

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

CECÍLIA RIBEIRO DE SOUZA GONÇALVES

**ESTIMATIVA DE VAZÕES PARA BACIA URBANA COM
DADOS HISTÓRICOS ESCASSOS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen

Campo Grande, MS
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

CECÍLIA RIBEIRO DE SOUZA GONÇALVES

**ESTIMATIVA DE VAZÕES PARA BACIA URBANA COM
DADOS HISTÓRICOS ESCASSOS**

CAMPO GRANDE
2008

1 INTRODUÇÃO

1.1 Identificação do problema

Quando o homem desmata, planta, constrói e transforma os ambientes naturais, pode provocar alterações na formação dos solos, erosões, deslizamentos, modificações do regime hidrológico e da cobertura vegetal, entre outras, sempre desastrosas para a sociedade.

Nas áreas urbanas, a construção de edificações e ruas é uma das principais causas da degradação ambiental. A urbanização, segundo Porto (1991), tem trazido não só conseqüências em relação ao aspecto hidrológico, mas também sobre o clima, podendo em longo prazo, alterar o microclima urbano relativamente ao regime de chuvas, ilhas de calor, elevação na umidade do ar, mudança na direção e velocidade dos ventos.

A maior facilidade no escoamento das águas de chuva, na superfície e na subsuperfície, descontinuidade nos afloramentos rochosos e nos solos, e as chuvas concentradas, são alguns dos exemplos de fatores naturais que podem acelerar os processos de degradação ambiental. Os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorializada dentro de um conjunto de elementos que compõem a paisagem.

A bacia hidrográfica como unidade integradora de fatores naturais e sociais, deve ser administrada com o objetivo, de que os impactos ambientais sejam minimizados. As bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nela desenvolvidas. Mudanças no interior da bacia também podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos tempos, o homem tem participado como agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios, através de obras de engenharia e indiretamente por outras atividades desenvolvidas na bacia.

O conceito de micro-bacias hidrográficas no planejamento urbano e ambiental apresenta um potencial para a compreensão de muitos problemas das cidades, dado o caráter integrador e interdisciplinar que o estudo apresenta. Para [Frendrich et al. \(1984\)](#), devido à grande importância na compreensão da Hidrologia Urbana, são necessários estudos regionais com registros históricos de um número razoável de anos de vazão, altura, duração e frequência de chuvas para uma dada bacia. Geralmente, esses dados são inexistentes ou escassos na maior parte do país, faltando um tratamento sistemático adequado que permita a sua utilização, mesmo em locais onde são observados.

Aliados às modificações climáticas, uma elevada taxa de urbanização, com grande número de edificações, e um alto grau de impermeabilização são fatores determinantes na

produção de elevados volumes de escoamento superficial, que poderão resultar em sérios prejuízos econômicos e sociais à população. Visto que os investimentos em obras de saneamento não acompanham a expansão das cidades, a tendência fica no sentido de remediar situações e não preveni-las, segundo Silveira (1998).

O maior problema técnico em projetos de engenharia é a escolha de chuva de projeto para dimensionamento das estruturas hidráulicas. A escolha de uma equação de chuva envolve não só critérios técnicos, como também uma relação custo/benefício difícil de ser estimada, pois também envolve custos ambientais. Neste trabalho obteve-se esta relação de chuva intensa e definiu-se uma validade da equação intensidade – duração – frequência (IDF) com períodos de recorrências aplicáveis aos casos de microdrenagem urbana. É necessário, portanto, investigar métodos que possibilitem quantificar os volumes produzidos, permitindo ações preventivas que evitem tais problemas.

Este trabalho trata da obtenção de dados pluviométricos e pluviográficos, registrados na Estação de Pesquisa Meteorológica da Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal - UNIDERP, no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2005, para o desenvolvimento de relações entre intensidade, duração e frequência dos eventos, através de métodos estatísticos, de modo a estabelecer vazões de projeto para obras urbanas. Foram aplicados os resultados obtidos para a sub-bacia hidrográfica do Bandeira, localizada desde a nascente do córrego Bandeira até as proximidades da Avenida Rita Vieira em Campo Grande-MS. Estudos semelhantes já foram desenvolvidos para Campo Grande com a aplicação de duas fórmulas já conhecidas, a de Figueiredo (1990) e a de Rondon, citada por Frendrich et al (1984).

1.2 Justificativa

Os projetos são elaborados para o futuro e os projetistas não podem ter certeza quanto às condições a que estarão sujeitas as obras. Lança-se mão então, de métodos de estimativa de probabilidades relativas aos eventos hidrológicos, faz-se como condição prévia a coleta de dados, na forma de eventos históricos. Com o desenvolvimento urbano, a cobertura natural se altera, provocando vários efeitos que influenciam os componentes do ciclo hidrológico, segundo Tucci e Collischonn (2004). Ao se estudar a precipitação dentro de uma bacia hidrográfica, pode-se buscar soluções de grande alcance no tempo e no espaço, evitando soluções localizadas, criar normas e critérios de projeto, identificar áreas de preservação, implantar parques e priorizar menores custos e maior alcance de um

planejamento urbano para a gestão de drenagem urbana.

Na cidade de Campo Grande observa-se que a variação espacial da chuva durante as precipitações convectivas, provoca os eventos de maior intensidade. Além disso, é pequeno o número de postos registradores de alturas pluviométricas de pequena duração a utilizar nas áreas urbanas de pequeno tempo de concentração. Deve-se observar que em geral o período histórico é reduzido, sendo reduzido, também, o número de anos de observação. Desta maneira as séries parciais de dados pluviométricos devem ser utilizadas na análise estatística das frequências.

É importante verificar se as relações de intensidade, duração e frequência (IDF) desenvolvidas, através das precipitações obtidas no posto de pesquisa meteorológica, apresentam números consistentes para avaliar os critérios adotados na definição dos parâmetros da equação de chuva.

Para tanto, utilizaram-se os dados de registros referentes às precipitações ocorridas e dispostas em séries máximas diárias, registradas por pluviômetros e pluviógrafos na estação de pesquisa meteorológica da UNIDERP.

2 OBJETIVOS

Este trabalho objetiva utilizar métodos de obtenção de vazões de projeto em bacias hidrográficas com dados escassos ou inexistentes.

Para tanto, buscou-se determinar:

- As relações IDF de chuvas intensas por dois métodos estatísticos;
- Avaliar a qualidade do ajuste das funções de frequência utilizando pluviogramas semanais, com a discretização temporal mínima de 30 minutos;
- Analisar se as relações entre as alturas das chuvas diárias, registradas nos pluviógrafos, e as alturas de chuvas de 24 h obtidas dos relatórios de registro dos pluviômetros, fornecidos pela Estação Meteorológica da UNIDERP, estão na mesma ordem de grandeza para que se possa obter uma relação generalizada da equação IDF, e comparar com as equações já conhecidas para Campo Grande.
- Determinar as vazões de projeto para a sub-bacia do Córrego Bandeira, em Campo Grande – MS, utilizando as equações obtidas a partir dos dados analisados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Clima do Brasil

Para Lamberts et al. (2004), o Brasil, devido ao seu imenso território e ao fato de se localizar entre os dois trópicos, possui um clima bastante variado, classificado em seis regiões climáticas: tropical, equatorial, semi-árido, subtropical, tropical atlântico e de altitude.

As características básicas de cada tipo climático foram definidas por Lamberts, como:

- Equatorial: compreende toda a Amazônia com temperaturas entre 24 e 26°C, com chuvas abundantes e bem distribuídas, com índice maior de 2.500 mm ano⁻¹;
- Tropical: verão quente e chuvoso e inverno quente e seco, com chuvas oscilando entre 1.000 e 1.500 mm ano⁻¹, com temperaturas acima de 20°C;
- Tropical de Altitude: temperaturas médias entre 18 a 22°C, chuvas mais intensas entre 1.000 e 1.800 mm ano⁻¹. No inverno pode gear devido às massas frias. Esse clima se estende entre o norte do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul;
- Semi-Árido: é a região climática mais seca do país, com temperaturas muito altas, em torno de 27°C e chuvas escassas em torno de 800 mm ano⁻¹;
- Tropical Atlântico: caracteriza-se nas regiões litorâneas do Brasil, com temperaturas entre 18 a 26°C e chuvas abundantes com índice de 1.200 mm ano⁻¹;
- Subtropical: temperaturas médias abaixo de 20°C, chuvas fartas bem distribuídas entre 1.500 e 2.000 mm ano⁻¹, com inverno rigoroso em áreas mais elevadas, onde pode ocorrer neve.

3.2 Variações mesoclimáticas do Estado de Mato Grosso do Sul

Segundo o Atlas Geográfico Digital de Mato Grosso do Sul ((ww2.uniderp.br/Atlas/cgrande.htm)), o Estado de Mato Grosso do Sul está numa área de transição climática, sofrendo a atuação de diversas massas de ar, o que implica em contrastes térmicos acentuados, tanto espacial quanto temporalmente. A região está numa zona de encontro de diversas massas que atuam no território brasileiro. O clima regional do Estado é cortado pela [Faixa Zonal Divisória](#), que corresponde a um virtual limite de atuação das massas de ar e dos resultantes regimes pluviométricos.

Consta, ainda, do Atlas Geográfico Digital de Mato Grosso do Sul que de acordo com o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (1990), a Variação Mesoclimática no Estado pode ser classificada nos seguintes tipos:

- Úmido: apresenta índice efetivo de umidade com valores anuais variando de 40 a 60%. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.750 e 2.000 mm, com excedente hídrico de 1.200 a 1.400 mm durante 7 a 8 meses e deficiência hídrica de 200 a 350 mm, durante 3 meses.

- Úmido a subúmido: apresenta índice efetivo de umidade com valores anuais variando de 20 a 40%. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.500 e 1.750 mm, com excedente hídrico anual de 800 a 1.200 mm durante 5 a 6 meses e deficiência hídrica de 350 a 500 mm, durante 4 meses.

- Subúmido: apresenta índice efetivo de umidade com valores anuais variando de 0 a 20%. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.200 a 1.500 mm, com excedente hídrico anual de 400 a 800 mm durante 3 a 4 meses e deficiência hídrica de 500 a 650 mm, durante 5 meses.

- Subúmido a semi-árido: apresenta índice efetivo de umidade com valores anuais variando de 20 a 0%. A precipitação pluviométrica anual varia entre 800 e 1.200 mm, com excedente hídrico anual de 100 a 400 mm durante 2 meses e deficiência hídrica de 650 a 750 mm durante 6 meses.

3.3 Climatologia do município de Campo Grande

De acordo com o Atlas Geográfico Digital de Mato Grosso do Sul, “o clima de Campo Grande, segundo a classificação de Köppen, situa-se na faixa de transição entre o sub-tipo Cfa – mesotérmico úmido sem estiagem, em que a temperatura do mês mais quente é superior a 25°C, tendo o mês mais seco mais de 30 mm de precipitação e o sub-tipo Aw – tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno”. Ainda conforme essa fonte, “cerca de 75% das chuvas ocorre entre os meses de outubro e abril, quando a temperatura média oscila em torno de 24°C. Os meses de menor precipitação são junho, julho e agosto e a temperatura média é de 20°C. Os déficits hídricos ocorrem com maior intensidade nesses meses, onde a média das temperaturas mínimas está abaixo de 15°C, sendo o mês agosto o mais seco”.

3.4 Precipitação

À medida que as gotas de chuva ou cristais de gelo que compõem as nuvens vão aumentando, e a sustentação é vencida, elas caem rapidamente, salvo quando retidas por correntes ascendentes ou evaporadas durante a queda. Dessa forma podemos identificar algumas formas de precipitação, tal como: chuva, neve, granizo, orvalho e geada.

Segundo Tucci (2000), conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, as precipitações podem ser classificadas em:

- Convectivas: quando em tempo calmo, o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local do ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações. São as chuvas convectivas, características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão (tempestades violentas). São geralmente, chuvas de grande intensidade e de pequena duração, restritas a áreas pequenas. São precipitações que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias;

- Orográficas: quando ventos quentes e úmidos, soprando geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas. Quando os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto projeta-se a sombra pluviométrica, dando lugar a áreas secas ou semi-áridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta;

- Frontais ou ciclônicas: provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência da atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas. São de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. Essas precipitações podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica. Podem produzir cheias em grandes bacias.

3.4.1 Pluviometria

Para Tucci (2000), uma chuva é caracterizada pelas seguintes grandezas:

- Altura pluviométrica (P ou r): é a espessura média da lâmina de água resultante da precipitação que recobriria uma região atingida pela mesma, considerando a não infiltração, a não evaporação e nem o escoamento dessa água para fora dos limites dessa região. Habitualmente, a unidade de medição é o milímetro de chuva, que corresponde ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície.

- Duração (t): refere-se ao intervalo de tempo em que a chuva cai. São utilizadas como unidades de medida o minuto ou a hora.

- Intensidade (i): é a precipitação por unidade de tempo, resultante da relação $i = P/t$, expressa em mm h^{-1} ou mm min^{-1} , apresenta variação no tempo, mas, para fins de análise dos processos hidrológicos, definem-se intervalos de tempo considerando-a constante.

- Frequência ou probabilidade (f) e tempo de recorrência (Tr): por ser a precipitação um fenômeno de ocorrência aleatória, na análise de alturas pluviométricas, ou intensidades máximas, o Tr deve ser entendido como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação em estudo seja igualada ou superada. A frequência ou probabilidade (f) é o seu inverso, isto é, a ocorrência num ano qualquer de um fenômeno igual ou superior ao analisado (probabilidade anual). As dificuldades em estabelecer o período de retorno, fazem com que a escolha recaia sobre valores aceitos de forma mais ou menos ampla no meio técnico de acordo com Tucci (2000). Os valores comumente encontrados na literatura técnica para os tempos de recorrência, aplicados na drenagem urbana para diferentes ocupações de área, estão representados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Períodos de retorno para diferentes ocupações de área

Tipo de Obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci, 2000

Segundo [Christofolletti \(1999\)](#), as análises sobre a configuração temporal da precipitação e das temperaturas em cada localidade, constituem exemplos de modelo de análise morfológica, retratando o comportamento das quantidades ocorrentes em escala global e regional. Pode-se observar na Figura 3.1, a distribuição da precipitação média anual do globo terrestre.

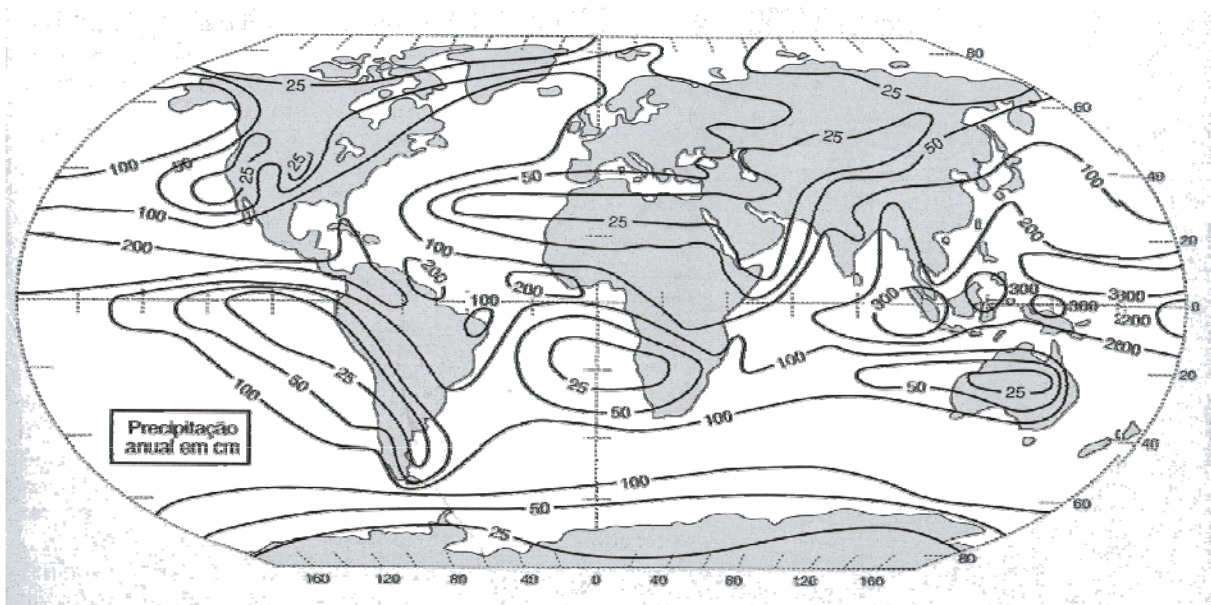


Figura 3.1 - Distribuição Global da Precipitação Média Anual (conf. Waylen, 1995).

Fonte: Christofletti, 1999

Segundo Lanna (2000), os fenômenos hidrológicos não podem ser reproduzidos, pelo menos, na escala em que ocorrem. A estatística procedeu à teoria das probabilidades, ou seja, os dados observados de um processo hidrológico formam uma amostra, que se submetida à análise estatística, visa a definição de probabilidades de certos eventos.

O tratamento estatístico de uma variável hidrológica pressupõe-se sua quantificação, que se desenvolve no tempo e no espaço. A chuva é um exemplo de variável temporal que pode ser representada pontualmente, com suas variações realizadas ao longo do tempo. No caso da precipitação, os totais precipitados são lidos num período fixo em 24 h, estes formarão uma série de valores discretos, totalizados diariamente, quantificando o processo hidrológico “chuva no pluviômetro”.

O estudo das precipitações máximas é um caminho para conhecer-se a vazão de enchente em uma bacia, que são retratadas pelas curvas IDF. Na análise estatística das séries de chuva, que podem ser anuais ou parciais, dependendo da disponibilidade e do objeto de estudo, segundo Wilken (1978), as séries parciais são utilizadas quando os dados disponíveis são inferiores a 12 anos.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) em 1980, apresentou o método de Ven te Chow, que determina as alturas de precipitação para vários tempos de recorrência, para ser utilizado depois de estabelecidas as séries totais ou parciais. Ainda de acordo com CETESB (1980), as séries parciais fornecem resultados mais

consistentes que as séries anuais para períodos de retorno inferiores a 10 anos. As alturas pluviométricas das séries anuais podem ter um tratamento gráfico conjugando-se com os períodos de retorno, definindo-se então a curva de frequência.

Os estudos de altura pluviométrica, frequência e intensidade de precipitação são baseados em observações pontuais, cujos valores poderão ser utilizados para ajustar curvas de mesma duração em diferentes períodos, utilizando-se de uma distribuição estatística. De acordo com Wilken (1978), o método Gumbel-Chow, permite uma análise de frequência de chuvas intensas, tendo em vista que Ven Te Chow acrescentou algumas alterações de caráter prático, facilitando a utilização do método da análise de frequência.

Segundo Wilken (1978), outro método também aplicado em distribuições de frequência para chuvas máximas é o da Distribuição Log Pearson Tipo III, cujo fator de frequência neste método leva-se em consideração o coeficiente de assimetria. Os parâmetros da fórmula da altura pluviométrica são calculados a partir dos dados observados, tal como a média aritmética dos logaritmos, desvio padrão dos logaritmos e o coeficiente de assimetria. O fator de frequência depende do coeficiente de assimetria e tempo de retorno, obtido na tabela de assimetria para vários períodos de retorno.

As curvas IDF permitem o cálculo da intensidade média da chuva de projeto para uma dada probabilidade considerando uma faixa de durações, que podem ser utilizadas para o dimensionamento de um sistema de coleta de águas pluviais, através das vazões de projeto.

A escolha do tipo de série depende do tamanho das séries disponíveis e do objetivo do estudo. De acordo com Lanna (2000), a metodologia de séries parciais é utilizada quando, na série disponível de registros pluviométricos, o número de anos for inferior a 12 anos para um período de retorno menor que 5 anos.

O tratamento estatístico dos dados pluviométricos mostra que a intensidade é diretamente proporcional à recorrência e inversamente proporcional à duração, ou seja, chuvas mais intensas são mais raras e têm menor duração, para Azevedo Netto (1998), essas relações podem ser expressas por uma equação geral do tipo:

$$i = \frac{a \cdot Tr^m}{(t + b)^n} \quad (3.1)$$

onde:

i = intensidade, mm h^{-1} ;

Tr = tempo de retorno, anos;

t = duração da chuva, min;

a, m = parâmetros regionais a serem definidos, adimensional;

b, n = parâmetros locais a serem definidos, adimensional.

Para projetos de drenagem superficial, novos métodos estão sendo desenvolvidos, utilizando-se as séries parciais que também estabelecem as relações entre intensidade, duração e frequência das chuvas.

Chen (1983) descreve um método simples, desenvolvido por Bell, para derivar uma fórmula generalizada IDF para chuva intensa, para qualquer localidade nos Estados Unidos, de grande importância para projeto de drenagem urbana. O método pode ser usado para descrever o modelo geográfico das chuvas intensas na forma de variáveis ambas na relação de duração para chuvas de 1 hora em qualquer período de retorno T_r , representado por (R_1^T / R_{24}^T) e no modo de duração da relação de frequência (R_t^{100} / R_t^{10}) para qualquer duração t . Foram estudadas relações empíricas entre chuvas de 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1.440 minutos, onde as chuvas intensas de 5, 10 e 15 minutos podem ser estimadas sobre os mesmos 60 minutos de chuva intensa.

Para representar a relação de intensidade-duração de chuva, independente da frequência, segundo Chen (1983), Bell utilizou a seguinte fórmula:

$$r_t^T = \frac{a_1 \cdot r_1^T}{(t + b_1)^{c_1}} \quad (3.2)$$

A partir dos percentuais das relações de intensidades de chuva de 1h/24 h, graficamente é possível determinar os parâmetros a_1 , b_1 e c_1 da equação 3.2.

3.5 Vazão de projeto

Para Shimada (2003), conhecer a vazão de bacias urbanas é de fundamental importância, pois a determinação da vazão de projeto, juntamente com a análise do volume de escoamento superficial e forma do hidrograma, resulta em um dos mais importantes fatores de sucesso de um projeto de drenagem urbana; permite também melhor planejamento e controle da influência do desenvolvimento urbano no meio hídrico, principalmente no controle de enchentes.

Para obtenção das vazões, é necessário adotar metodologias de cálculo que sejam confiáveis e seguras, e que os resultados alcançados estejam próximos da realidade, visto que estes resultados influem na segurança da população, nos custos econômicos das obras e nos impactos ambientais ocasionais, segundo Arima (1998).

A vazão máxima pode ser estimada com base na precipitação, por métodos que representam os principais processos da transformação da precipitação em vazão. Esses métodos são conhecidos como: Método Racional, Método Racional Modificado, Método Racional com critério de Fantolli e Método dos Blocos Alternados.

O método racional modificado, é largamente utilizado na determinação de projeto para pequenas bacias sendo necessário o conhecimento prévio das curvas IDF.

Segundo Steffen e Rondon (2000), a simplicidade de aplicação e os resultados obtidos, geralmente satisfatórios, são responsáveis pela grande aceitação do método racional modificado dentro das condições de validade, sendo recomendado para bacias de 2 a 5 km² de área de drenagem, com a seguinte formulação:

$$Q = 2,778.C. I. A^D \quad (3.3)$$

em que:

Q = vazão em L s⁻¹ ;

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade pluviométrica, mm h⁻¹;

A = área da bacia de drenagem, ha;

D = coeficiente redutor, igual a 1,0 para áreas até 50 hectares e igual a 0,9 para áreas maiores que este valor.

Segundo Tomaz (2002), o método racional deve ser aplicado somente em pequenas bacias, ou seja, com área de drenagem inferior a 300 ha, ou quando o tempo de concentração seja inferior a uma hora. O coeficiente “C” conhecido como coeficiente runoff, depende do tipo de solo, do grau de compactação, porosidade, vegetação, declividade, a intensidade da precipitação e depressões onde a água pode ser armazenada. São vários os estudos para determinação do coeficiente “C”, os hidrologistas Urbonas e Roesner , citados por Tomaz (2002), apresentaram gráfico e fórmula matemática obtida por análise de regressão, expressa em função da área de impermeabilização.

O método racional com critério de Fantoli, que leva também em consideração o grau de impermeabilização do solo, utiliza para cálculo da vazão, segundo Azevedo Netto (1969), a seguinte equação:

$$Q = 2,778 \cdot n \cdot f \cdot i \cdot A \quad (3.4)$$

onde:

Q = vazão, $L \cdot s^{-1}$,

$n = A^{-0,15}$, ha;

$f = m \cdot (i \cdot t_c)^{1/3}$;

m = fator em função da impermeabilização;

t_c = tempo de concentração, min;

i = intensidade da precipitação, $mm \cdot h^{-1}$.

O valor do coeficiente m é obtido na Tabela 3.2, interpolando-se os valores de acordo com o grau de impermeabilização da bacia hidrográfica considerada.

Tabela 3.2 – Impermeabilização em % x fator da impermeabilização

Impermeabilização (%)	m
80	0,053
60	0,043
40	0,029
25	0,018

Para o método dos blocos alternados, a distribuição é feita utilizando dados das relações IDF. Esta distribuição não se relaciona com os fenômenos físicos, trata-se de um método empírico que caracteriza uma condição crítica. Nele é proposta a distribuição de totais de chuva em intervalos de tempo em que a duração total é subdividida, da seguinte forma (Tucci, 2000):

- ♦ Selecionam-se a duração das chuvas e o intervalo de subdivisão;
- ♦ Através da relação IDF conhecida para o local, calcula-se a intensidade de precipitação para cada duração múltipla do intervalo de subdivisão;

- ◆ Essas intensidades são transformadas em alturas de chuva e acumuladas ao longo dos intervalos de tempo;
- ◆ Os incrementos desses totais são acumulados para cada período do intervalo de subdivisão e rearranjados de maneira a situar o bloco maior no centro e os demais dispostos em ordem decrescente, à direita e a esquerda do conjunto já ordenado alternadamente.

O tempo de concentração determinado pela fórmula Califórnia Culverts Practice, utilizando-se o comprimento do talvegue L e a diferença de nível H, necessário para obtenção das vazões de precipitação, segundo Tucci (2000), é expresso por:

$$t_c = 57 \times L^{1,155} \times H^{-0,385} \quad (3.5)$$

onde:

t_c = tempo de concentração, min;

L = comprimento do talvegue, Km;

H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue, m.

O levantamento de dados para estabelecer parâmetros no desenvolvimento de uma modelagem matemática, depende das instalações de uma estação meteorológica suprida de equipamentos para leitura de variáveis hidrológicas, tais como, precipitação e temperatura.

Na determinação das vazões de projeto, a precipitação máxima é uma ocorrência extrema numa área ou bacia hidrográfica, podendo vir a atuar na erosão do solo, inundações em áreas urbanas e rurais e também em obras hidráulicas.

A maioria das técnicas de determinação de vazões de projeto, utilizada no Brasil, é de origem norte-americana e concebida para as condições locais. Deve-se lembrar que estes métodos, quando utilizados no Brasil, muitas vezes são aplicados de forma inadequada, por não levar em consideração a necessidade de correção para as condições utilizadas, obtendo assim, muitas vezes resultados fora da realidade, segundo Simioli (2006).

3.6 Caracterização da região de estudo

Segundo Simioli (2006), a rede hidrográfica de Campo Grande foi subdividida em 10 micro-bacias: Bandeira, Prosa, Anhanduí, Lageado, Gameleira, Balsamo, Imbirussu, Coqueiro, Segredo e Lagoa.

Quadro 3.1 - Características fisiográficas da sub-bacia do Bandeira

Características	Símbolo	Valor	Unidade
Área de drenagem	A	217,8	Ha
Perímetro da bacia	P	6.900,00	M
Comprimento considerado fora do talvegue	L ₁	100,00	M
Comprimento considerado no talvegue	L ₂	2.126,00	M
Desnível entre o ponto mais alto do talvegue até a seção considerada	H	36,50	M
Declividade média do curso d' água	S ₁	1,64	%
Intensidade pluviométrica obtida da curva IDF	I ₁₀	24,17	mm/h

Fonte: Simioli, 2006

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Campo Grande, de acordo com o Atlas Geográfico Digital de Mato Grosso do Sul (2005), ocupa uma área de 8.118,4 km², referente a 2,27% da área total do Estado de Mato Grosso do Sul. Está localizado na porção central do Estado, fazendo parte da Micro-Região Geográfica de mesmo nome. Sua sede está a uma altitude média de 532 m acima do nível do mar e situa-se nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude - 20° 26' 34" Sul e Longitude - 54° 38' 47" Oeste, nas imediações do divisor de águas das Bacias Hidrográficas dos Rios Paraná e Paraguai.

Possui vegetação localizada na zona tropical, pertencente aos domínios da região fitogeográfica da savana, sendo que sua cobertura vegetal autóctone, apresenta-se com as fisionomias da savana densa, arbórea e gramíneo lenhosa, também denominada "campo de vacaria".

O clima da região é classificado como quente com estação seca de inverno, em que as médias mensais durante o ano ficam sempre acima de 18°C e estação chuvosa no verão, com valores acima de 60 mm e para os meses de inverno abaixo de 60 mm.

A cidade de Campo Grande, possui uma população de 724.638 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2007). A participação da população do município de Campo Grande, em relação à do Estado, é elevada, no contexto nacional é o 23º (vigésimo terceiro) em volume populacional. Isso pode revelar uma elevada taxa de urbanização com grande número de edificações e alto grau de impermeabilização. Para Silveira (1998), nas últimas décadas, um aspecto nacional importante foi o crescimento vertiginoso das metrópoles nacionais e regionais, ocasionado pelo êxodo rural e pela explosão demográfica.

A pesquisa consistiu na determinação da vazão de projeto para uma bacia urbana de Campo Grande com dados escassos, a partir das relações IDF de chuvas intensas registradas na estação meteorológica da UNIDERP. Foi aplicado à sub-bacia do Córrego Bandeira, na seção localizada na Avenida Ricardo Vieira de Andrade. A caracterização física da bacia do córrego Bandeira, referente à área de drenagem, perímetro e comprimento do talvegue, foi determinada utilizando-se os dados citados por Simioli (2006).

As máximas alturas de chuva foram analisadas a partir dos totais diários e registros pluviográficos obtidos da Estação de Pesquisa Meteorológica da UNIDERP, situada a uma altitude de 676,9 m com latitude 20°26'18"S e longitude 54°32'18"W, num período de 8 anos, desde 1998 até 2005.

Em função do curto período de registro analisado, de apenas 8 anos, optou-se por utilizar uma série parcial de dados, selecionando vários eventos de chuva intensa a cada ano.

Os registros pluviométricos da estação utilizada são semanais com uma resolução de leitura de 30 min. Assim as durações de chuva escolhidas para análise foram 30, 60, 90, 120, 240, 360, 720 e 1.440 minutos.

Após uma análise prévia do número de eventos em dias de precipitação no ano e adotando-se o critério apresentado por Frendrich (2005), optou-se em considerar valores diários superiores a 15 mm, tendo em vista que 20% dos eventos ocorridos no período analisado são superiores ao parâmetro adotado.

As leituras das máximas precipitações no dia foram interpretadas nos pluviogramas em intervalos de 30 min, obtendo-se o início das chuvas, as alturas acumuladas, a maior altura e a maior intensidade, efetuando-se 1850 leituras registradas em planilhas, para 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Adotou-se como critério de seleção as 15 maiores alturas de precipitação diárias registradas em cada ano, o que forneceu uma amostra de 120 eventos a serem trabalhados estatisticamente, conforme Tabela A1 do Apêndice A.

Os métodos estatísticos utilizados foram a Distribuição do Valor Extremo de Gumbel-Chow e a Distribuição de Pearson Tipo III. A partir desses métodos estatísticos aplicou-se o critério de Bell (citado por CHEN, 1983), os quais permitiram uma análise comparativa dos resultados e de sua validação para a obtenção das vazões de projeto.

4.1 Análise estatística das intensidades de precipitação segundo Gumbel-Chow

Utilizando-se a equação geral de Ven Te Chow:

$$X = \bar{X} + K.\sigma \quad (4.1)$$

onde:

X = variável que representa o valor da altura pluviométrica, mm;

$\bar{X}$ = média das alturas pluviométricas, mm;

K = fator de frequência, função do tempo de recorrência;

σ = desvio padrão das alturas de precipitação, mm.

e a equação (4.2) para calcular as intensidades médias de precipitação:

$$i = \frac{X}{t} \times 60 \quad (4.2)$$

em que:

t = tempo de duração da precipitação, min;

i = intensidade média de precipitação, mm h⁻¹;

Procedeu-se a análise estatística das séries de chuva para cada duração, encontrando-se as médias e desvio padrão, representados nas Tabelas B1 e B2, constantes do Apêndice B.

Os valores de alturas máximas de chuvas para os 120 eventos selecionados no período de 1998 a 2005, constam da Tabela A1, do Apêndice A.

4.1.1 Distribuição de Gumbel

A distribuição estatística de Gumbel muito utilizada para análise de eventos máximos, conforme Martinez (1998). O trabalho desenvolvido para a cidade de São Paulo, permitiu obter as variáveis reduzidas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25 e 50 anos, expressas por:

$$y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right] \quad (4.3)$$

onde:

T_r = período de retorno;

y_T = variável reduzida Gumbel para período de retorno T_r.

Em função do número de anos de registro optou-se em adotar tempos de recorrência (T) de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, de acordo com o tipo de obra e ocupação da área para drenagem urbana. Esses valores são os comumente encontrados na literatura técnica, conforme Tabela 3.1. Os valores do fator de frequência (K), constantes da Tabela 4.1, foram calculados utilizando-se a equação 4.4.

Tabela 4.1 - Fator de frequência

T (anos)	K (fator de frequência)
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2504
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Segundo Wilken (1978) a linearização da relação entre X e T é bastante simplificada, aplica-se a distribuição de Gumbel utilizando a fórmula geral de Ven Te Chow. Neste caso o fator de frequência é calculado pela expressão:

$$K_T = - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0,577 + \ln \ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right] \quad (4.4)$$

A relação entre y_T e X_T é dado por:

$$y_T = \frac{X_T - \bar{X} + 0,45 \times S_x}{0,7797 \times S_x} \quad (4.5)$$

onde:

X_T = altura pluviométrica para um determinado período de retorno T_r ;

$\bar{X}$ = média da amostra;

S_x = desvio padrão da amostra;

y_T = variável reduzida Gumbel para período de retorno T_r .

4.1.2 Ajuste dos parâmetros da equação geral de intensidade

A equação geral definida em (3.1), pode ser comparada à equação de uma reta após uma primeira logaritmização, para tornar possível a determinação dos parâmetros locais "b" e "n" e dos regionais "a" e "m".

A partir da equação geral adota-se $a_0 = a T^m$, e de uma forma empírica da família de curvas (IDF), tem-se:

$$\ln i = \ln a_0 - n \ln(t+b) \quad (4.6)$$

Para Wilken (1978), não existe uma regra específica para determinação da constante “b”, por regressão linear a equação acima pode ser representada por:

$$Y = a_1 + b_1 .x \quad (4.7)$$

onde:

$$a_1 = \ln a_0 ;$$

$$b_1 = - n.$$

A determinação dos parâmetros locais e regionais e a obtenção das curvas IDF constam do item 5.1, Capítulo 5.

4.2 Análise estatística das intensidades de precipitação com a distribuição de Pearson III

Segundo Wilken (1978), a distribuição de Pearson tipo III é do tipo assimétrica, que mostra os desvios da variável a partir da média. São menos freqüentes, porém, maiores de um lado da média do que do outro.

A diferença para o cálculo da freqüência em relação ao método de Gumbel está na consideração do coeficiente de assimetria, a intensidade máxima foi calculada pela expressão:

$$Y_T = \bar{Y} + S_Y \cdot K_p \quad (4.8)$$

$$X_T = 10^{Y_T}$$

onde:

$$Y_t = \text{logaritmo de } X_T ;$$

$$X_T = \text{valor da altura pluviométrica calculada para determinado período de retorno } T_r ;$$

$$X_i = \text{valor numérico da altura pluviométrica};$$

$Y_i = \text{logaritmo do } X_i$;

$n = \text{número de eventos hidrológicos considerados}$;

$\bar{Y} = \text{média de } Y_i$;

$S_Y = \text{desvio padrão de } Y_i$;

$d = Y_i - \bar{Y}$ (desvio padrão entre Y_i e a média).

O coeficiente de assimetria "g" é expresso pela equação:

$$g = \frac{n \sum d_i^3}{(n-1)(n-2) \cdot S_Y^3} \quad (4.9)$$

O fator de frequência K_p da distribuição de Pearson tipo III depende de "g" e "T", obtidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Fatores de assimetria "K" para uso com Pearson III

Coeficiente de Assimetria C_s	Intervalo de recorrência em anos							
	2	5	10	25	50	100.	200	1000
	Porcentagem de probabilidade de ocorrência							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Fonte: WILKEN, 1978

Após obter os logaritmos das alturas tabuladas na Tabela A1, do Apêndice A, foram calculados as médias, os desvios padrão e os coeficientes de assimetria, para os mesmos tempos propostos na metodologia de Gumbel, demonstrados no item 5.2, Capítulo 5.

4.2.1 Parâmetros da equação geral de intensidade ajustados

Da mesma forma que foram calculados os parâmetros a, b, m e n na metodologia anterior, repete-se o procedimento para a distribuição de Pearson III, com discussão dos

resultados no item 5.2, Capítulo 5.

4.3 Intensidade de chuva pela metodologia de Bell

As relações entre intensidades de chuva para 1 hora em relação a qualquer período de retorno T_r , representado por $R_1^T = R_{24}^T$, para estudos relativos às precipitações, são muito utilizadas como parâmetros de avaliação das chuvas para obtenção de coeficientes de variação.

Os métodos de Gumbel e Pearson III forneceram resultados de variação das precipitações, para os mesmos tempos de retorno e duração, com pequenas diferenças entre os coeficientes de variação.

A partir das leituras das precipitações de 24 horas registradas, foram aplicados métodos estatísticos para a série dos 120 eventos considerados, obtendo-se as relações de intensidades de chuva para os métodos de Gumbel e Pearson III.

O gráfico da Figura 4.1, que representa as relações percentuais das chuvas de 1h/24h, será utilizado para determinar os parâmetros a_1 , b_1 e c_1 , representados na equação 3.2.

Para Back (2006), não existe uma indicação de qual método seria o ideal para definição de uma equação, mas existe um critério de relação entre várias alturas de chuvas e a hora de leitura das precipitações registradas, podendo ocorrer justificativas teóricas dos métodos estatísticos.

Os resultados obtidos por essa metodologia estão relacionados no item 5.3, do Capítulo 5.

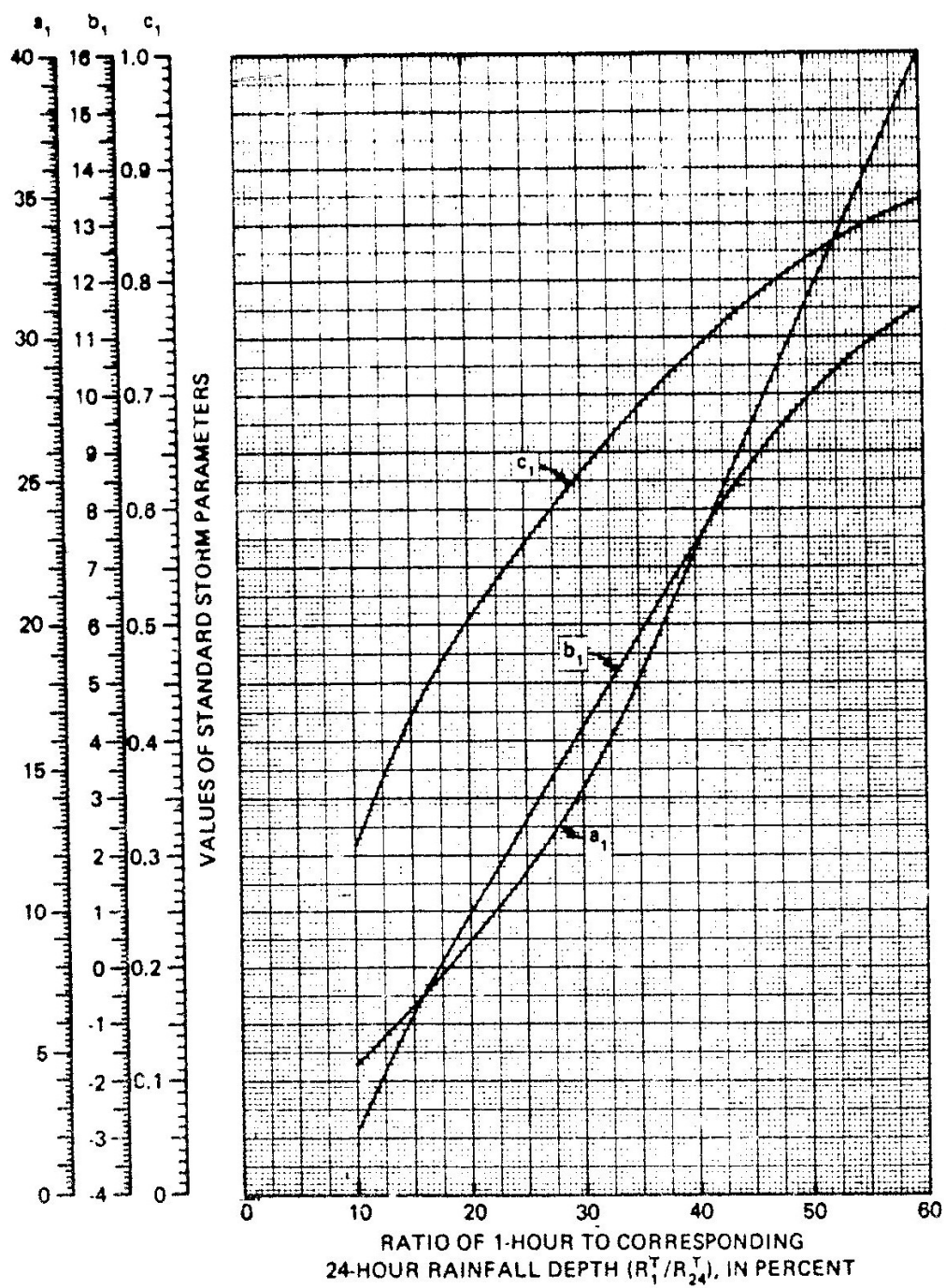


Figura 4.1 – Gráfico para determinação dos parâmetros a_1 , b_1 e c_1

Fonte: Cheng-Iung Chen, 1983

5 RESULTADOS

Aplicada a metodologia descrita no Capítulo 4, aos dados de chuva observados na estação da UNIDERP, para obtenção das relações IDF e utilizando estas relações à bacia hidrográfica urbana do Córrego Bandeira, obteve-se os resultados descritos a seguir.

5.1 Metodologia de Gumbel

As alturas pluviométricas calculadas para os tempos de recorrência adotados, encontram-se representadas na Tabela B3, do Apêndice B.

A partir dos dados da Tabela B3, foi obtido o gráfico da Figura 5.1, que representa a família de curvas, onde a abscissa representa os tempos e a ordenada as intensidades. Deve-se escolher qual o tipo de equação que melhor se adapta às curvas de chuva.

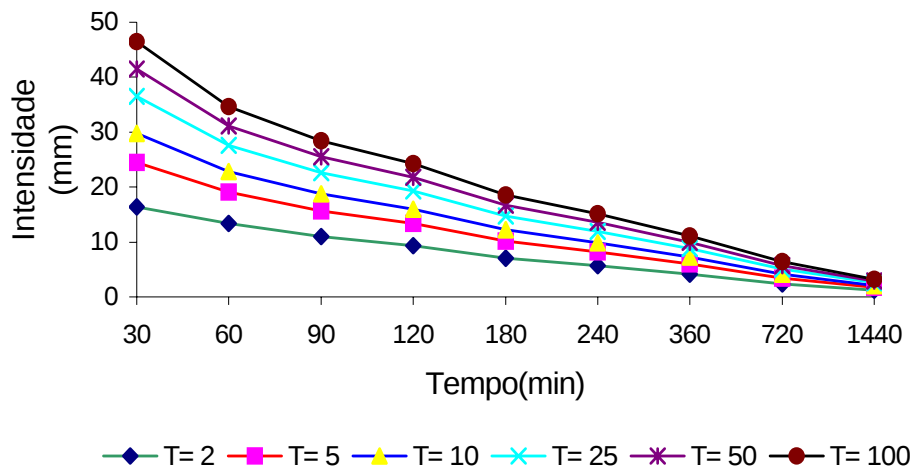


Figura 5.1 - Diagrama Logarítmico Intensidade-Duração (Gumbel)

Os parâmetros locais ajustados a partir da equação geral (equação 3.1) estão representados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Parâmetros locais ajustados a partir da equação geral

a_1	b_1	$A_0 = e^{a_1}$	n
7,208	-0,955	1349,673	0,955
7,580	-0,956	1957,960	0,956
7,766	-0,956	2359,935	0,956
7,961	-0,956	2867,427	0,956
8,084	-0,956	3243,739	0,956
8,193	-0,956	3617,176	0,956

Considerando “n” constante, para diferentes tempos de retorno, adotou-se a média dos valores obtidos que é de 0,956.

Os valores representados na Tabela 5.1, traduzem os valores dos pares (i,t) para os tempos de recorrência ou frequência determinados, onde o valor de “b” é dado pela inclinação da reta ajustada. Esse valor encontrado foi verificado pelo princípio dos quadrados mínimos.

A expressão $a_0 = a T^m$, pode ser ajustada pelo método dos quadrados mínimos, para obter os valores das constantes “a” e “m”, conforme Tabela 5.2, onde sob a forma logarítmica tem-se a seguinte representação:

$$\ln a_0 = \ln a + m \cdot \ln T \quad (5.1)$$

$$a_1 = \alpha + m \omega,$$

onde:

$$\alpha = \ln a$$

$$\omega = \ln T$$

Tabela 5.2 - Determinação dos parâmetros regionais

ω	a_1	α	m
0,693	7,208	7,134	0,244
1,609	7,580	1254,111	
2,303	7,766		
3,219	7,961		
3,912	8,084		
4,605	8,193		

Os resultados obtidos vêm da resolução das equações normais simultâneas, expressas por:

$$\alpha = \frac{\sum (\ln T)^2 \sum \ln a_1 - \sum (\ln a_1 \ln \omega) \sum \ln \omega}{n \sum (\ln \omega)^2 - (\sum \ln \omega)^2} \quad (5.2)$$

Foram encontrados os seguintes parâmetros:

$$a = 1254,11 \text{ e } m = 0,244$$

Na Figura 5.2 estão representados os valores simulados para o parâmetro “b”, onde se pode verificar o valor mínimo de 67, com aproximação ótima do resultado “F” , mínimo quadrado.

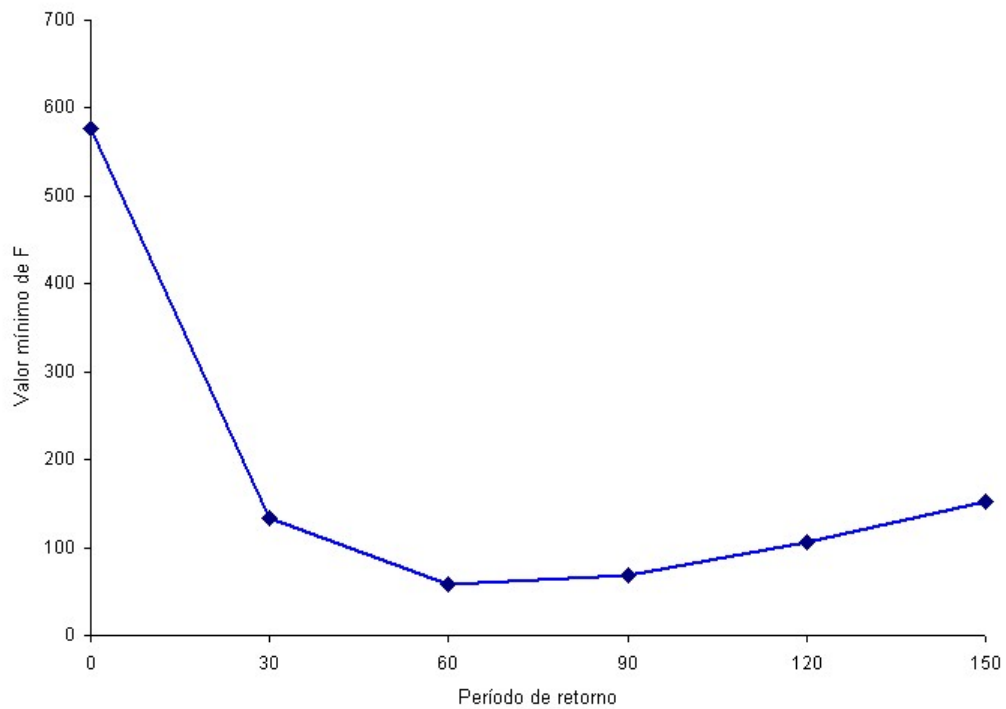


Figura 5.2 - Representação gráfica dos valores simulados para “b” (Gumbel)

Considerando os parâmetros obtidos através do método de Gumbel proposto e substituindo na equação geral das curvas IDF (equação 3.1), tem-se:

$$i = \frac{a \cdot T_r^m}{(t + b)^n}$$

$$a = 1254,11$$

$$b = 67$$

$$m = 0,244$$

$$n = 0,956$$

$$i = \frac{1254,11 T_r^{0,244}}{(t + 67)^{0,956}}, \text{ mm h}^{-1} \quad (5.3)$$

T_r - unidade em anos;

t - duração da chuva em minutos.

Na Figura 5.3 estão representadas as curvas IDF, para um intervalo de chuvas $30 \leq t \leq 1440$ minutos e $2 \leq T_r \leq 100$ anos.

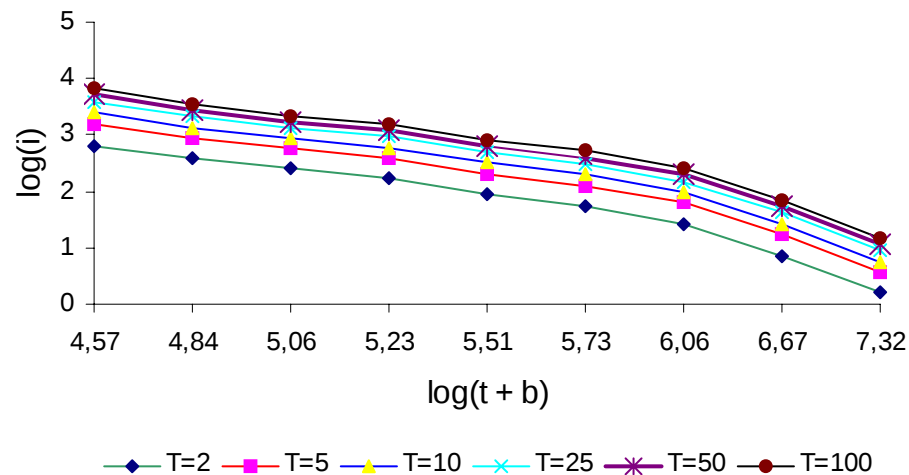


Figura 5.3 - Curvas IDF pelo método de Gumbel.

5.2 Metodologia Pearson III

Com os logaritmos das alturas tabuladas na Tabela A1, do Apêndice A, foram calculados as médias, os desvios padrão e os coeficientes de assimetria, para os mesmos tempos propostos na metodologia de Gumbel, conforme Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Médias, desvios padrão e coeficientes de assimetria dos logaritmos das alturas

t(tempo)	30	60	90	120	180	240	320	760	1440
$\bar{Y}$	1,218	1,120	1,034	0,963	0,844	0,748	0,617	0,363	0,083
S_Y	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18
g	-0,402	-0,546	-0,327	-0,203	-0,014	0,118	0,181	0,502	0,486

Os fatores de frequência K_p obtidos por interpolação, de acordo com os respectivos tempos de retorno considerados no estudo, estão demonstrados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Valores do fator de frequência K_p obtidos por interpolação

Tr (anos)	2	5	10	25	50	100
g						
-0,4000	0,0660	0,8550	1,2310	1,6060	1,8340	2,0290
-0,402	0,0664	0,8550	1,2306	1,6050	1,8326	2,0272
-0,5000	0,0830	0,8560	1,2160	1,5670	1,7770	1,9550
-0,546	0,0904	0,8565	1,2086	1,5490	1,7506	1,9203
-0,600	0,0990	0,8570	1,2000	1,5280	1,7200	1,8800
-0,300	0,050	0,853	1,245	1,643	1,8900	2,1040
-0,327	0,0544	0,8535	1,2412	1,6329	1,8747	2,0835
-0,400	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,200	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178
-0,203	0,0335	0,8501	1,2576	1,6789	1,9434	2,1759
-0,300	0,050	0,853	1,245	1,643	1,8900	2,1040
0,000	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,014	0,0024	0,8412	1,2803	1,7461	2,0464	2,3156
-0,100	0,017	0,836	1,27	1,716	2	2,252
0,100	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4
0,118	-0,0198	0,8349	1,2936	1,7908	2,1161	2,4126
0,200	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
0,100	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4
0,181	-0,0299	0,8311	1,2993	1,8117	2,1490	2,4582
0,200	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
0,500	-0,083	0,808	1,323	1,91	2,311	2,686
0,502	-0,0833	0,8078	1,3231	1,9106	2,3120	2,6874
0,600	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755
0,400	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615
0,486	-0,0806	0,8091	1,3222	1,9058	2,3041	2,6762
0,500	-0,083	0,808	1,323	1,91	2,311	2,686

Para obtenção do diagrama Logarítmico Intensidade–Duração Pearson III apresentado na Figura 5.4, correspondendo à família de curvas ID, foram calculados os logaritmos dos valores correspondentes aos tempos de retorno T_r e as alturas pluviométricas X_T , de acordo com as Tabelas B5 e B6, respectivamente, do Apêndice B.

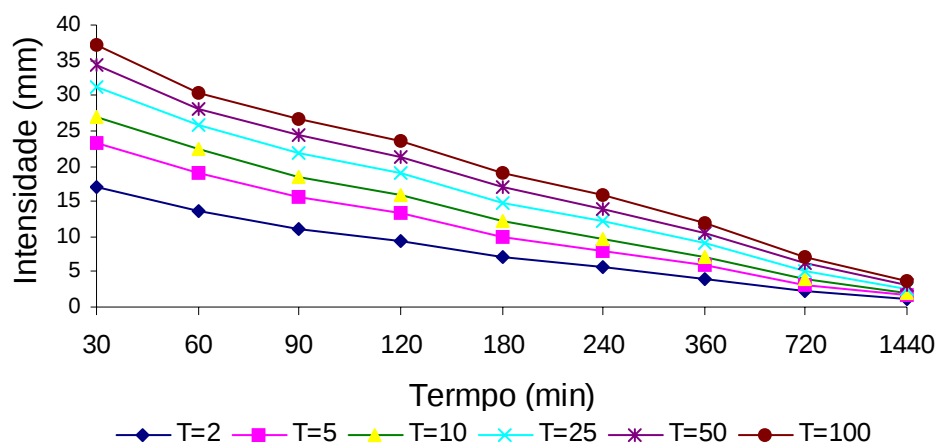


Figura 5.4 - Diagrama Logarítmico Intensidade-Duração Pearson III.

Da mesma forma que na metodologia anterior, procedeu-se a determinação dos parâmetros da equação geral de intensidade ajustados a , b , m e n .

A Tabela 5.7 apresenta os parâmetros locais.

Tabela 5.7 - Determinação dos parâmetros locais (b, n)

a_1	b_1	a_0	n
8,395	-1,128	4422,846	1,128
8,633	-1,108	5612,163	1,108
8,650	-1,080	5710,945	1,080
8,589	-1,035	5372,017	1,035
8,505	-0,999	4940,603	0,999
8,400	-0,962	4446,785	0,962

A Tabela 5.8 apresenta os parâmetros regionais.

Tabela 5.8 - Determinação dos parâmetros regionais (a, m)

ω	a_1	α	m
0,692	8,395	8,563	- 0,0126
1,609	8,633	5233,28	
2,303	8,650		
3,219	8,589		
3,912	8,505		
4,605	8,400		

Considerando “n” para diferentes tempos de retorno adotou-se a média dos valores obtidos como valor do “n” constante, ou seja, $n = 1,052$.

Os valores apresentados na Tabela 5.9, traduzem os valores dos pares (i,t) para os tempos de recorrência ou frequência determinados, onde o valor de “b” é dado pela inclinação da reta ajustada. Esse valor encontrado foi verificado também pelo princípio dos quadrados mínimos.

$$\ln a_0 = \ln a + m \cdot \ln T_r \quad (5.4)$$

fazendo:

$$a_1 = \ln a_0 \quad \alpha = \ln a \quad \omega = \ln T_r$$

Obtém-se a equação da reta:

$$a_1 = \alpha + m \omega$$

cujo ajuste produz:

$$\alpha = 8,563;$$

$$m = -0,0126$$

$$a = 5233,28.$$

Tabela 5.9 - Valores calculados para $b = 114$; t (min) e T_r (anos)

t T_r	144	174	204	234	294	354	474	834	1554
2	17,676	14,237	11,869	10,146	7,816	6,321	4,527	2,373	1,165
5	21,627	17,562	14,742	12,676	9,861	8,038	5,830	3,131	1,578
10	25,060	20,470	17,269	14,913	11,684	9,581	7,012	3,833	1,971
25	30,240	24,890	21,133	18,351	14,510	11,986	8,877	4,963	2,616
50	34,686	28,708	24,489	21,350	16,995	14,116	10,544	5,994	3,218
100	39,620	32,970	28,251	24,727	19,812	16,543	12,460	7,199	3,934

A expressão $a_0 = a T^m$, pode ser ajustada pelo método dos quadrados mínimos, para obter os valores das constantes “a” e “m”, da equação geral (3.1).

$$i = \frac{a.T^m}{(t+b)^{\alpha.T^{\beta}}}, \text{ mm h}^{-1} \quad (5.5)$$

Para os parâmetros determinados, empregou-se o método dos mínimos quadrados para validação da equação 5.4. Na Tabela 5.10 estão representados os cálculos obtidos da simulação de valor para “b”, em que “F” é um valor que objetiva minimizar a soma dos quadrados de desvios entre os valores observados e os valores ajustados das intensidades.

Tabela 5.10 - Quadrado dos desvios das intensidades - t (min) e T_r (anos)

t T _r	30	60	90	120	180	240	360	720	1440	Σ
2	0,528	0,267	0,632	0,673	0,684	0,603	0,195	0,022	0,000	3,603
5	2,500	2,427	0,858	0,391	0,036	0,000	0,006	0,015	0,012	6,246
10	3,597	3,241	1,616	0,935	0,221	0,039	0,040	0,047	0,013	9,750
25	1,111	0,843	0,715	0,522	0,131	0,018	0,011	0,055	0,001	3,407
50	0,177	0,296	0,006	0,002	0,003	0,027	0,029	0,029	0,009	0,578
100	6,718	7,061	2,321	1,111	0,609	0,470	0,382	0,001	0,086	18,758
F										42,342

Na Figura 5.5 estão representados os valores simulados para o parâmetro “b”, onde se pode verificar o valor mínimo para “F” de 42,34, com aproximação ótima de acordo com resultado do mínimo quadrado “F”, encontrado na Tabela B7, do Apêndice B.

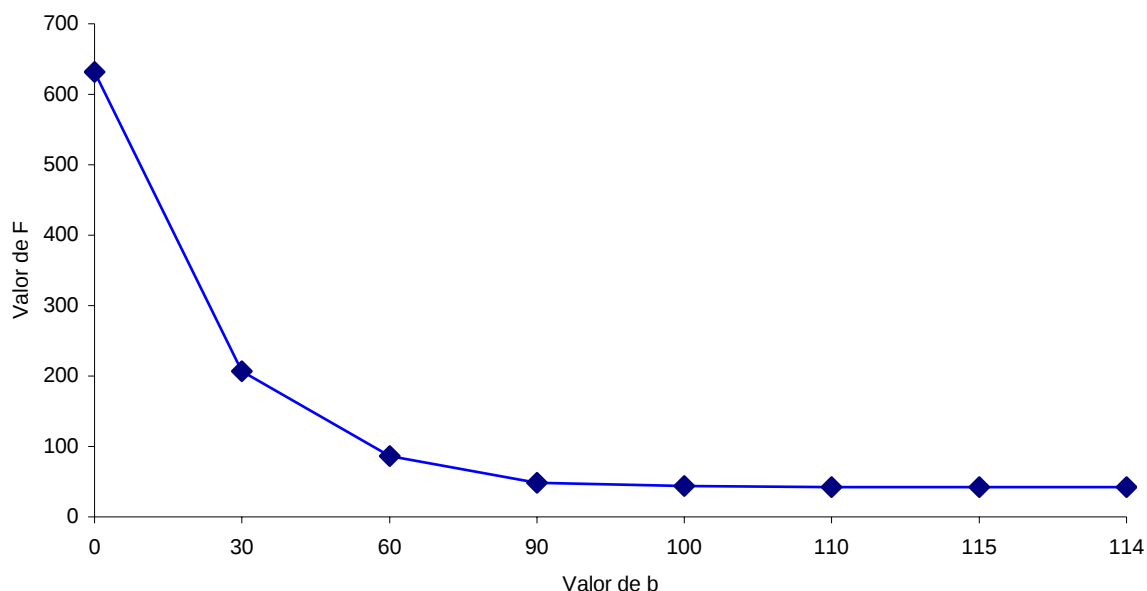


Figura 5.5 - Representação gráfica dos valores simulados para “b” (Pearson III)
 Considerando os parâmetros obtidos através do método de Pearson III proposto e substituindo na equação geral das curvas IDF, ajustada pelo método dos quadrados mínimos conforme a equação 5.5, teremos:

$$i = \frac{a.T^m}{(t+b)^{\alpha}.T^{\beta}}$$

onde:

$$a = 5233,21$$

$$b = 114$$

$$m = -0,013$$

$$\alpha = 1,18$$

$$\beta = -0,042$$

$$i = \frac{5233,28 T_r^{-0,013}}{(t+114)^{1,18}.T_r^{-0,042}} \quad (\text{mm h}^{-1}) \quad (5.6)$$

onde:

T_r - unidade em anos;

t - duração da chuva em minutos.

As curvas IDF são válidas para um intervalo de chuvas $30 \leq t \leq 1440$ minutos e período de retorno $2 \leq T \leq 100$ anos, representadas na Figura 5.6.

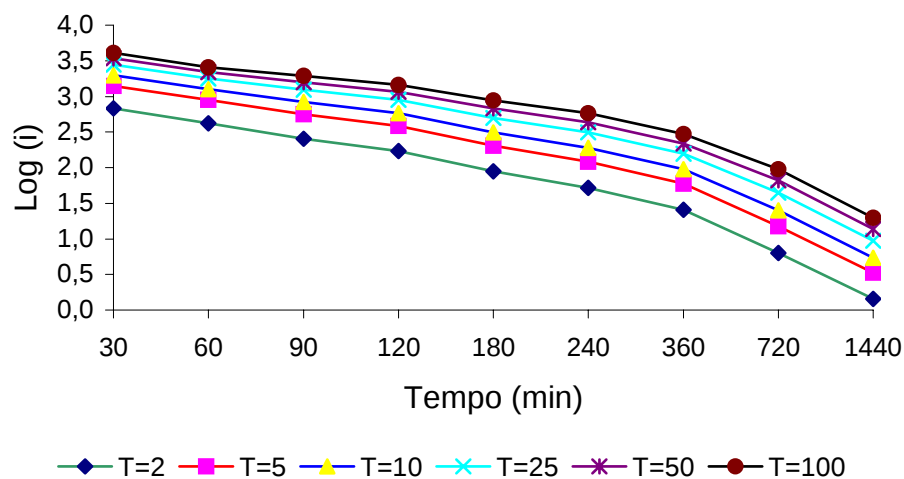


Figura 5.6 - Curvas IDF método Pearson III.

5.3 Metodologia de Bell

As relações das alturas (R) entre precipitações de 24 horas e de 1 dia, para tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, calculadas pelos métodos de Pearson III e de Gumbel, permitiram obter os resultados constantes das Tabelas B8 e B9, do Apêndice B.

A Figura 5.7 representa a relação de chuvas (24 horas – 1 dia) obtida pelo método de Pearson III.

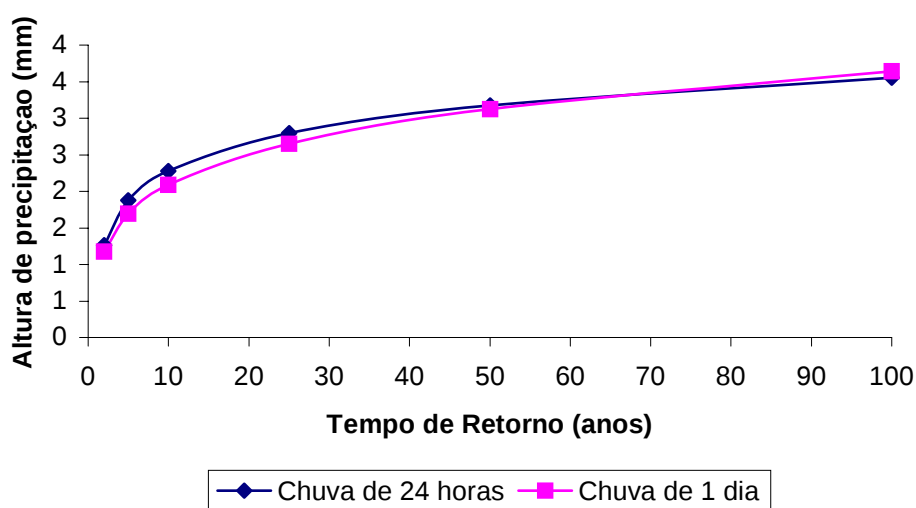


Figura 5.7 - Relação de Chuvas (24 horas – 1 dia) pelo método Pearson III.

A Figura 5.8 representa a relação de chuvas (24 horas – 1 dia) obtida pelo método de Gumbel.

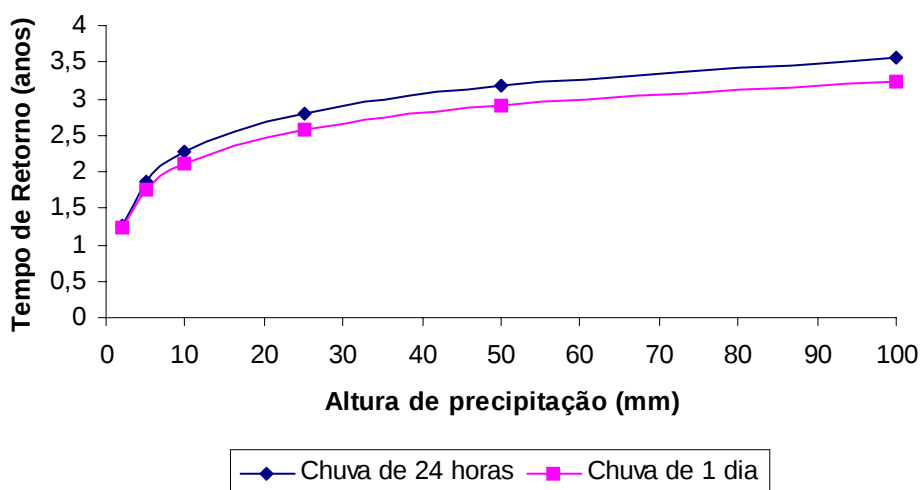


Figura 5.8 - Relação de Chuvas (24 horas – 1 dia) pelo método de Gumbel.

A análise dos valores máximos das relações de 24 horas e de 1 dia mostrou uma tendência das curvas de probabilidade manterem-se paralelas, conforme Figuras 5.6 e 5.7, caracterizando as precipitações convectivas que ocorrem no município de Campo Grande, devido ao aquecimento diurno que ocorre na cidade.

Os resultados obtidos para as relações das alturas (R) apresentaram valores de coeficientes de variação muito próximos. A partir das leituras das precipitações de 24 horas registradas, foram aplicados métodos estatísticos para a série dos 120 eventos considerados, obtendo-se as relações de intensidades de chuva para os métodos de Gumbel e Pearson III representadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Relações de Intensidade de chuva pelos métodos de Gumbel e Pearson III.

Método	Relações de Intensidade	Tempo de retorno em anos (T_r)		
		5	10	100
Gumbel	1h / 24h	0,423	0,417	0,407
	24h / 1dia	0,94	0,93	0,91
	90min	0,52	0,51	0,50
	12h / 24h	0,91	0,906	0,897
Pearson III	1h / 24h	0,424	0,407	0,355
	24h / 1dia	0,955	0,943	0,889
	90min	0,55	0,523	0,407
	12h / 24h	0,919	0,915	0,88

Observa-se na Tabela 5.11 que, independentemente do período de tempo e dos métodos utilizados, as relações de intensidade de chuva de 1h/24h correspondem à aproximadamente 42%,

5.4 Obtenção das intensidades de chuva para aplicação na sub-bacia do Bandeira

5.4.1 Intensidade de chuva por Gumbel

Valor da intensidade de chuva (i), obtido a partir da equação de chuva intensa (equação 5.3).

$$i = 24,17 \text{ mm h}^{-1}$$

sendo:

$$Tr = 10 \text{ anos};$$

$$t = 45 \text{ min}$$

5.4.2 Intensidade de chuva por Pearson III

Valor da intensidade de chuva (i), obtido a partir da equação de chuva intensa (equação 5.6):

$$i = 22,26 \text{ mm h}^{-1}$$

sendo:

$$Tr = 10 \text{ anos};$$

$$t = 45 \text{ min}$$

5.4.3 Intensidade de chuva pelo método de Bell

Valor da intensidade de chuva (r_t^T), obtido a partir da equação intensidade-duração (equação 3.2):

$$r_t^T = 32,19 \text{ mm h}^{-1}$$

sendo:

$$T = 10 \text{ anos}$$

$$t = 45 \text{ min.}$$

Do gráfico da Figura 4.1, tem-se:

$$a_1 = 24$$

$$b_1 = 8,7$$

$$c_1 = 0,76$$

Da Tabela B9, do Apêndice B, tem-se:

$$r_1^T = R = 1,07$$

A comparação dos resultados das equações de intensidade de chuvas de acordo com os métodos estatísticos de Gumbel e Pearson Tipo III, utilizados neste estudo, e as correlações das chuvas de 24 h e de 1 dia desenvolvidas por Bell, utilizando a distribuição de Gumbel, que de uma forma generalizada é bastante usada nos trabalhos de chuvas intensas, segundo Cruciani (citado por Back, 2006), além dos resultados obtidos pelas equações de Rondon (1981) e Figueiredo (1990), para os mesmos tempos de retorno e duração considerados, estão representados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Resultado comparativo das equações de intensidades de chuva

Métodos	Tr (anos)	T (min)	Intensidade de Chuva (i) (mm h ⁻¹)
Gumbel	10	45	24,17
Pearson Tipo III	10	45	22,16
Bell	10	45	32,19
Rondon	10	45	91,83
Figueiredo	10	45	72,06

5.5 Obtenção das vazões de projeto para a sub-bacia do Bandeira

5.5.1 Método racional modificado

Utilizando o método racional modificado, aplicando Gumbel e Bell, a partir da equação(3.3):

para:

A = 217,8 ha;

Coeficiente de runoff - C = 0,4;

Tempo de concentração - t = 45 min;

Coeficiente redutor - D = 0,9

Gumbel

$i = 24,17 \text{ mm h}^{-1}$

$Q = 2,778 \cdot 0,4 \cdot 24,17 \cdot 217,8^{0,9}$

$Q = 3,414 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Bell

$r_t^T = 32,19 \text{ mm h}^{-1}$

$Q = 2,778 \cdot 0,4 \cdot 32,19 \cdot 217,8^{0,9}$

$Q = 4,547 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

5.5.2 Método racional com critério de Fantolli

Utilizando o método racional com critério de Fantolli, aplicando Gumbel e Bell, a partir da equação (3.4):

para:

A = 217,8 ha

$m = 0,045$ (Tabela 3.2), considerando o grau de impermeabilização da bacia de 60,52%, segundo Shimada (2003).

$t_c = 45 \text{ min.}$

Gumbel

$$i = 24,17 \text{ mm h}^{-1}$$

$$f = 0,045 \cdot (24,17 \cdot 45)^{1/3}$$

$$f = 0,462$$

$$Q = 2,778 \cdot 217,8^{-0,15} \cdot 0,462 \cdot 24,17 \cdot 217,8$$

$$Q = 3,017 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Bell

$$r_t^T = 32,19 \text{ mm h}^{-1}$$

$$f = 0,045 \cdot (32,19 \cdot 45)^{1/3}$$

$$f = 0,509$$

$$Q = 2,778 \cdot 217,8^{-0,15} \cdot 0,509 \cdot 32,19 \cdot 217,8$$

$$Q = 4,420 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

5.5.3 Método dos blocos alternados por Gumbel

Foi utilizada a equação de Gumbel (5.3) para encontrar os valores das intensidades de chuva, apresentados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Valores das intensidades de chuva pelo Método dos blocos alternados

Duração	Intensidade de chuva	Altura de chuva acumulada	Altura incremental	Intervalo considerado	Precipitação (Ietograma)
(min)	(mm min ⁻¹)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
30	0,462	13,87	13,87	0 - 30	2,83
60	0,357	21,43	7,57	30 - 60	3,36
90	0,292	26,25	4,82	60 - 90	4,43
120	0,247	29,61	3,36	90 - 120	4,82
180	0,189	34,04	4,43	120 - 180	13,87
240	0,154	36,87	2,83	180 - 240	7,57
360	0,112	40,35	3,47	240 - 360	4,63
720	0,062	44,97	4,63	360 - 720	3,47
1440	0,034	48,34	3,36	720 - 1440	3,36

A partir dos valores apresentados na Tabela 5.13 gerou-se o Ietograma de projeto para a sub-bacia do Bandeira, representado na Figura 5.9, para os valores de precipitação com intervalos de chuva de 30 min e tempo de retorno de 10 anos.

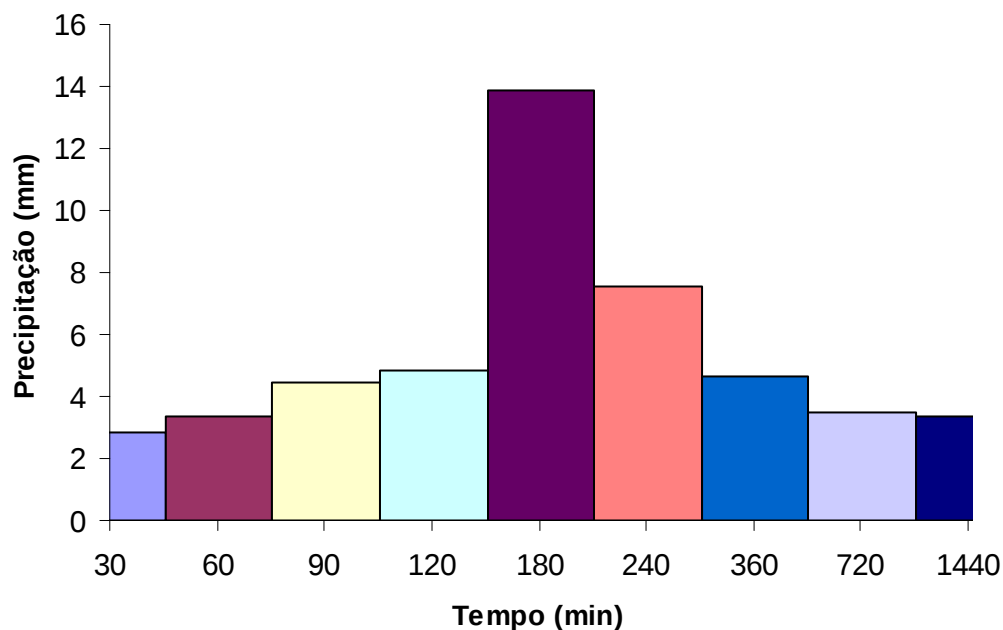


Figura 5.9 - Ietograma de projeto para a sub-bacia do Bandeira.

As vazões de precipitação (Q_p), para um tempo de concentração de 45 minutos, estão representadas na Tabela 5.14, onde pode-se verificar que o valor máximo da vazão de pico é de $16,78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Tabela 5.14 - Vazões de precipitação para tempo de concentração de 45 min.

Duração	Precipitação (Ietograma)	Volume precipitado (V_p)	Vazão de Precipitação (Q_p)	Vazão Unitária (Q_u)
(min)	(mm)	(m^3)	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
30	2,83	6.163,740	3,424	0,472
60	3,36	7.318,080	4,066	0,561
90	4,43	9.648,540	5,360	0,739
120	4,82	10.497,960	5,832	0,804
180	13,87	30.208,860	16,783	2,315
240	7,57	16.487,460	9,160	1,263
360	4,63	10.084,140	5,602	0,773
720	3,47	7.557,660	4,199	0,579
1440	3,36	7.318,080	4,066	0,561

Soma $Q_p = 58,491$

No Hidrograma da Figura 5.10 estão representadas as vazões de precipitação para um tempo de concentração de 45 minutos, de acordo com os dados da Tabela 5.14.

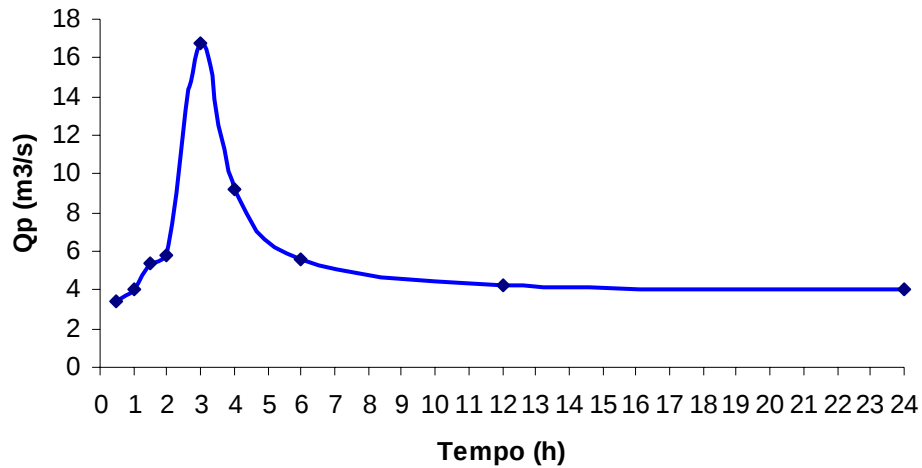


Figura 5.10 - Vazão de precipitação para um tempo de concentração de 45 min.

5.4.4 Valores das vazões obtidas

A tabela 5.15 apresenta os valores das vazões obtidas pelas metodologias aplicadas na sub-bacia hidrográfica do Córrego Bandeira.

Tabela 5.15 - Valores das vazões obtidas

Métodos	Tempo de retorno (Tr) (anos)	Tempo de concentração (tc) (min)	Vazão (Q) $m^3 s^{-1}$
Racional Modificado por Gumbel	10	45	3,414
Racional Modificado por Bell	10	45	4,547
Racional com critério de Fantolli por Gumbel	10	45	3,017
Método Racional com critério de Fantolli por Bell	10	45	4,420
Blocos Alternados por Gumbel	10	45	16,783

6 CONCLUSÕES

Apesar da utilização de uma série reduzida de dados pluviométricos e pluviográficos de uma única estação meteorológica, para efetivação deste trabalho, registrados entre 1998 a 2005, as relações de intensidade de chuva obtidas por metodologias estatísticas diferentes forneceram resultados próximos.

As vazões de projeto obtidas para a sub-bacia do córrego Bandeira, utilizando-se dos métodos: Racional Modificado (Gumbel e Bell) e Racional com Critério de Fantolli (Gumbel e Bell), também apresentaram resultados próximos.

Destaca-se aqui a importância da informação hidrológica com relação às bacias urbanas. As diferenças encontradas na comparação com resultados de estudos anteriores, justificam-se pelas distintas metodologias empregadas com parâmetros diferentes e dados de bacias com características próprias em relação ao seu grau de impermeabilização, fisiografia e topografia distintas, que interferem diretamente na obtenção das equações de chuvas intensas.

Os dados de uma estação meteorológica podem não oferecer valores confiáveis para outros locais de uma mesma cidade, devido às características próprias de cada região, seu grau de ocupação e a conservação ambiental, que influem diretamente no regime de chuvas.

Os resultados encontrados são válidos para períodos de retorno de 2 a 100 anos.

Na ausência de dados locais, os projetistas poderão criar soluções relacionadas ao controle do escoamento das águas pluviais nas vias públicas, proveniente das edificações, utilizando-se dos resultados encontrados para a sub-bacia do Bandeira.

Em estudos futuros poderá ser avaliada a influência do número de dados por ano na composição da série parcial no resultado das relações IDF.

7 BIBLIOGRAFIA

ARIMA, G. **Análise Comparativa de Metodologia do Cálculo de Vazões de Projeto utilizado em Drenagem Urbana: Estudo de Caso**. Campo Grande, 1998. 38 p. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AZEVEDO NETTO, J. M. de *et al.* **Manual de hidráulica**. v.2. SP: Edgard Blücher, 1969. 825 p.

BACK, A.J. **Relações Intensidades – Duração – Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina**. Rev Acta Sci Agron, Maringá, v.28, n.4 p. 575-581, 2006.

CHEN, C.I. (1983). **Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas**, Journal of the Hydraulics Engineering, v.109, n.12, p.1600-1609.

CETESB, Manual de projeto de drenagem urbana do Estado de São Paulo. 2 ed., SP, 1980.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, p.63-65.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M.; M.; GARCIAS, C. M.; ZENY, A. S.. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1984, p.115-117.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba: Champagnat, 1998, 99 p.

FIGUEIREDO, R. S. **Chuvas no Mato Grosso do Sul - MS**. Secretaria de Obras Públicas do Estado de Mato Grosso do Sul, 1990.

GENOVEZ, ABEL M., ZUFFO, A. C. **Chuvas intensas no estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa**. In. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, v.5, n.3, p.45-58, Porto Alegre, RS, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil socioeconômico**, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2.ed., revisada. São Paulo: Prolivros, 2004. p.112-115.

LANNA, A. E. **Hidrologia: Ciência e aplicação** – organizado por Carlos E. M. Tucci. 2 ed., Porto Alegre: ABRH, 2000. p.78-176.

MARTINEZ JR, F. **Análise das precipitações intensas no Estado de São Paulo**. Trabalho apresentado no XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1998.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed., Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, 1989.

PORTO, R. L. L. (Org). **Hidrologia ambiental**. Editora da USP, São Paulo: ABRH v.3, 1991.

RONDON, M. A. C. **Chuvas intensas em Campo Grande – MS**. Campo Grande: DHT, CCET, UFMS, Publicação Interna, 1981.

SHIMADA, N. K. **Determinação de vazão de projeto de drenagem pluvial urbana: Córrego Cabaça**. Campo Grande, 2003. 68 p. Monografia (Especialização em Planejamento e gerenciamento em recursos hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia urbana no Brasil**. ABRH Publicações, n.3. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1998.

SIMIOLI, C. M. **Determinação de Vazão de Projeto** (Córrego Bandeira, Seção Av. Rita Vieira de Andrade). Campo Grande: Departamento de Hidráulica e Transporte, Monografia de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, UFMS, 2006, 46p.

STEFFEN, J. L., RONDON M. A. C. **Determinação da vazão de projeto em bacias urbanas**. In: XVII – Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2000. Porto Alegre. AIDIS 2000. RJ: ABES, 2000. p. 380-381.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Editora Navegar, 2002, p. 138-158

TUCCI, C. E.M., COLLISCHONN, W. **Revisão sobre modelos hidrológicos**. Porto Alegre: IPH - UFRGS, 2004.

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2000, p.417-527-554.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978, 477 p.

ATLAS GEOGRÁFICO DIGITAL DE MATO GROSSO DO SUL. Município de Campo Grande. UNIDERP. <http://ww2.uniderp.br/Atlas/mesoclima.htm> (acesso em 30/08/2005).

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da População 2007. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/MS.pdf> (acesso em 30/11/2007)

APÊNDICE A

Tabelas de Leituras Pluviométricas e de Cálculos Estatísticos

TABELA A1 - ALTURAS MÁXIMAS

TABELA A2 - INTENSIDADE

TABELA A3 - QUADRADO DOS DESVIOS

TABELA A4 - ASSIMETRIA

TABELA A1 - Alturas máximas para diferentes durações

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
1998	1	10,0	20,0	27,0	33,0	35,4	39,0	55,4	59,4	59,4
	2	10,0	18,0	25,4	35,0	35,7	37,4	37,4	37,4	37,4
	3	10,0	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	22,2	22,6
	4	10,0	20,0	29,6	36,3	36,3	36,3	36,3	38,6	38,6
	5	5,7	9,6	10,0	14,0	14,8	15,2	20,4	20,4	20,4
	6	10,0	13,0	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
	7	10,0	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	16,0	16,0	16,0
	8	9,6	13,6	15,6	18,6	28,6	32,1	41,6	41,6	41,6
	9	10,0	18,0	28,0	32,5	34,2	36,1	37,8	38,4	38,4
	10	8,7	11,6	14,1	17,0	18,7	19,2	19,2	19,2	19,2
	11	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	15,2	15,2	15,2	15,2
	12	9,3	14,3	15,8	15,8	15,8	15,8	19,2	19,2	19,2
	13	5,5	10,5	11,1	16,1	20,1	20,1	20,1	25,6	29,9
	14	10,0	20,0	30,0	40,0	55,0	70,6	75,5	90,0	90,0
	15	10,0	19,0	26,0	36,0	46,8	54,8	54,8	54,8	54,8
1999	1	10,0	16,4	17,4	17,9	17,9	18,4	18,8	18,8	18,8
	2	10,0	20,0	29,0	36,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
	3	10,0	17,0	19,8	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	4	10,0	15,0	15,8	19,3	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
	5	10,0	17,0	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
	6	8,0	10,0	13,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
	7	10,0	13,0	16,6	19,6	23,4	23,4	29,1	36,8	36,8
	8	7,8	9,0	10,1	17,1	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	9	2,7	4,6	5,6	6,2	7,5	7,9	8,2	11,1	15,1
	10	10,0	13,5	15,5	17,0	20,0	23,0	37,8	41,3	43,8
	11	3,4	4,6	7,8	8,4	9,8	10,2	10,5	14,0	18,4
	12	6,0	10,5	13,0	15,4	18,7	22,0	24,0	25,2	31,8
	13	10,0	10,6	10,6	10,6	10,8	11,3	13,7	20,8	25,0
	14	6,5	12,5	18,5	24,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	15	5,0	9,4	12,6	13,2	17,5	20,0	25,0	28,0	42,8
2000	1	9,0	15,0	17,1	18,1	21,3	22,1	23,0	23,5	23,5
	2	10,0	19,9	29,8	36,3	46,7	53,7	56,5	89,4	89,4
	3	17,0	27,0	27,4	28,0	29,6	29,6	35,6	62,9	62,9
	4	9,0	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
	5	10,0	18,7	18,7	18,7	19,0	19,0	19,1	19,1	19,1
	6	10,0	17,0	19,5	21,5	21,5	21,5	24,4	24,4	24,4
	7	7,5	8,6	11,5	14,6	19,8	24,4	35,6	49,0	49,0
	8	10,0	19,8	21,8	28,8	40,6	42,4	51,2	51,5	51,5
	9	10,0	19,5	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	36,8	38,4
	10	6,0	11,7	12,1	12,3	13,3	13,6	16,0	17,3	17,3
	11	10,0	19,5	20,5	21,5	26,5	27,4	27,4	27,4	27,4
	12	10,0	19,8	28,2	36,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4

	13	6,0	6,5	8,5	9,5	9,5	9,8	14,3	14,6	28,9
	14	10,0	16,0	19,5	21,5	25,2	28,7	35,2	44,1	49,0
	15	9,5	17,5	23,5	27,0	32,0	33,7	33,7	33,7	33,7

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2001	1	7,0	13,5	16,5	19,5	22,8	27,4	32,8	35,7	35,7
	2	6,0	10,0	12,4	15,3	18,7	22,2	24,5	26,5	26,5
	3	10,0	16,4	16,8	16,8	16,8	16,8	19,5	26,3	26,3
	4	9,8	18,9	28,2	29,9	30,8	30,8	38,7	48,9	48,9
	5	10,0	18,0	19,0	21,4	23,0	33,0	34,5	40,5	40,5
	6	8,0	9,4	15,4	16,4	19,6	22,6	24,4	24,4	24,4
	7	6,0	11,2	16,2	19,0	20,2	21,7	22,3	26,3	26,3
	8	9,8	13,6	16,1	16,3	16,7	16,7	20,6	34,3	38,5
	9	10,0	19,8	29,1	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
	10	9,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	19,0	26,0	26,0
	11	9,6	14,6	18,6	20,6	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
	12	7,0	8,5	8,5	8,5	8,5	8,8	10,7	19,2	19,2
	13	10,0	20,0	26,0	30,0	38,0	38,8	40,3	46,5	46,5
	14	8,0	11,0	14,0	19,2	25,2	26,1	26,6	27,0	27,0
	15	5,0	9,0	13,0	15,0	16,3	17,6	19,3	19,8	19,8
2002	1	3,0	6,0	7,0	9,0	11,0	15,0	19,7	24,0	24,0
	2	10,0	20,0	24,5	25,5	30,6	32,6	44,5	48,0	49,4
	3	14,0	21,0	22,0	22,5	22,5	23,0	23,0	23,0	23,0
	4	10,0	14,5	17,6	22,1	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9
	5	10,0	17,0	23,4	25,9	29,2	31,6	33,7	34,1	34,1
	6	3,0	5,0	7,0	9,0	13,5	16,3	21,6	24,9	24,9
	7	10,0	19,5	21,1	21,3	21,6	22,3	23,4	23,4	27,0
	8	7,0	12,3	12,5	13,3	14,5	16,5	24,6	29,1	33,0
	9	7,0	10,0	12,0	17,0	21,5	23,0	23,0	23,0	23,0
	10	50,0	60,0	66,2	70,0	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4
	11	10,0	16,9	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
	12	5,0	10,0	12,5	14,2	16,9	19,1	19,5	19,5	19,5
	13	7,0	12,0	17,0	21,0	26,0	33,0	44,4	55,9	56,3
	14	4,0	5,6	7,4	7,4	10,0	10,2	12,8	17,2	19,3
	15	10,3	14,1	18,7	20,5	25,7	25,7	25,8	25,8	25,8
2003	1	10,0	20,0	20,5	25,9	26,5	27,0	27,4	27,4	27,4
	2	10,0	20,0	21,0	21,8	33,8	41,8	45,9	63,8	64,0
	3	5,0	9,2	10,2	11,1	12,3	13,5	14,1	17,4	23,9
	4	10,0	16,0	22,0	28,0	40,0	42,5	52,0	54,5	54,5
	5	18,0	28,0	38,0	39,0	42,6	43,5	43,6	43,6	43,6
	6	11,0	12,0	18,0	20,0	28,0	28,0	36,0	40,8	40,8
	7	5,0	7,0	8,0	9,0	10,5	14,1	18,7	19,7	19,7
	8	10,0	13,0	20,0	22,0	30,0	32,8	35,6	36,2	36,2
	9	10,0	14,2	24,2	24,7	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2

TABELA A2 – Intensidades máximas para diferentes durações

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
1998	1	20,0	20,0	18,0	16,5	11,8	9,8	9,2	5,0	2,5
	2	20,0	18,0	16,9	17,5	11,9	9,4	6,2	3,1	1,6
	3	20,0	13,4	8,9	6,7	4,5	3,4	2,2	1,9	0,9
	4	20,0	20,0	19,7	18,2	12,1	9,1	6,1	3,2	1,6
	5	11,4	9,6	6,7	7,0	4,9	3,8	3,4	1,7	0,9
	6	20,0	13,0	13,6	10,2	6,8	5,1	3,4	1,7	0,9
	7	20,0	14,5	9,7	7,3	4,8	3,6	2,7	1,3	0,7
	8	19,2	13,6	10,4	9,3	9,5	8,0	6,9	3,5	1,7
	9	20,0	18,0	18,7	16,3	11,4	9,0	6,3	3,2	1,6
	10	17,4	11,6	9,4	8,5	6,2	4,8	3,2	1,6	0,8
	11	20,0	10,0	6,7	5,0	3,3	3,8	2,5	1,3	0,6
	12	18,6	14,3	10,5	7,9	5,3	4,0	3,2	1,6	0,8
	13	11,0	10,5	7,4	8,1	6,7	5,0	3,4	2,1	1,2
	14	20,0	20,0	20,0	20,0	18,3	17,7	12,6	7,5	3,8
	15	20,0	19,0	17,3	18,0	15,6	13,7	9,1	4,6	2,3
1999	1	20,0	16,4	11,6	9,0	6,0	4,6	3,1	1,6	0,8
	2	20,0	20,0	19,3	18,0	13,0	9,8	6,5	3,3	1,6
	3	20,0	17,0	13,2	11,0	7,3	5,5	3,7	1,8	0,9
	4	20,0	15,0	10,5	9,7	8,3	6,2	4,1	2,1	1,0
	5	20,0	17,0	14,8	11,1	7,4	5,6	3,7	1,9	0,9
	6	16,0	10,0	8,7	7,6	5,1	3,8	2,5	1,3	0,6
	7	20,0	13,0	11,1	9,8	7,8	5,9	4,9	3,1	1,5
	8	15,6	9,0	6,7	8,6	6,7	5,0	3,3	1,7	0,8
	9	5,4	4,6	3,7	3,1	2,5	2,0	1,4	0,9	0,6
	10	20,0	13,5	10,3	8,5	6,7	5,8	6,3	3,4	1,8
	11	6,8	4,6	5,2	4,2	3,3	2,6	1,8	1,2	0,8
	12	12,0	10,5	8,7	7,7	6,2	5,5	4,0	2,1	1,3
	13	20,0	10,6	7,1	5,3	3,6	2,8	2,3	1,7	1,0
	14	13,0	12,5	12,3	12,0	10,0	7,5	5,0	2,5	1,3
	15	10,0	9,4	8,4	6,6	5,8	5,0	4,2	2,3	1,8
2000	1	18,0	15,0	11,4	9,1	7,1	5,5	3,8	2,0	1,0
	2	20,0	19,9	19,9	18,2	15,6	13,4	9,4	7,5	3,7
	3	34,0	27,0	18,3	14,0	9,9	7,4	5,9	5,2	2,6
	4	18,0	16,4	10,9	8,2	5,5	4,1	2,7	1,4	0,7
	5	20,0	18,7	12,5	9,4	6,3	4,8	3,2	1,6	0,8
	6	20,0	17,0	13,0	10,8	7,2	5,4	4,1	2,0	1,0
	7	15,0	8,6	7,7	7,3	6,6	6,1	5,9	4,1	2,0
	8	20,0	19,8	14,5	14,4	13,5	10,6	8,5	4,3	2,1
	9	20,0	19,5	15,4	11,6	7,7	5,8	3,9	3,1	1,6
	10	12,0	11,7	8,1	6,2	4,4	3,4	2,7	1,4	0,7
	11	20,0	19,5	13,7	10,8	8,8	6,9	4,6	2,3	1,1
	12	20,0	19,8	18,8	18,2	12,8	9,6	6,4	3,2	1,6

13	12,0	6,5	5,7	4,8	3,2	2,5	2,4	1,2	1,2
14	20,0	16,0	13,0	10,8	8,4	7,2	5,9	3,7	2,0
15	19,0	17,5	15,7	13,5	10,7	8,4	5,6	2,8	1,4

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2001	1	14,0	13,5	11,0	9,8	7,6	6,9	5,5	3,0	1,5
	2	12,0	10,0	8,3	7,7	6,2	5,6	4,1	2,2	1,1
	3	20,0	16,4	11,2	8,4	5,6	4,2	3,3	2,2	1,1
	4	19,6	18,9	18,8	15,0	10,3	7,7	6,5	4,1	2,0
	5	20,0	18,0	12,7	10,7	7,7	8,3	5,8	3,4	1,7
	6	16,0	9,4	10,3	8,2	6,5	5,7	4,1	2,0	1,0
	7	12,0	11,2	10,8	9,5	6,7	5,4	3,7	2,2	1,1
	8	19,6	13,6	10,7	8,2	5,6	4,2	3,4	2,9	1,6
	9	20,0	19,8	19,4	15,5	10,3	7,8	5,2	2,6	1,3
	10	18,0	15,0	10,0	7,5	5,0	3,8	3,2	2,2	1,1
	11	19,2	14,6	12,4	10,3	7,7	5,8	3,9	1,9	1,0
	12	14,0	8,5	5,7	4,3	2,8	2,2	1,8	1,6	0,8
	13	20,0	20,0	17,3	15,0	12,7	9,7	6,7	3,9	1,9
	14	16,0	11,0	9,3	9,6	8,4	6,5	4,4	2,3	1,1
	15	10,0	9,0	8,7	7,5	5,4	4,4	3,2	1,7	0,8
2002	1	6,0	6,0	4,7	4,5	3,7	3,8	3,3	2,0	1,0
	2	20,0	20,0	16,3	12,8	10,2	8,2	7,4	4,0	2,1
	3	28,0	21,0	14,7	11,3	7,5	5,8	3,8	1,9	1,0
	4	20,0	14,5	11,7	11,1	8,0	6,0	4,0	2,0	1,0
	5	20,0	17,0	15,6	13,0	9,7	7,9	5,6	2,8	1,4
	6	6,0	5,0	4,7	4,5	4,5	4,1	3,6	2,1	1,0
	7	20,0	19,5	14,1	10,7	7,2	5,6	3,9	2,0	1,1
	8	14,0	12,3	8,3	6,7	4,8	4,1	4,1	2,4	1,4
	9	14,0	10,0	8,0	8,5	7,2	5,8	3,8	1,9	1,0
	10	100,0	60,0	44,1	35,0	24,5	18,4	12,2	6,1	3,1
	11	20,0	16,9	11,5	8,6	5,7	4,3	2,9	1,4	0,7
	12	10,0	10,0	8,3	7,1	5,6	4,8	3,3	1,6	0,8
	13	14,0	12,0	11,3	10,5	8,7	8,3	7,4	4,7	2,3
	14	8,0	5,6	4,9	3,7	3,3	2,6	2,1	1,4	0,8
	15	20,6	14,1	12,5	10,3	8,6	6,4	4,3	2,2	1,1
2003	1	20,0	20,0	13,7	13,0	8,8	6,8	4,6	2,3	1,1
	2	20,0	20,0	14,0	10,9	11,3	10,5	7,7	5,3	2,7
	3	10,0	9,2	6,8	5,6	4,1	3,4	2,4	1,5	1,0
	4	20,0	16,0	14,7	14,0	13,3	10,6	8,7	4,5	2,3
	5	36,0	28,0	25,3	19,5	14,2	10,9	7,3	3,6	1,8
	6	22,0	12,0	12,0	10,0	9,3	7,0	6,0	3,4	1,7
	7	10,0	7,0	5,3	4,5	3,5	3,5	3,1	1,6	0,8
	8	20,0	13,0	13,3	11,0	10,0	8,2	5,9	3,0	1,5
	9	20,0	14,2	16,1	12,4	8,4	6,3	4,2	2,1	1,1

	10	20,0	20,0	17,3	15,5	13,3	10,2	8,5	4,7	2,3
	11	12,0	6,0	5,9	4,4	4,9	3,7	2,5	1,3	0,6
	12	21,0	20,5	17,0	15,7	10,7	8,1	5,4	2,7	1,3
	13	20,0	15,0	10,5	8,0	5,5	4,1	2,7	1,4	0,7
	14	8,0	4,9	3,9	3,3	3,2	3,1	2,4	1,6	0,9
	15	20,0	18,5	15,8	12,1	8,8	6,6	4,6	2,3	1,2

(conclusão)										
Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2004	1	20,0	16,0	12,7	11,7	10,0	9,4	7,0	3,6	1,8
	2	20,0	20,0	14,7	12,0	9,3	7,9	5,4	2,7	1,4
	3	20,0	11,9	9,3	7,4	4,9	3,7	2,5	1,3	0,7
	4	20,0	13,0	9,1	7,0	4,7	3,5	2,3	1,9	1,2
	5	20,0	12,0	9,3	7,8	6,2	4,6	3,9	2,1	1,0
	6	20,0	14,2	11,1	8,8	6,2	4,9	4,1	3,2	1,9
	7	19,0	13,7	10,8	8,5	6,1	4,9	4,1	3,2	1,9
	8	8,0	7,2	7,3	6,9	5,0	4,1	2,8	1,8	0,9
	9	20,0	12,5	10,3	8,1	5,6	4,4	2,9	1,5	0,7
	10	10,0	10,0	8,0	7,0	7,0	7,0	5,0	2,5	1,3
	11	16,0	14,0	10,9	9,2	7,1	6,1	4,4	2,4	1,4
	12	20,0	18,5	19,0	16,8	13,3	11,3	8,3	4,2	2,1
	13	16,0	10,0	7,7	6,3	5,1	3,8	2,9	1,5	0,7
	14	16,8	16,4	11,9	9,5	7,0	5,5	5,3	2,7	1,4
	15	20,0	19,0	15,3	12,5	9,1	7,3	5,2	2,6	1,3
2005	1	18,0	10,0	7,3	5,8	4,2	3,4	2,5	1,7	1,1
	2	20,0	17,4	12,3	9,3	6,2	4,6	3,6	2,0	1,3
	3	12,0	9,0	8,7	8,5	6,4	4,8	3,2	1,6	0,8
	4	14,0	7,9	5,9	7,5	5,3	4,2	3,3	1,9	0,9
	5	4,0	3,0	2,7	2,7	2,4	2,2	1,8	1,4	0,7
	6	20,0	20,0	14,7	12,0	8,5	6,9	5,7	3,8	2,2
	7	20,0	19,0	15,7	12,6	8,4	6,3	4,2	2,1	1,0
	8	20,0	11,4	8,5	7,2	5,4	4,0	2,7	1,4	0,7
	9	20,0	14,3	10,2	8,2	5,8	4,3	3,2	1,9	1,0
	10	18,0	17,8	15,5	12,1	8,9	6,8	4,8	2,4	1,2
	11	6,4	6,3	5,9	5,4	4,8	4,1	2,8	1,4	0,7
	12	10,4	9,4	8,5	7,4	7,2	6,1	4,9	2,7	2,0
	13	19,0	18,8	18,0	17,4	12,3	9,2	6,1	3,1	1,5
	14	12,0	6,5	5,7	4,8	3,2	2,5	2,4	1,2	1,2
	15	12,0	11,5	10,8	9,5	6,3	4,8	3,2	1,6	0,8
Soma	120	2146,0	1729,3	1420,7	1209,0	919,3	737,2	544,8	304,5	158,9
	Média	17,9	14,4	11,8	10,1	7,7	6,1	4,5	2,5	1,3

TABELA A3 – Quadrado dos desvios

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
1998	1	4,5	31,2	38,0	41,3	17,1	13,0	22,0	5,8	1,3
	2	4,5	12,9	26,0	55,1	18,0	10,3	2,9	0,3	0,1
	3	4,5	1,0	8,4	11,4	10,2	7,8	5,3	0,5	0,1
	4	4,5	31,2	62,3	65,2	19,7	8,6	2,3	0,5	0,1
	5	42,0	23,1	26,8	9,5	7,4	5,5	1,3	0,7	0,2
	6	4,5	2,0	3,1	0,0	0,7	1,1	1,3	0,7	0,2
	7	4,5	0,0	4,7	8,0	8,0	6,3	3,5	1,5	0,4
	8	1,7	0,7	2,1	0,6	3,5	3,5	5,7	0,9	0,2
	9	4,5	12,9	46,6	38,1	14,0	8,3	3,1	0,4	0,1
	10	0,2	7,9	5,9	2,5	2,0	1,8	1,8	0,9	0,3
	11	4,5	19,5	26,8	25,8	18,7	5,5	4,0	1,6	0,5
	12	0,5	0,0	1,7	4,7	5,7	4,8	1,8	0,9	0,3
	13	47,4	15,3	19,7	4,1	0,9	1,3	1,4	0,2	0,0
	14	4,5	31,2	66,6	98,5	113,9	132,4	64,7	24,6	5,9
	15	4,5	21,1	30,2	62,8	63,0	57,1	21,1	4,1	0,9
1999	1	4,5	4,0	0,1	1,3	2,9	2,4	2,0	0,9	0,3
	2	4,5	31,2	56,2	62,8	28,5	13,0	3,8	0,5	0,1
	3	4,5	6,7	1,9	0,9	0,1	0,4	0,8	0,5	0,2
	4	4,5	0,3	1,7	0,2	0,4	0,0	0,2	0,2	0,1
	5	4,5	6,7	8,8	1,1	0,1	0,4	0,7	0,5	0,2
	6	3,5	19,5	10,1	6,1	6,7	5,5	4,0	1,6	0,5
	7	4,5	2,0	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0
	8	5,2	29,3	26,1	2,3	1,0	1,3	1,5	0,8	0,2
	9	155,8	96,3	65,7	48,6	26,6	17,4	10,1	2,6	0,5
	10	4,5	0,8	2,3	2,5	1,0	0,2	3,1	0,8	0,3
	11	122,8	96,3	44,1	34,5	19,3	12,9	7,8	1,9	0,3
	12	34,6	15,3	10,1	5,6	2,0	0,4	0,3	0,2	0,0
	13	4,5	14,5	22,8	22,8	16,5	11,0	5,1	0,6	0,1
	14	23,8	3,7	0,2	3,7	5,5	1,8	0,2	0,0	0,0
	15	62,1	25,1	11,8	12,1	3,3	1,3	0,1	0,0	0,2
2000	1	0,0	0,3	0,2	1,0	0,3	0,4	0,5	0,3	0,1
	2	4,5	30,1	64,4	65,2	62,5	53,0	23,8	24,1	5,8
	3	259,7	158,5	41,3	15,4	4,9	1,6	1,9	7,3	1,7
	4	0,0	4,0	0,8	3,5	4,8	4,2	3,3	1,4	0,4
	5	4,5	18,4	0,4	0,5	1,8	1,9	1,8	0,9	0,3
	6	4,5	6,7	1,3	0,5	0,2	0,6	0,2	0,3	0,1
	7	8,3	33,8	17,4	7,7	1,1	0,0	1,9	2,4	0,5
	8	4,5	29,0	7,3	18,7	34,5	19,9	15,9	3,1	0,7
	9	4,5	25,9	12,7	2,2	0,0	0,1	0,5	0,3	0,1
	10	34,6	7,3	14,2	15,4	10,4	7,5	3,5	1,2	0,4
	11	4,5	25,9	3,3	0,5	1,4	0,5	0,0	0,1	0,0
	12	4,5	29,0	48,5	66,0	26,4	11,9	3,5	0,4	0,1

	13	34,6	62,6	38,1	28,4	20,2	13,6	4,7	1,7	0,0
	14	4,5	2,5	1,3	0,5	0,5	1,1	1,8	1,3	0,5
	15	1,2	9,5	14,7	11,7	9,0	5,2	1,2	0,1	0,0

(continua)

Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2001	1	15,1	0,8	0,7	0,1	0,0	0,5	0,9	0,2	0,0
	2	34,6	19,5	12,8	5,9	2,0	0,4	0,2	0,1	0,0
	3	4,5	4,0	0,4	2,8	4,2	3,8	1,7	0,1	0,1
	4	2,9	20,2	48,5	23,8	6,8	2,4	3,6	2,4	0,5
	5	4,5	12,9	0,7	0,4	0,0	4,4	1,5	0,7	0,1
	6	3,5	25,1	2,5	3,5	1,3	0,2	0,2	0,3	0,1
	7	34,6	10,3	1,1	0,3	0,9	0,5	0,7	0,1	0,1
	8	2,9	0,7	1,2	3,7	4,4	3,9	1,2	0,1	0,1
	9	4,5	29,0	57,2	29,4	7,1	2,6	0,4	0,0	0,0
	10	0,0	0,3	3,4	6,6	7,1	5,7	1,9	0,1	0,1
	11	1,7	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,5	0,4	0,1
	12	15,1	34,9	38,1	33,9	23,3	15,6	7,6	0,9	0,3
	13	4,5	31,2	30,2	24,3	25,1	12,6	4,7	1,8	0,4
	14	3,5	11,6	6,3	0,2	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0
	15	62,1	29,3	10,1	6,6	5,0	3,0	1,8	0,8	0,2
2002	1	141,2	70,7	51,4	31,1	16,0	5,7	1,6	0,3	0,1
	2	4,5	31,2	20,2	7,2	6,4	4,0	8,3	2,1	0,5
	3	102,3	43,4	8,0	1,4	0,0	0,2	0,5	0,4	0,1
	4	4,5	0,0	0,0	1,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,1
	5	4,5	6,7	14,1	8,3	4,3	3,1	1,2	0,1	0,0
	6	141,2	88,6	51,4	31,1	10,0	4,3	0,9	0,2	0,1
	7	4,5	25,9	5,0	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,0
	8	15,1	4,5	12,3	11,7	8,0	4,1	0,2	0,0	0,0
	9	15,1	19,5	14,7	2,5	0,2	0,2	0,5	0,4	0,1
	10	6743,1	2078,4	1042,9	621,3	282,4	149,0	59,2	12,8	3,0
	11	4,5	6,2	0,1	2,2	3,7	3,4	2,8	1,2	0,4
	12	62,1	19,5	12,3	8,8	4,1	1,9	1,7	0,8	0,3
	13	15,1	5,8	0,3	0,2	1,0	4,4	8,2	4,5	1,0
	14	97,7	77,6	47,7	40,6	18,7	12,9	5,8	1,2	0,3
	15	7,4	0,1	0,4	0,0	0,8	0,1	0,1	0,2	0,1
2003	1	4,5	31,2	3,3	8,3	1,4	0,4	0,0	0,1	0,0
	2	4,5	31,2	4,7	0,7	13,0	18,5	9,7	7,7	1,8
	3	62,1	27,2	25,4	20,5	12,7	7,7	4,8	1,2	0,1
	4	4,5	2,5	8,0	15,4	32,2	20,1	17,0	4,0	0,9
	5	328,2	184,7	182,1	88,8	42,8	22,4	7,4	1,2	0,2
	6	16,9	5,8	0,0	0,0	2,8	0,7	2,1	0,7	0,1
	7	62,1	54,9	42,3	31,1	17,3	6,9	2,0	0,8	0,3
	8	4,5	2,0	2,2	0,9	5,5	4,2	1,9	0,2	0,0
	9	4,5	0,0	18,4	5,2	0,5	0,0	0,1	0,2	0,1

	10	4,5	31,2	30,2	29,4	31,4	16,7	15,6	4,6	1,0
	11	34,6	70,7	35,7	32,2	7,4	6,0	4,1	1,6	0,5
	12	9,7	37,1	26,6	31,1	9,4	3,6	0,7	0,0	0,0
	13	4,5	0,3	1,7	4,3	4,8	4,2	3,3	1,4	0,4
	14	97,7	90,5	63,6	45,9	19,6	9,1	4,7	0,9	0,2
	15	4,5	16,7	15,7	4,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0

(conclusão)										
Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2004	1	4,5	2,5	0,7	2,6	5,5	10,3	5,8	1,1	0,2
	2	4,5	31,2	8,0	3,7	2,8	3,2	0,7	0,0	0,0
	3	4,5	6,3	6,6	7,2	7,4	6,0	4,3	1,7	0,4
	4	4,5	2,0	7,7	9,5	9,0	7,0	4,9	0,4	0,0
	5	4,5	5,8	6,3	5,4	2,2	2,3	0,4	0,2	0,1
	6	4,5	0,0	0,5	1,8	2,0	1,5	0,2	0,5	0,3
	7	1,2	0,5	1,1	2,5	2,5	1,5	0,2	0,4	0,3
	8	97,7	52,0	20,9	10,4	7,3	4,2	2,9	0,6	0,2
	9	4,5	3,7	2,5	3,9	4,2	3,0	2,6	1,1	0,3
	10	62,1	19,5	14,7	9,5	0,5	0,7	0,2	0,0	0,0
	11	3,5	0,2	0,8	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	12	4,5	16,7	51,3	44,6	32,2	26,1	14,1	2,6	0,6
	13	3,5	19,5	17,4	14,6	6,7	5,5	2,6	1,2	0,4
	14	1,2	4,0	0,0	0,4	0,5	0,4	0,6	0,0	0,0
	15	4,5	21,1	12,2	5,9	2,0	1,2	0,4	0,0	0,0
2005	1	0,0	19,5	20,3	18,7	12,2	7,7	4,0	0,7	0,0
	2	4,5	8,9	0,2	0,7	2,2	2,3	0,9	0,3	0,0
	3	34,6	29,3	10,1	2,5	1,5	1,7	1,8	0,9	0,3
	4	15,1	42,4	34,9	6,9	5,6	3,7	1,5	0,5	0,2
	5	192,7	130,2	84,1	55,1	27,3	15,6	7,5	1,4	0,4
	6	4,5	31,2	8,0	3,7	0,6	0,5	1,4	1,6	0,7
	7	4,5	21,1	15,2	6,1	0,5	0,0	0,1	0,2	0,1
	8	4,5	9,1	10,9	8,3	5,3	4,5	3,4	1,4	0,4
	9	4,5	0,0	2,7	3,7	3,6	3,3	1,8	0,4	0,1
	10	0,0	11,5	13,6	3,9	1,5	0,5	0,0	0,0	0,0
	11	131,9	65,8	35,7	21,9	8,4	4,2	3,1	1,3	0,4
	12	56,0	25,1	11,4	7,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4
	13	1,2	19,3	38,0	53,7	21,2	9,3	2,5	0,3	0,0
	14	34,6	62,6	38,1	28,4	20,2	13,6	4,7	1,8	0,0
	15	34,6	8,5	1,1	0,3	1,8	1,9	1,9	0,8	0,3
Soma	120	9892,1	4968,6	3326,1	2440,1	1438,2	968,9	513,0	178,7	44,2
	Desvio padrão	9,1	6,5	5,3	4,5	3,5	2,9	2,1	1,2	0,6

TABELA A4 – Assimetria

(continua)										
Ano	Event o	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
1998	1	9,5	174,6	233,9	265,3	70,9	46,9	103,4	14,0	1,5
	2	9,5	46,2	132,2	409,4	76,2	33,0	4,9	0,2	0,0
	3	9,5	-1,0	-24,5	-38,4	-32,6	-21,8	-12,3	-0,3	-0,1
	4	9,5	174,6	492,0	526,6	87,5	25,2	3,4	0,3	0,0
	5	-272,5	-111,3	-138,4	-29,1	-20,3	-12,9	-1,5	-0,6	-0,1
	6	9,5	-2,8	5,5	0,0	-0,6	-1,1	-1,5	-0,6	-0,1
	7	9,5	0,0	-10,2	-22,5	-22,6	-16,0	-6,6	-1,7	-0,3
	8	2,3	-0,5	-3,0	-0,5	6,6	6,7	13,7	0,8	0,1
	9	9,5	46,2	318,3	235,5	52,3	23,9	5,5	0,3	0,0
	10	-0,1	-22,2	-14,5	-3,9	-2,9	-2,4	-2,4	-0,8	-0,1
	11	9,5	-85,8	-138,4	-130,7	-81,0	-12,9	-8,1	-2,1	-0,3
	12	0,4	0,0	-2,2	-10,3	-13,7	-10,6	-2,4	-0,8	-0,1
	13	-326,1	-59,8	-87,5	-8,3	-0,9	-1,4	-1,7	-0,1	0,0
	14	9,5	174,6	543,6	977,8	1215,7	1523,4	520,4	122,2	14,3
	15	9,5	96,6	165,9	497,8	500,5	431,5	96,9	8,4	0,9
1999	1	9,5	7,9	0,0	-1,4	-4,9	-3,7	-2,8	-0,9	-0,2
	2	9,5	174,6	420,9	497,8	152,2	46,9	7,5	0,4	0,0
	3	9,5	17,4	2,5	0,8	0,0	-0,3	-0,7	-0,3	-0,1
	4	9,5	0,2	-2,2	-0,1	0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,0
	5	9,5	17,4	26,0	1,1	0,0	-0,2	-0,6	-0,3	-0,1
	6	-6,7	-85,8	-31,9	-15,2	-17,5	-12,9	-8,1	-2,1	-0,3
	7	9,5	-2,8	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	8	-11,9	-158,4	-133,1	-3,5	-1,0	-1,5	-1,8	-0,7	-0,1
	9	- 1945,3	-944,3	-532,5	-339,3	-137,4	-72,4	-31,9	-4,2	-0,3
	10	9,5	-0,8	-3,4	-3,9	-1,0	-0,1	5,5	0,7	0,1
	11	- 1361,5	-944,3	-292,6	-202,7	-84,8	-46,4	-21,7	-2,6	-0,2
	12	-203,6	-59,8	-31,9	-13,4	-2,9	-0,3	-0,2	-0,1	0,0
	13	9,5	-55,3	-108,7	-108,8	-67,0	-36,5	-11,5	-0,5	0,0
	14	-116,5	-7,0	0,1	7,1	12,8	2,5	0,1	0,0	0,0
	15	-489,9	-125,8	-40,7	-41,9	-6,1	-1,5	-0,1	0,0	0,1
2000	1	0,0	0,2	-0,1	-1,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	0,0
	2	9,5	165,4	517,4	526,6	494,2	386,1	116,0	118,5	13,8
	3	4186,3	1995,2	265,6	60,5	10,7	2,0	2,7	19,8	2,2
	4	0,0	7,9	-0,7	-6,6	-10,6	-8,5	-5,9	-1,6	-0,3
	5	9,5	78,9	0,2	-0,4	-2,3	-2,7	-2,5	-0,8	-0,1
	6	9,5	17,4	1,6	0,3	-0,1	-0,5	-0,1	-0,1	0,0
	7	-24,0	-196,2	-72,6	-21,4	-1,2	0,0	2,7	3,7	0,4
	8	9,5	156,5	19,6	80,9	202,5	88,5	63,7	5,4	0,6
	9	9,5	131,8	45,2	3,2	0,0	-0,1	-0,3	0,1	0,0
	10	-203,6	-19,9	-53,7	-60,4	-33,6	-20,7	-6,6	-1,3	-0,2

	11	9,5	131,8	6,1	0,3	1,6	0,4	0,0	0,0	0,0
	12	9,5	156,5	337,3	536,5	135,8	41,3	6,4	0,3	0,0
	13	-203,6	-495,1	-235,1	-151,0	-90,8	-50,4	-10,0	-2,3	0,0
	14	9,5	4,0	1,6	0,3	0,4	1,1	2,3	1,5	0,4
	15	1,4	29,5	56,1	40,2	27,2	11,9	1,2	0,0	0,0

(continua)										
Ano	Event o	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
200 1	1	-58,6	-0,8	-0,6	0,0	0,0	0,4	0,8	0,1	0,0
	2	-203,6	-85,8	-45,6	-14,3	-2,9	-0,2	-0,1	0,0	0,0
	3	9,5	7,9	-0,3	-4,7	-8,7	-7,3	-2,1	0,0	0,0
	4	5,1	90,5	337,3	115,9	17,7	3,8	7,0	3,6	0,4
	5	9,5	46,2	0,6	0,2	0,0	9,3	1,8	0,6	0,0
	6	-6,7	-125,8	-3,9	-6,6	-1,4	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
	7	-203,6	-33,1	-1,1	-0,2	-0,8	-0,4	-0,6	0,0	0,0
	8	5,1	-0,5	-1,4	-7,1	-9,2	-7,6	-1,4	0,0	0,0
	9	9,5	156,5	432,3	159,7	19,1	4,1	0,2	0,0	0,0
	10	0,0	0,2	-6,2	-17,1	-18,8	-13,7	-2,6	-0,1	0,0
	11	2,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,0
	12	-58,6	-206,5	-235,1	-197,6	-112,5	-61,3	-20,9	-0,8	-0,1
	13	9,5	174,6	165,9	119,5	125,5	45,0	10,3	2,4	0,2
	14	-6,7	-39,7	-15,7	-0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
	15	-489,9	-158,4	-31,9	-17,1	-11,0	-5,3	-2,3	-0,7	-0,1
200 2	1	-	1678,1	-595,0	-368,9	-173,2	-63,7	-13,7	-2,0	0,0
	2	9,5	174,6	90,8	19,2	16,4	8,1	23,8	3,1	0,4
	3	1035,4	286,1	22,6	1,6	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	0,0
	4	9,5	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0
	5	9,5	17,4	53,2	23,8	8,9	5,4	1,2	0,0	0,0
	6	-	1678,1	-833,5	-368,9	-173,2	-31,6	-8,9	-0,8	0,0
	7	9,5	131,8	11,1	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	0,0
	8	-58,6	-9,4	-43,1	-40,2	-22,6	-8,2	-0,1	0,0	0,0
	9	-58,6	-85,8	-56,6	-3,9	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	0,0
	10	553724,7	94751,3	33680,9	15485,6	4746,8	1818,7	455,4	45,8	5,2
	11	9,5	15,4	-0,1	-3,2	-7,2	-6,3	-4,7	-1,3	-0,2
	12	-489,9	-85,8	-43,1	-26,3	-8,3	-2,6	-2,1	-0,8	-0,1
	13	-58,6	-14,0	-0,1	0,1	1,0	9,3	23,4	9,5	1,1
	14	-965,4	-684,0	-329,3	-259,0	-81,0	-46,4	-13,9	-1,3	-0,1
	15	20,0	0,0	0,2	0,0	0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0
200 3	1	9,5	174,6	6,1	23,8	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0
	2	9,5	174,6	10,1	0,6	46,9	79,9	30,1	21,5	2,4
	3	-489,9	-141,5	-127,9	-92,6	-45,1	-21,2	-10,5	-1,3	0,0
	4	9,5	4,0	22,6	60,5	182,6	90,0	70,3	8,0	0,8
	5	5946,1	2509,4	2457,3	837,3	279,7	105,9	20,3	1,3	0,1

	6	69,8	-14,0	0,0	0,0	4,7	0,6	3,1	0,6	0,1
	7	-489,9	-407,0	-275,3	-173,2	-72,0	-18,0	-2,9	-0,7	-0,1
	8	9,5	-2,8	3,3	0,8	12,8	8,7	2,7	0,1	0,0
	9	9,5	0,0	79,2	11,8	0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0
	10	9,5	174,6	165,9	159,7	176,2	68,0	61,3	10,0	1,1
	11	-203,6	-595,0	-213,0	-182,7	-20,3	-14,6	-8,3	-2,1	-0,3
	12	30,3	225,8	137,5	173,3	29,0	6,9	0,6	0,0	0,0
	13	9,5	0,2	-2,2	-8,9	-10,6	-8,5	-5,9	-1,6	-0,3
	14	-965,4	-860,3	-506,7	-310,9	-86,8	-27,5	-10,0	-0,9	-0,1
	15	9,5	68,4	62,2	8,3	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0

(conclusão)										
Ano	Evento	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min	360 min	720 min	1440 min
2004	1	9,5	4,0	0,6	4,3	12,8	33,0	14,0	1,1	0,1
	2	9,5	174,6	22,6	7,1	4,7	5,7	0,6	0,0	0,0
	3	9,5	-15,8	-17,0	-19,1	-20,3	-14,6	-8,9	-2,1	-0,2
	4	9,5	-2,8	-21,3	-29,1	-26,8	-18,5	-10,7	-0,2	0,0
	5	9,5	-14,0	-15,7	-12,6	-3,3	-3,5	-0,2	-0,1	0,0
	6	9,5	0,0	-0,4	-2,3	-2,9	-1,9	-0,1	0,3	0,2
	7	1,4	-0,4	-1,1	-3,9	-4,0	-1,9	-0,1	0,3	0,1
	8	-965,4	-374,9	-95,6	-33,5	-19,5	-8,5	-5,0	-0,5	-0,1
	9	9,5	-7,0	-3,9	-7,7	-8,7	-5,3	-4,1	-1,2	-0,2
	10	-489,9	-85,8	-56,6	-29,1	-0,3	0,6	0,1	0,0	0,0
	11	-6,7	-0,1	-0,7	-0,7	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	12	9,5	68,4	367,2	297,5	182,6	133,2	53,2	4,2	0,4
	13	-6,7	-85,8	-72,6	-55,9	-17,5	-12,9	-4,3	-1,3	-0,2
	14	-1,3	7,9	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	0,5	0,0	0,0
	15	9,5	96,6	42,7	14,3	2,8	1,4	0,3	0,0	0,0
2005	1	0,0	-85,8	-91,5	-80,9	-42,7	-21,2	-8,1	-0,5	0,0
	2	9,5	26,7	0,1	-0,6	-3,3	-3,5	-0,8	-0,1	0,0
	3	-203,6	-158,4	-31,9	-3,9	-1,8	-2,3	-2,3	-0,8	-0,1
	4	-58,6	-276,0	-206,0	-18,1	-13,2	-7,1	-1,8	-0,3	-0,1
	5	-2676,0	-1485,8	-771,7	-409,3	-142,8	-61,3	-20,6	-1,6	-0,3
	6	9,5	174,6	22,6	7,1	0,5	0,4	1,7	1,9	0,6
	7	9,5	96,6	59,1	15,2	0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0
	8	9,5	-27,3	-36,1	-23,8	-12,1	-9,5	-6,4	-1,6	-0,2
	9	9,5	0,0	-4,4	-7,1	-6,8	-6,0	-2,3	-0,2	-0,1
	10	0,0	38,9	50,4	7,7	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0
	11	-1514,3	-533,6	-213,0	-102,1	-24,2	-8,5	-5,6	-1,4	-0,2
	12	-419,1	-125,8	-38,3	-20,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,3
	13	1,4	84,6	233,9	393,1	97,7	28,6	4,0	0,1	0,0
	14	-203,6	-495,1	-235,1	-151,0	-90,8	-50,4	-10,0	-2,3	0,0
	15	-203,6	-24,7	-1,1	-0,2	-2,3	-2,7	-2,6	-0,7	-0,1
Som	120	545494,	91605,	35580,	18678,	7327,6	4288,7	1415,0	357,7	40,9

a	4	4	0	8					
Assimetria	6,1508	2,9016	2,0577	1,7191	1,4904	1,5775	1,3510	1,6608	1,5418

APÊNDICE B

Tabelas de Resultados

TABELA B1

TABELA B2

TABELA B3

TABELA B4

TABELA B5

TABELA B6

TABELA B7

TABELA B8

TABELA B9

TABELA B1 - Média das precipitações máximas da amostra

Tempo (min)	30	60	90	120	180	240	360	720	1.440
P (mm)	2146,0	1729,3	1420,7	1209,0	919,3	737,2	544,8	304,5	158,9
$\bar{X}$ (mm)	17,9	14,4	11,8	10,1	7,7	6,1	4,5	2,5	1,3

TABELA B2 - Desvio padrão da amostra

Tempo (min)	30	60	90	120	180	240	360	720	1.440
P(mm)	9892,1	4968,6	3326,1	2440,1	1438,2	968,9	513,0	178,7	44,2
σ (mm)	9,1	6,5	5,3	4,5	3,5	2,9	2,1	1,2	0,6

TABELA B3 - Valores de altura pluviométrica (X_T) para determinados períodos de retorno (T_r)

t min) T_r (anos)	30	60	90	120	180	240	360	720	1440
2	16,386	13,350	10,971	9,331	7,090	5,675	4,199	2,336	1,224
5	24,443	19,060	15,643	13,333	10,162	8,197	6,034	3,419	1,763
10	29,778	22,841	18,736	15,982	12,196	9,866	7,248	4,136	2,120
25	36,518	27,618	22,645	19,330	14,766	11,976	8,783	5,043	2,570
50	41,519	31,162	25,544	21,813	16,673	13,541	9,922	5,715	2,905
100	46,482	34,679	28,422	24,279	18,565	15,094	11,052	6,382	3,237

TABELA B4 - Valores testados de "b" (Método de Gumbel)

b (min.)	F	F _{mínimo}	b _{mínimo}
0	576,07	55,64	69
30	132,85	55,77	70
60	57,34	55,56	68
90	68,08	55,54	67

120	105,76	55,58	66
150	152,03		

TABELA B5 - Logaritmos Y_T (Método de Pearson III)

t (min)	30	60	90	120	180	240	360	720	1440
$T_{r(anos)}$									
2	1,2291	1,1374	1,0443	0,9697	0,8444	0,7438	0,6113	0,3476	0,0690
5	1,3656	1,2815	1,1950	1,1239	1,0021	0,9042	0,7712	0,5122	0,2279
10	1,4307	1,3477	1,2681	1,2009	1,0847	0,9903	0,8581	0,6073	0,3195
25	1,4955	1,4118	1,3420	1,2804	1,1724	1,0836	0,9533	0,7158	0,4237
50	1,5349	1,4497	1,3876	1,3304	1,2288	1,1446	1,0160	0,7900	0,4948
100	1,5685	1,4816	1,4270	1,3743	1,2795	1,2002	1,0734	0,8593	0,5612

TABELA B6 - Alturas pluviométricas X_T calculadas (Método de Pearson III)

t (min)	30	60	90	120	180	240	360	720	1440
$T_{r(anos)}$									
2	16,949	13,720	11,074	9,326	6,988	5,544	4,086	2,226	1,172
5	23,209	19,120	15,668	13,301	10,050	8,021	5,905	3,252	1,690
10	26,956	22,270	18,541	15,880	12,155	9,778	7,213	4,049	2,087
25	31,294	25,808	21,978	19,073	14,871	12,122	8,981	5,198	2,653
50	34,265	28,164	24,411	21,398	16,937	13,951	10,375	6,166	3,125
100	37,028	30,312	26,728	23,673	19,032	15,858	11,841	7,233	3,641

TABELA B7 - Valores testados de “b” (Método Pearson III)

B (min)	F
0	631,49
30	206,83
60	86,13
90	48,57

100	44,29
110	42,5
115	42,35
114	42,34

TABELA B8 - Precipitações calculadas (Método Pearson III)

T _r (anos)	24 horas (mm)	1 dia (mm)	R
2	1,261	1,172	1,070
5	1,875	1,690	1,109
10	2,281	2,087	1,090
25	2,795	2,653	1,050
50	3,176	3,125	1,010
100	3,555	3,641	0,976

TABELA B9 - Precipitações calculadas (Método de Gumbel)

T _r (anos)	24 horas (mm)	1 dia (mm)	R
2	1,261	1,224	1,030
5	1,875	1,763	1,060
10	2,281	2,120	1,070
25	2,795	2,570	1,087
50	3,176	2,905	1,090
100	3,555	3,232	1,260

DEDICATÓRIA

Ao meu pai (in Memoriam) que sempre esteve à frente do seu tempo e soube passar aos seus filhos o valor do saber, como forma de liberdade e independência do ser humano diante da caminhada da vida.

Ao meu esposo, meu amigo e companheiro em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À minha família pela compreensão nos momentos de ausência;

Ao Professor Dr. Jorge Luiz Steffen da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, pela sua dedicação ao magistério, competência e lhanza no trato com os seus alunos, demonstrando sempre confiança e respeito aos anseios dos seus orientados, na busca do ideal maior – a escalada do conhecimento científico;

Ao Técnico Meteorologista Natálio Abrahão Filho, responsável técnico pela Estação de Pesquisa Meteorológica da Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal - UNIDERP, pelo incentivo dado ao desenvolvimento deste trabalho, bem como pela confiança em ceder para pesquisa os dados pluviométricos e pluviográficos, que foram imprescindíveis para obtenção dos resultados;

Agradeço, também, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

<u>DEDICATÓRIA</u>	63
<u>AGRADECIMENTOS</u>	64
<u>SUMÁRIO</u>	65
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	67
<u>LISTA DE TABELAS</u>	68
<u>LISTA DE QUADROS</u>	69
<u>RESUMO</u>	IX
<u>ABSTRACT</u>	X
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICATIVA	4
2 OBJETIVOS	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 CLIMA DO BRASIL	7
3.2 VARIAÇÕES MESOCLIMÁTICAS DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL	7
3.3 CLIMATOLOGIA DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE	8
3.4 PRECIPITAÇÃO	9
3.4.1 Pluviometria	9
3.5 VAZÃO DE PROJETO	13
3.6 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO SEGUNDO GUMBEL-CHOW	20
4.1.1 Distribuição de Gumbel	21
4.1.2 Ajuste dos parâmetros da equação geral de intensidade	22
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO COM A DISTRIBUIÇÃO DE PEARSON III	23
4.2.1 Parâmetros da equação geral de intensidade ajustados	25
4.3 INTENSIDADE DE CHUVA PELA METODOLOGIA DE BELL	26
5 RESULTADOS	28
5.1 METODOLOGIA DE GUMBEL	28
5.2 METODOLOGIA PEARSON III	32
5.3 METODOLOGIA DE BELL	38
5.4 OBTENÇÃO DAS INTENSIDADES DE CHUVA PARA APLICAÇÃO NA SUB-BACIA DO BANDEIRA	39
5.4.1 Intensidade de chuva por Gumbel	39
5.4.2 Intensidade de chuva por Pearson III	40
5.4.3 Intensidade de chuva pelo método de Bell	40
5.5 OBTENÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO PARA A SUB-BACIA DO BANDEIRA	42

5.5.1 Método racional modificado	42
5.5.2 Método racional com critério de Fantolli	42
5.5.3 Método dos blocos alternados por Gumbel	43
5.4.4 Valores das vazões obtidas	45
6 CONCLUSÕES	46
7 BIBLIOGRAFIA	47
APÊNDICE A - TABELAS DE LEITURAS PLUVIOMÉTRICAS E DE CÁLCULOS ESTATÍSTICOS	49
<u>TABELA A1</u>	<u>47</u>
<u>TABELA A2</u>	<u>50</u>
<u>TABELA A3</u>	<u>53</u>
<u>TABELA A4</u>	<u>56</u>
APÊNDICE B - TABELAS DE RESULTADOS	59
<u>TABELA B1</u>	<u>60</u>
<u>TABELA B2</u>	<u>60</u>
<u>TABELA B3</u>	<u>60</u>
<u>TABELA B4</u>	<u>60</u>
<u>TABELA B5</u>	<u>61</u>
<u>TABELA B6</u>	<u>61</u>
<u>TABELA B7</u>	<u>61</u>
<u>TABELA B8</u>	<u>62</u>
<u>TABELA B9</u>	<u>62</u>

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Distribuição Global da Precipitação Anual (conf. Waylen, 1995)	9
FIGURA 3.2- Localização da sub-bacia hidrográfica do Bandeira	15
FIGURA 4.1 - Gráfico para determinação dos parâmetros a_1 , b_1 , e c_1	25
FIGURA 5.1 - Diagrama Logarítmico Intensidade-Duração (Gumbel)	26
FIGURA 5.2 - Representação gráfica dos valores simulados para "b" (Gumbell)	29
FIGURA 5.3 - Curvas IDF pelo método de Gumbel	30
FIGURA 5.4 - Diagrama Logarítmico Intensidade-Duração Pearson III	32
FIGURA 5.5 - Representação gráfica dos valores simulados para "b" (Pearson III)	34
FIGURA 5.6 - Curvas IDF pelo método de Pearson III	35
FIGURA 5.7 - Relação de Chuvas (24 horas – 1 dia) pelo método Pearson III	36
FIGURA 5.8 - Relação de Chuvas (24 horas – 1 dia) pelo método de Gumbel	36
FIGURA 5.9 - Ietograma de projeto para a sub-bacia do Bandeira	41
FIGURA 5.10 - Vazão de precipitação para um tempo de concentração de 45 min.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Períodos de retorno para diferentes ocupações de área	8
TABELA 3.2 - Impermeabilização em % x fator da impermeabilização	13
TABELA 4.1 - Fator de frequência	20
TABELA 4.2 - Fatores de assimetria "K" para uso com Pearson III	23
TABELA 5.1 - Parâmetros locais ajustados a partir da equação geral	26
TABELA 5.2 - Determinação dos parâmetros regionais	27
TABELA 5.3 - Valores de alturas pluviométricas calculadas para $b = 67$	28
TABELA 5.4 - Quadrado dos desvios dos valores observados de X_T	28
TABELA 5.5 - Médias, desvios padrão e coeficientes de assimetria dos logaritmos das alturas	30
TABELA 5.6 - Valores do fator de frequência K_p obtidos por interpolação	31
TABELA 5.7 - Determinação dos parâmetros locais (b, n)	32
TABELA 5.8 - Determinação dos parâmetros regionais (a, m)	32
TABELA 5.9 - Valores calculados para $b = 114$; t (min) e T_r (anos)	33
TABELA 5.10 - Quadrado dos desvios das intensidades - t (min) e T_r (anos)	34
TABELA 5.11 - Relações de intensidade de chuva pelos métodos de Gumbel e Pearson III	37
TABELA 5.12 - Resultado comparativo das equações de intensidade de chuva	39
TABELA 5.13 - Valores das intensidades de chuva pelo método dos blocos alternados	40
TABELA 5.14- Vazões de precipitação para tempo de concentração de 45 min.	41
TABELA 5.15 - Valores das vazões obtidas	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Características fisiográficas da sub-bacia do Bandeira.....	18
--	----

RESUMO

GONÇALVES, C.R.S. (2008). *Estimativa de vazões para bacia urbana com dados históricos escassos*. Campo Grande, 2008. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A urbanização tem trazido não só conseqüências em relação ao aspecto hidrológico, mas também sobre o clima, podendo a longo prazo alterar o microclima urbano em relação ao regime de chuvas. Neste trabalho foram aplicados os métodos de Gumbel e Log Pearson III para obtenção de vazões para bacias hidrográficas urbanas com dados históricos escassos, utilizando-se de relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), obtidas dos registros pluviográficos observados em estação meteorológica próxima da bacia e ajustados a uma série parcial de dados. Pelo critério de Bell, foram analisadas as relações entre chuvas diárias e chuvas de 24 horas, além das relações entre alturas de chuva de 1 hora e entre alturas de chuva de diferentes durações, com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Diferentes métodos de determinação das vazões de projeto foram utilizados na bacia hidrográfica urbana do Córrego Bandeira, com intensidades calculadas das relações IDF obtidas. O foco do trabalho concentrou-se na sub-bacia hidrográfica do Córrego Bandeira com área de 2,178 Km², em Campo Grande-MS. As diferenças na comparação dos resultados encontrados com os resultados de estudos anteriores, justificam-se pelas distintas metodologias empregadas com parâmetros diferentes e dados de bacias com características próprias em relação ao seu grau de impermeabilização, fisiografia e topografia. Na ausência de dados locais, os resultados obtidos para a sub-bacia do Bandeira poderão servir de base para os projetistas na criação de soluções relacionadas ao controle do escoamento superficial nas vias públicas provenientes das edificações.

Palavras chaves: Chuvas Intensas, Vazões de projeto, Drenagem Urbana

ABSTRACT

GONÇALVES, C.R.S. (2008). *Estimate of outflows for urban basin with scarce hystoric data. Campo Grande, 2008. 72 p. Dissertation (Master) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil*

The urbanization has brought not only consequences related to the hydrologic aspect, but also climatic, with in a long period of time could modify the urban microclimate of the rain regimen. The methods of Gumbel and Log Pearson III were applied in this work to obtain the outflows for urban hydrographic basins with scarce historical data, using the Intensity-Duration-Frequency relations (IDF), gotten from pluviometric registers observed in a meteorological station next to the basin and adjusted to a partial series of data. By the criterion of Bell, daily rains and 24-hour rains heights of rain of 1 hour and heights of rain of different durations were analyzed, with periods of return of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. Different methods of determination of the project outflows had been used in the urban hydrographic basin of the Stream Bandeira, with calculated intensities of gotten relations IDF. The focus of the work concentrated in the hydrographic sub-basin of the Stream Bandeira with area of 2,178 Km², in Campo Grande. The differences found when the results of this study were compared with previous studies, are justified because of the distinct methodologies used with different parameters and data of basins with proper characteristics in relation to this degree of waterproofing, fisiographic and topography. In the absence of local data, the results gotten for the sub-basin of the Bandeira's stream will be able to serve as a base for the designers in the creation of solutions related to the control of the superficial draining in the public ways proceeding from the constructions.

Words keys: Intense rains, Project's outflow, Urban Draining.