

Pode-se pensar que a partir do momento que os dados são superestimados, os valores de intensidades estariam a favor da segurança para utilização em projetos. Porém, se este erro for muito grande, isso acarretaria no superdimensionamento da estrutura.

Tabela 19- Erros absolutos entre as intensidades da precipitação (em mm/h) da distribuição de Gumbel e da IDFpg

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	1,33	1,17	1,59	10,05	20,20	33,93
10	1,46	2,25	0,81	5,44	13,51	24,76
15	4,35	0,32	0,11	4,64	11,10	20,43
20	5,49	0,18	0,72	2,24	7,26	14,92
25	5,18	1,52	2,99	1,49	2,24	8,40
30	4,94	1,52	3,03	1,82	1,51	7,10
60	6,75	3,16	2,76	4,51	7,56	12,23
360	0,56	0,45	0,47	0,23	1,32	2,94
480	0,67	0,34	0,65	1,64	2,84	4,48
600	0,63	0,59	1,01	2,05	3,23	4,77
720	0,54	0,53	0,93	1,87	2,92	4,30
1440	0,30	0,10	0,13	0,12	0,51	1,11

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 19 podemos ver que os erros até o período de retorno de 25 anos são aceitáveis, já para os períodos de retorno de 50 e 100 anos, para pequenas durações podemos ver que os erros são bem consideráveis, chegando a 33,23 mm.

Porém ao analisar os erros relativos, Tabela 20, podemos ver que os erros relativos são bem variáveis, e que se concentram nos maiores períodos de retorno, porém para pequenas e grandes durações. Como possuímos valores de quase 30% de erro relativo, deve-se ter cautela ao utilizar estes dados.

Tabela 20-Erros relativos entre as intensidades da distribuição de Gumbel e da IDFpg

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	1,33%	0,96%	1,16%	6,47%	11,94%	18,55%
10	1,66%	2,06%	0,65%	3,85%	8,75%	14,78%
15	5,70%	0,33%	0,10%	3,64%	7,91%	13,35%
20	8,04%	0,21%	0,71%	1,88%	5,54%	10,39%
25	8,24%	1,84%	3,11%	1,32%	1,78%	6,09%
30	8,46%	1,97%	3,38%	1,72%	1,29%	5,51%
60	17,40%	6,15%	4,63%	6,44%	9,70%	14,29%
360	3,95%	2,47%	2,28%	0,95%	4,97%	10,15%
480	5,85%	2,39%	4,07%	8,99%	14,26%	20,71%
600	6,50%	4,96%	7,63%	13,73%	19,87%	27,20%
720	6,34%	5,15%	8,01%	14,32%	20,60%	28,09%
1440	5,63%	1,54%	1,63%	1,33%	5,20%	10,24%

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2 Influência da IDFpm na representação dos dados

Da mesma forma da análise da IDFpg foi feita a análise para a intensidade gerada pela IDFpm. Da mesma forma, consideramos as intensidades geradas pela distribuição de Gumbel as intensidades de referências.

Tabela 21-Subestimação e superestimação da intensidade da distribuição de Gumbel e a intensidade gerada pela IDFpm.

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	↑	↓	↓	↓	↓	↑
10	↑	↓	↓	↓	↑	↑
15	↑	↓	↓	↓	↑	↑
20	↑	↓	↓	↓	↑	↑
25	↑	↓	↓	↓	↑	↑
30	↑	↓	↓	↓	↓	↑
60	↑	↓	↓	↓	↓	↑
360	↑	↓	↓	↓	↓	↑
480	↑	↓	↓	↓	↓	↑
600	↑	↓	↓	↓	↓	↑
720	↑	↓	↓	↓	↑	↑
1440	↑	↓	↓	↑	↑	↑
Legenda	SUBESTIMANDO		SUPERESTIMANDO			
	↓		↑			

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se na Tabela 21 que para os dados gerados pelas curvas IDFpm tem tendências mais definidas. Os períodos de recorrência de 2 e 100 anos são apenas superestimados, Já os outros anos em sua maioria são subestimados.

Essa subestimação, dependendo da magnitude do erro absoluto, pode ser um problema, pois a intensidade sendo mais baixa que a real, isto é ta contra a segurança, podendo subdimensionar projetos e acarretará em falhas das estruturas hidráulicas.

Na Tabela 22 podemos ver que os erros para pequenas durações são maiores, porém independe do período de retorno. Os erros não impossibilitam o uso, porém é algo que se deve ter atenção, pois pode gerar diferenças no dimensionamento de alguma obra hidráulica.

Na Tabela 23 podemos ver que os erros relativos mantém uma certa média, porém se distribui por todos as faixas de período de retorno e duração, não possuindo um comportamento tendencioso, porém como os valores estão abaixo de 10%, pode-se considerar razoável.

Tabela 22-Erros absolutos (em mm/h) entre os dados da distribuição de Gumbel e das curvas IDFpm

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	6,04	5,68	8,44	6,63	1,31	7,60
10	7,74	1,08	2,85	0,77	4,01	11,70
15	5,10	2,79	4,55	3,09	0,74	7,06
20	5,24	1,47	2,88	1,44	2,04	7,69
25	4,23	1,88	3,21	2,02	1,01	5,99
30	3,15	2,56	3,89	2,96	0,32	4,09
60	1,12	2,91	3,95	3,54	1,95	0,82
360	0,49	0,63	0,90	0,75	0,26	0,57
480	0,37	0,54	0,77	0,65	0,26	0,41
600	0,40	0,35	0,53	0,41	0,06	0,52
720	0,45	0,19	0,33	0,20	0,12	0,64
1440	0,35	0,01	0,08	0,01	0,21	0,54

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23- Erros relativos entre as intensidades da distribuição de Gumbel e da IDFpm

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	4,24%	3,18%	4,17%	2,84%	0,51%	2,74%
10	6,85%	0,76%	1,77%	0,42%	1,97%	5,30%
15	5,22%	2,27%	3,27%	1,93%	0,42%	3,70%
20	6,18%	1,38%	2,39%	1,04%	1,34%	4,65%
25	5,55%	1,96%	2,96%	1,62%	0,74%	4,03%
30	4,51%	2,93%	3,92%	2,59%	0,25%	3,00%
60	2,37%	4,92%	5,89%	4,59%	2,30%	0,89%
360	3,66%	3,72%	4,70%	3,39%	1,07%	2,16%
480	3,41%	3,95%	4,93%	3,62%	1,30%	1,92%
600	4,38%	3,06%	4,04%	2,72%	0,38%	2,87%
720	5,64%	1,88%	2,88%	1,54%	0,82%	4,11%
1440	7,45%	0,20%	1,22%	0,14%	2,55%	5,90%

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 Eficiência da tabela de desagregação

Para a desagregação dos dados diários de precipitação foi utilizada a tabela de desagregação, porém o quão essa agregação é eficiente será mostrado neste item.

Com a precisão dos equipamentos instalados na bacia são praticamente instantâneos, podemos ver que estes dados são os que ocorrem na bacia, sendo assim referência para se comparar com os dados de precipitação obtidos pelos coeficientes da tabela de desagregação.

Pode-se ver na figura 30 que os dados de precipitação gerados pela tabela de desagregação superestima a precipitação para durações entre 5 e 60 min. Já para durações maiores a tabela tende a subestimar com algumas exceções.

Tabela 24-Superestimação e subestimação das precipitações da distribuição de Gumbel geradas com dados pluviométricos e pluviográficos

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	↑	↑	↑	↑	↑	↑
10	↑	↑	↑	↑	↑	↑
15	↑	↑	↑	↑	↑	↑
20	↑	↑	↑	↑	↑	↑
25	↑	↑	↑	↑	↑	↑
30	↑	↑	↑	↑	↑	↑
60	↑	↑	↑	↑	↑	↑
360	↓	↓	↓	↓	↓	↓
480	↓	↓	↓	↓	↓	↓
600	↓	↓	↓	↑	↑	↑
720	↓	↓	↓	↓	↑	↑
1440	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Legenda	Subestima		Superestima			
	↑		↓			

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi visto no item 5.2 que as curvas para pequenas durações tem as maiores diferenças, Tabela 15. Porém, para os dados de precipitação, como podemos ver na Tabela 24, os maiores erros ocorrem na precipitação da duração de 1440 min, equivalente a 1 dia.

Pela tabela de desagregação, as precipitações para outras durações são geradas a partir da precipitação da duração de 1440 min, logo, ao estimar as outras precipitações já está se considerando um grande erro proveniente da tabela de desagregação.

A intensidade das pequenas durações são as que têm maiores diferenças apesar de possuir os menores erros de precipitação devido à intensidade ser a razão entre a precipitação e a duração do evento. Para pequenas durações, pequenas diferenças de precipitação geram uma grande diferença na intensidade. Isto não ocorre para grandes durações, pois, por mais que o erro seja maior, este será dividido por uma duração muito grande, o que acaba gerando pequenas diferenças na intensidade.

Logo o problema na tabela de desagregação não está nas pequenas durações, e sim, principalmente na maior duração, que é a de 1440 min como podemos ver na Tabela 25. Pode-se ver que há erros consideráveis para as pequenas durações, o que mostra que a tabela de desagregação não está desagregando a precipitação diária com eficiência para esta bacia.

Tabela 25-Erro absoluto da precipitação (em mm) da distribuição de Gumbel geradas com dados pluviométricos e pluviográficos

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	3,6	4,7	5,5	6,5	7,2	7,9
10	4,1	5,4	6,2	7,3	8,1	8,9
15	5,3	6,4	7,1	8,1	8,7	9,4
20	5,5	6,0	6,3	6,7	7,0	7,3
25	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6
30	5,7	5,1	4,8	4,3	4,0	3,7
60	8,3	7,8	7,4	7,0	6,7	6,4
360	4,9	7,8	9,8	12,2	14,0	15,8
480	4,3	3,7	3,3	2,8	2,4	2,0
600	5,5	2,9	1,1	1,1	2,8	4,4
720	7,6	4,8	3,0	0,7	1,0	2,7
1440	13,9	20,9	25,6	31,5	35,9	40,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 26-Faixas de comparação entre os erros absolutos das precipitações em mm e os coeficientes de desagregação de precipitação diária

t (min)	TR:						R
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	
5	3,6	4,7	5,5	6,5	7,2	7,9	0,34
10	4,1	5,4	6,2	7,3	8,1	8,9	0,54
15	5,3	6,4	7,1	8,1	8,7	9,4	0,70
20	5,5	6,0	6,3	6,7	7,0	7,3	0,81
25	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	0,91
30	5,7	5,1	4,8	4,3	4,0	3,7	0,74
60	8,3	7,8	7,4	7,0	6,7	6,4	0,42
360	4,9	7,8	9,8	12,2	14,0	15,8	0,72
480	4,3	3,7	3,3	2,8	2,4	2,0	0,78
600	5,5	2,9	1,1	1,1	2,8	4,4	0,82
720	7,6	4,8	3,0	0,7	1,0	2,7	0,85
1440	13,9	20,9	25,6	31,5	35,9	40,2	1,14
Legenda							
	Bom	Regular	Ruim				

Fonte: Elaborado pelo autor

5.5 Desenvolvimento de uma nova tabela de desagregação

Visto que os resultados com a tabela de desagregação da CETESB não está proporcionando bons resultados para a região estudada, foi proposto gerar uma nova tabela de desagregação.

A comparação entre a nova tabela de desagregação gerada e a tabela anterior da CETESB pode ser visto na Tabela 27.

Tabela 27- Coeficientes de desagregação gerados para a bacia experimental do Riacho Guaraíra

RELAÇÃO	COEFICIENTES	
	(Autor)	(CETESB)
5min/30min	0,25	0,34
10min/30min	0,45	0,54
15min/30min	0,61	0,70
20min/30min	0,75	0,81
25min/30min	0,89	0,91
30min/1h	0,75	0,74
1h/24h	0,32	0,42
6h/24h	0,67	0,72
8h/24h	0,68	0,78
10h/24h	0,70	0,82
12h/24	0,73	0,85
24h/1dia	1,33	1,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a nova tabela de desagregação, pode-se ver que, os erros reduziram bastante, principalmente para as menores durações (Tabela 28). Para as maiores durações, há um erro, porém insignificante para a intensidade para estas durações.

Tabela 28- Erros absolutos entre a precipitação dos dados pluviográficos e os dados pluviométricos desagregados (em mm) com a nova tabela de desagregação.

t (min)	TR:					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
5	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1
10	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1
15	0,3	0,2	0,0	0,1	0,2	0,3
20	1,3	0,7	0,3	0,2	0,5	0,9
25	2,4	1,3	0,6	0,3	0,9	1,6
30	2,8	1,6	0,7	0,3	1,1	1,9
60	3,8	2,1	1,0	0,4	1,4	2,5
360	2,5	1,4	0,7	0,2	0,8	1,5
480	2,4	1,3	0,6	0,3	1,0	1,7
600	5,8	3,2	1,5	0,6	2,2	3,8
720	6,7	3,7	1,8	0,7	2,6	4,4
1440	5,1	2,9	1,5	0,4	1,7	3,1

Fonte: Elaborado pelo autor

6. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo comparar as intensidades geradas por curvas IDF geradas com dados pluviométricos e pluviográficos a fim de verificar as suas diferenças, assim como, se a tabela de desagregação pode ser utilizada para desagregar os dados diários da área de estudo.

As intensidades geradas com dados diários desagregados, para pequenas durações, de 5 a 30 min, superestimam os valores de intensidade. Esta superestimação normalmente tem valores consideráveis que quando utilizados para dimensionar uma obra, a mesma seria superdimensionada, o que geraria um custo adicional não necessário a estas obras.

A média dos erros de intensidade para as durações são em média 12 mm/h e independem do período de retorno adotado. O que varia é o máximo dos erros que sempre aumenta com o aumento do período de retorno.

A equação da curva IDF normalmente representa bem os dados de intensidade, tendo um erro de até 33 mm/h para a duração de 5 min e tempo de retorno de 100 anos. Os erros relativos chegam a 28%, o que é bem elevado. Os maiores erros absolutos acontecem para períodos de retorno altos, como 50 e 100 anos para a IDF gerada com dados pluviográficos.

Já para dados pluviométricos, a equação representou melhor os dados, com o máximo de quase 12 mm/h. Da mesma forma, estes maiores erros ocorrem nos maiores períodos de retorno. Já os erros relativos ficam em torno de 7%.

A tabela de desagregação não apresenta valores aceitáveis na desagregação da precipitação diária. O erro chega a 40,2 mm de lâmina de precipitação. Para as durações de até 60 min todos os dados de precipitação foram superestimados, ou seja, a tabela gera valores maiores que o que é observado. Isso influencia na intensidade, onde as mesmas são superiores as observadas.

A tabela de desagregação gerada para a região apresentou resultados satisfatórios, fazendo com que os dados de precipitação desagregados fosse bem semelhantes aos dados observados na região, o que permite encontrar curvas IDF bem mais confiáveis para esta região.

Pode-se concluir com este estudo que há diferenças significativas nas intensidades utilizados em projetos de estruturas hidráulicas provenientes de curvas IDF com dados diários de precipitação desagregados e com dados de precipitação instantâneos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Action, Portal. Disponível em: < <http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em 24 de dezembro de 2015.

ARAGÃO, R., FIGUEIREDO, E. E., SRINIVASAN, V. S., & GOIS, R. S. S. Chuvas intensas no Estado da Paraíba. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, p. 74-85, 2000.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012.

BELTRAME, L. F. S. Chuvas intensas. In: Chuvas intensas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1991.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). Revista brasileira de ciência do solo, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

COLLISCHONN, L. G.; COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. M.. ESTABELECIMENTO DE RELAÇÕES IDF COM BASE EM ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

DAMÉ, R. C. F., PEDROTTI, C. B. M., CARDOSO, M. A., SILVEIRA, C. P., DUARTE, L. A., & MOREIRA, A. C. 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. Revista Brasileira de Agrociências, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. Eng. Agrícola., v. 28, n. 2, 2008.

DE OLIVEIRA, L. F. C., CORTÊS, F. C., BARBOSA, F. D. O. A., ARAÚJO R., P., & CARVALHO, D. F.. INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS PARA LOCALIDADES NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Companhia de Tecnologia. Drenagem urbana, manual de projetos. In: Drenagem urbana, manual de projetos. CETESB, 1979.

DE SANTANA FERREIRA, Frederico César; MACÊDO, Ana Paula Barbosa Ávila. Estudo de Chuvas Intensas em Aracaju-SE. IV Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe, 2011.

DNIT. MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA DE DRENAGEM, 2006.

DUNKERLEY, D. Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological processes*, v.22(22), p.4415-4435, 2008.

FARIAS, José Alexandre Moreira; SILVA, José Francisco do Rego; COELHO, Luiz da Silva. DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÃO IDF, UTILIZANDO REGRESSÃO LINEAR EM BASE LOGARÍTMICA. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

FESTI, Aparecido Vanderlei. COLETÂNEA DAS EQUAÇÕES DE CHUVA DO BRASIL. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/coletanea_chuvas.pdf>. Acesso em 11 de Janeiro de 2016.

FREITAS, E. S.; ALMEIDA, C. N.; BARBOSA, L. R.; LEAL, A. M. F. AVALIAÇÃO DAS INTENSIDADES DE EVENTOS CHUVOSOS NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA-PARAÍBA. In: XI ENES, João Pessoa-PB, 2014.

GARCIA, Samantha S. et al. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 6, p. 575-581, 2011.

GOLDFARB, M. C.; CYSNEIROS, D. O.; SILVA, T. C. Caracterização fluvio-morfológica da bacia do rio Gramame. In: SILVA, T. C.; SILANS, A. M. B. P.; GADELHA, C. L. M.: Bacia do rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus Recursos Hídricos. 1.ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, p.196, 2002.

GONÇALVES, L. S.. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOULART, J. P.; MAESTRINI, A. P.; NEIBEL, A. L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 7, n. 1, p. 543-552, 1992.

HAILE, A. T.; RIENTJES, T. H.; HABIB, E.; JETTEN, V.; GEBREMICHAEL, M. Rain event properties at the source of the Blue Nile River. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.15 (4), p.1023-1034, 2011.

JEBARI, S., BERNDTSSON, R., OLSSON, J., BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, v. 436-437, pág. 102-110, 2012.

LIRA, G. A. R.; SILANS, A. M. B. P.; PEDROSA FILHO, L.; ALMEIDA, C. A.; LEITE, E. P. F.; SILVA, T. C.; FILHO, S. V.; MOURA, E. M.; SOUSA, E. E.; DIAS DA SILVA, L.: Bacia experimental do rio Guaraíra: implantação e primeiros Resultados. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

MELLO, C. D., LIMA, J. M., SILVA, A. M., MELLO, J. M., & OLIVEIRA, M. S.. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

PDRH. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. SEMARH/SCIENTEC. 2000.

REHISA, Relatório final do projeto IBESA – Implantação de bacias experimentais no Semi-Árido. Projeto FINEP/FUNPEC 22010453-00. 291 p., 2004.

ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 746-53.

SANSIGOLO, C. A.. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. Atualização da equação intensidade-duração-frequência para a cidade de são paulo sob efeito de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2014.

SILVA, F. O. E.; JÚNIOR, F. F. R. P.; CAMPOS, J. N. B.. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. *Revista DAE*, 2013.

SILVEIRA, A. L. L.. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 4, p. 143-147, 2000.

SOUSA, F. A. S.; SILVA, V. P. R.. ANÁLISE DE INTENSIDADE DE CHUVA PELA CURVA NORMALIZADA DA PRECIPITAÇÃO. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. 1998, vol.2, n.3, pp.319-323.

Souza, J. A. Estudo das chuvas Intensas nas Zonas Rurais e Urbanas de João Pessoa. Dissertação de Mestrado. Escola politécnica da UFPB, Campina Grande-PB, 1972.

TEODORO, P. E., NEIVOCK, M. P., MARQUES, J. R. F., FLORES, A. M. F., & BRAGA, C.. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS . REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 2, 2014.

Villela, S. M. & Mattos, A. 1975, Hidrologia Aplicada, Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245p.

ZUFFO, A. C.. Equações de chuvas são eternas?. XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro/SP. Brasil. 2004.