



## **IX-026 - EQUAÇÃO DE CHUVA INTENSA DO MUNICÍPIO DE PIMENTA BUENO, RONDÔNIA - BRASIL**

**Vinicius Alexandre Sikora de Souza<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

**Sandra Ferronato Francener**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

**Alyne Foschiani Helbel**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

**Rhayanna Kalline do Nascimento**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

**Ana Lúcia Denardin da Rosa**

Professora Assistente I do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia.  
Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rio Amazonas, 351 – Jardim dos Migrantes – Ji-Paraná - RO - CEP: 76900-000 - Brasil -  
Tel: (69) 3421-3595 - e-mail: vass1000@hotmail.com

### **RESUMO**

A precipitação pluviométrica, dentre os elementos hidrológicos, é o que mais interfere na vida humana, pois se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico. Em virtude de sua larga influência sobre áreas povoadas é de grande importância o conhecimento e a previsão das características das precipitações, destacando a elucidação de sua intensidade máxima, duração deste fenômeno e o período que tal evento possa voltar a ocorrer. Assim, este estudo objetivou estimar a função Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de eventos pluviométricos extremos para o município de Pimenta Bueno (RO), de modo que posteriormente tais informações possam ser utilizadas em obras hidráulicas. Utilizou-se uma série de dados entre os anos de 1977 e 2010, a qual foi analisada pela distribuição de Gumbel, sendo a mesma posteriormente relacionada, por meio da desagregação de chuva diária, para períodos de retorno compreendendo 2 a 100 anos e durações pluviométricas de 5 minutos a 24 horas. Constatou-se que a equação confeccionada por este estudo apresenta uma vasta aplicabilidade em obras e atividades hidrológicas, devido à grande amplitude dos intervalos utilizados. Além disso, verificou-se que tal expressão mostra-se viável de uso, pelas análises e testes estatísticos, a qual foi submetida, onde se observou uma relação perfeitamente positiva entre a intensidade precipitada em relação à duração e período de retorno, além de afirmar-se com 95,5% de confiança que tal equação é significativa para os dados utilizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia Ocidental, Curva IDF, Eventos Extremos.

### **INTRODUÇÃO**

As chuvas constituem-se na principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, e a sua quantificação, bem como o conhecimento da forma como se distribui temporal e espacialmente são primordiais em estudos relacionados à necessidade de irrigação, disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo, controle de inundações, (DAMÉ; TEIXEIRA; TERRA, 2008), além do dimensionamento racional de obras como galerias pluviais, sistemas de drenagem e vertedouros de barragens que são realizados tomando-se por base uma solução de compromisso entre os estragos causados pela falta de capacidade de escoamento e o custo das obras (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

A título de exemplificação têm-se os projetos de canalização, nos quais o parâmetro mais importante a considerar é a vazão de projeto, ou seja, o pico dos deflúvios associado a uma precipitação crítica e a um determinado risco assumido. Portanto, outras precipitações que levem a picos de vazão menores serão sempre conduzidas com segurança pelo sistema existente ou projetado (MORUZZI; OLIVEIRA, 2009).



A precipitação pluviométrica, dentre os elementos hidrológicos, é o que mais interfere na vida humana, uma vez que, se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico, tornando outras variantes como a exemplo a vazão e infiltração, intimamente ligadas à sua ocorrência. Em virtude de sua larga influência sobre áreas povoadas, positivas ou não, é de grande importância o conhecimento e a previsão das características das precipitações, destacando a elucidação de sua intensidade máxima, duração deste fenômeno e o período que tal evento possa voltar a ocorrer.

Nesse sentido, o conhecimento de eventos hidrológicos extremos é um requisito básico em projetos de drenagem, impermeabilização e outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais, haja vista que permitem ao projetista considerar os riscos existentes com a execução da obra e associar a melhor alternativa, do ponto de vista econômico, sem se desvencilhar das questões técnicas de desempenho e segurança.

Tendo em vista que as chuvas intensas são aquelas que provocam cheias no sistema de drenagem, gerando escoamentos pluviais nas galerias e canais de modo que as vazões de pico atingem valores próximos à capacidade do sistema, resultando em inundações (MORUZZI; OLIVEIRA, 2009), alguns métodos para estimar a intensidade, duração e frequência das precipitações são amplamente aplicados na hidrologia urbana.

Todavia, tais dados hidrológicos são incipientes e restritos a algumas localidades. Em geral não se dispõe de uma climatologia fidedigna da intensidade de precipitação. Isso se deve em parte aos problemas que se sucedem no estudo climatológico de qualquer variável (período insuficiente de dados, falta de homogeneidade de dados, mudança de sensores, etc.) além da escassez de instrumentos precisos de medida de intensidades de precipitação (VÁSQUEZ; REDAÑO; LORENTE, 1987). Nesta perspectiva, tal ausência de dados configura-se como um dos problemas que geralmente ocorrem aos engenheiros que atuam no ramo da hidrologia urbana, induzindo a incertezas que usualmente acompanham qualquer estudo relacionado ao saneamento pluvial.

Apesar da dificuldade em se obter dados referentes às chuvas intensas, há a existência comum de longas séries de medidas pluviométricas, sendo possível correlacionar as chuvas e as vazões, procurando-se obter proteção contra uma precipitação que tenha certa probabilidade de ocorrer e não uma proteção total contra qualquer precipitação (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Logo, faz-se extremamente necessário conhecer a relação entre a intensidade da chuva para cada duração e frequência de precipitação, para o dimensionamento correto de obras dos mais diversos segmentos referidos. A relação entre a intensidade a duração e a frequência das precipitações varia entre largos limites, de local para local, e somente pode ser determinada empiricamente por meio da análise estatística de uma longa série de observações. Dessas considerações resulta o interesse que existe em estudar as precipitações intensas, sobretudo para bacias pequenas, de tempo de concentração restrito (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Na caracterização de precipitações é necessário ter ciência de sua respectiva duração, intensidade e frequência de ocorrência ou período de retorno ( $T_r$ ). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), sendo uma ferramenta utilizada nos processos de transformação chuva-vazão (DAMÉ; TEIXEIRA; TERRA, 2008), como também é uma forma amplamente empregada para caracterizar chuvas extremas (precipitações intensas) em uma determinada localidade. As referidas curvas IDF consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que preveem a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal. Destaca-se que a inferência da pluviosidade extrema é possível devido a tais eventos se ajustarem a distribuições probabilísticas, tornando dessa forma passíveis de serem modeladas estatisticamente.

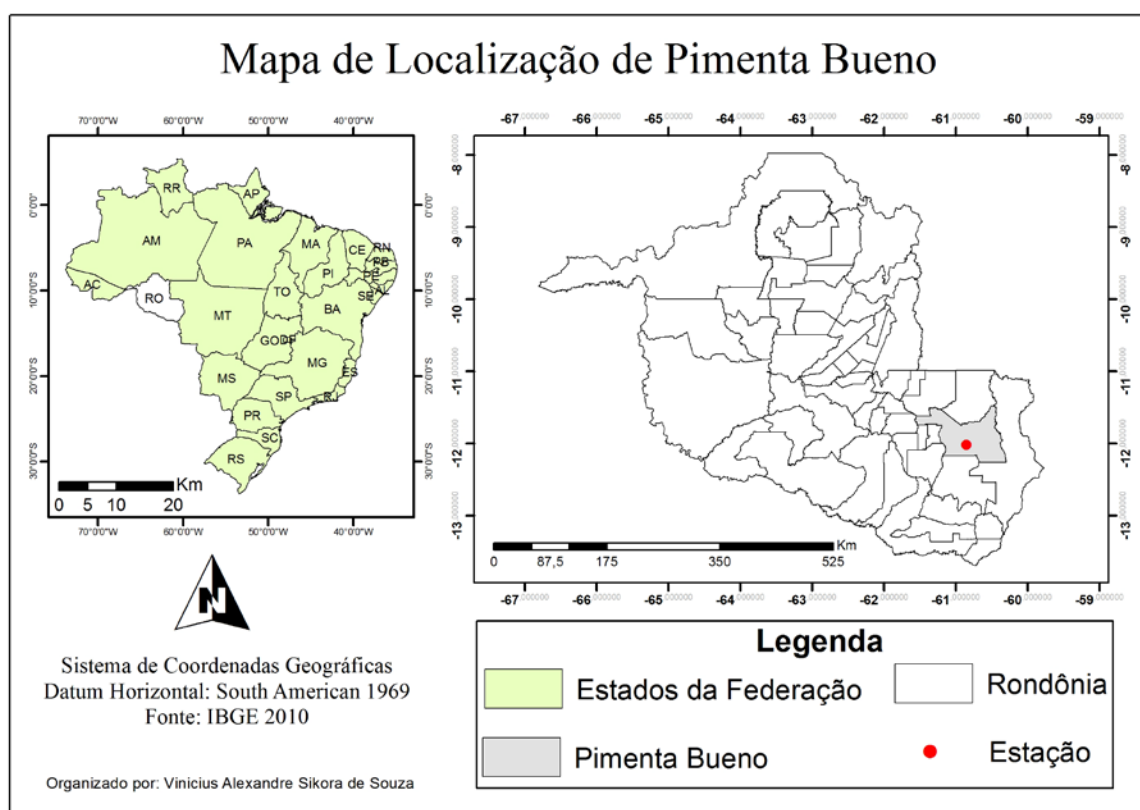
No Brasil, os volumes precipitados são essencialmente quantificados pelas estações pluviométricas em registros denominados de chuvas diárias e, constituem as informações mais acessíveis, não somente pelo tamanho das séries, mas também pela densidade das redes (HERNANDEZ, 2008). No entanto, esta metodologia de coleta de dados ocasiona um entrave na geração das curvas IDF devido à indisponibilidade de chuvas com durações menores, as quais são fundamentais no processo de modelagem dessas curvas. Em virtude desta problemática, o método de desagregação da chuva de 24 horas, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1979 apud TUCCI, 2009) apresenta-se como uma solução, pois o mesmo gera séries sintéticas com duração em intervalos menores, por meio de coeficientes que transformam chuvas de 24h em outras de menor duração.

Ressalta-se que no território nacional, com exceção das localidades mais desenvolvidas como São Paulo, onde ocorreram os estudos pioneiros para a geração de curvas IDF, ainda há regiões que carecem do desenvolvimento desses modelos para as suas extensões territoriais. Como exemplo cita-se o estado de Rondônia, o qual é praticamente desprovido de informações de chuvas intensas, obrigando de tal forma que o uso/prática aliado às informações de postos meteorológicos mais próximos ou de características climatológicas similares a da localidade na qual o projeto é realizado, sejam alternativas para a realização de projetos de obras hidráulicas. Este procedimento, entretanto, pode levar a estimativas pouco confiáveis devido à referida técnica apresentar o risco das obras serem subestimadas, trazendo problemas principalmente de ordem social, assim como serem hiperestimadas, onerando os custos das mesmas.

Portanto, em vista ao exposto este estudo objetivou estimar a função Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de eventos pluviométricos extremos para o município de Pimenta Bueno no estado de Rondônia, de modo que posteriormente tais informações possam ser utilizadas em obras nessa localidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com base na maior série histórica de chuva máxima de “um dia” do município de Pimenta Bueno/RO (Figura 1), disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Essa série compreende o período de dados entre os anos de 1977 e 2010, dos quais foram excluídos os intervalos que apresentaram falhas de medição, resultando em 393 meses efetivos, utilizados nas análises estatísticas. A estação pluviométrica da qual se obteve os dados para a realização deste estudo possui o código 1160000 e está localizada na latitude  $12^{\circ} 0' 55''$  S e longitude  $60^{\circ} 51' 18''$  O.



**Figura 1: Localização da estação pluviométrica amostrada no município de Pimenta Bueno.**

Posteriormente, obteve-se desta série histórica a altura máxima de chuva de “um dia” para cada ano, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais. E, a seguir os dados foram organizados em ordem decrescente para que a média aritmética e o desvio-padrão da amostra fossem calculados. Tal procedimento

possibilitou analisar estatisticamente a probabilidade e o período de retorno das chuvas intensas, através do método de distribuição de Gumbel.

A variável reduzida de Gumbel ( $y$ ) foi obtida pela Equação 1, como preconizado por Gumbel (2004).

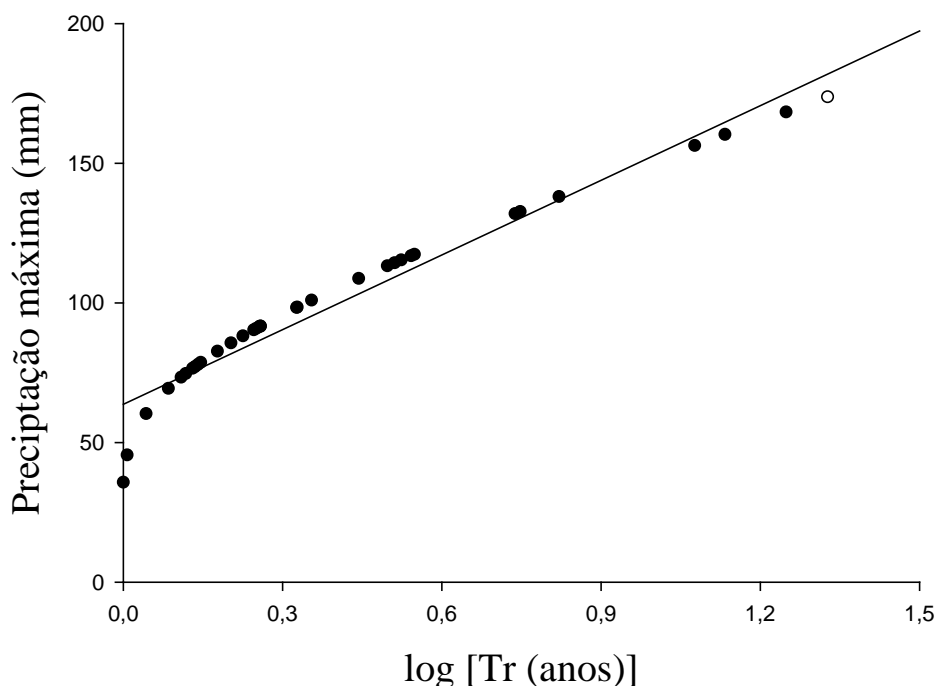
$$y = (S_y / S_x)[x_i - S_x(y_m / S_y)] \quad \text{equação (1)}$$

Onde:  $s_x$  – desvio-padrão da série;  $x_i$  – valor de um elemento da amostra;  $x_m$  – média da amostra da série anual finita de  $n$  valores;  $s_y$  – desvio-padrão, valor tabelado; e  $y_m$  – média da variável reduzida ( $y$ ), a qual é tabelada em função do número de dados da amostra.

O período de retorno ( $Tr$ ), definido como o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado ao menos uma vez, é estimado pela Equação 2, sendo tal expressão função da base dos logaritmos neperianos ( $e$ ).

$$TR = 1 / [1 - e^{-(e^y)}] \quad \text{equação (2)}$$

Os dados posteriormente foram plotados em um gráfico (Figura 2), que apresentasse as mesmas características do papel log-probabilístico também conhecido como papel de Gumbel, ou seja, os pontos correspondentes às alturas máximas de chuva ( $p$ ) ficaram na ordenada, em escala aritmética, e o período de retorno, em anos, correspondente na abscissa, em escala logarítmica-probabilística.



**Figura 2: Reta de ajuste dos dados de precipitação máxima em relação ao período de retorno, para o município de Pimenta Bueno.**

Posteriormente a esta operação, ajustou-se uma reta, Equação 3, que compreendeu a amplitude dos dados analisados sendo que a mesma apresentou um coeficiente de ajuste de 95%. Assim, tornou-se possível estimar as precipitações máximas com duração de “um dia” para diversos períodos de retorno podendo até mesmo extrapolar informações para períodos de retorno maiores que os contidos no intervalo desses dados.

$$p = (89,072)\log(Tr) + 63,709 \quad \text{equação (3)}$$

Depois de obtidas as alturas das chuvas para os períodos de 2 a 100 anos, estimou-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva de 5 minutos a 24 horas, por meio da desagregação de chuva diária, sendo utilizado para tal procedimento os quocientes das relações médias a nível nacional obtidos pela CETESB (1979), explicitado em Tucci et al. (2004).

Ao obter as informações de alturas máximas para os períodos e durações pretendidos, gerou-se a equação IDF para o município de Pimenta Bueno, Rondônia, por meio do estabelecimento das constantes - K, a, b e c - pelo método dos mínimos quadrados, para a equação IDF geral, Equação 4, que é o modelo matemático mais utilizado para expressar a relação IDF da precipitação.

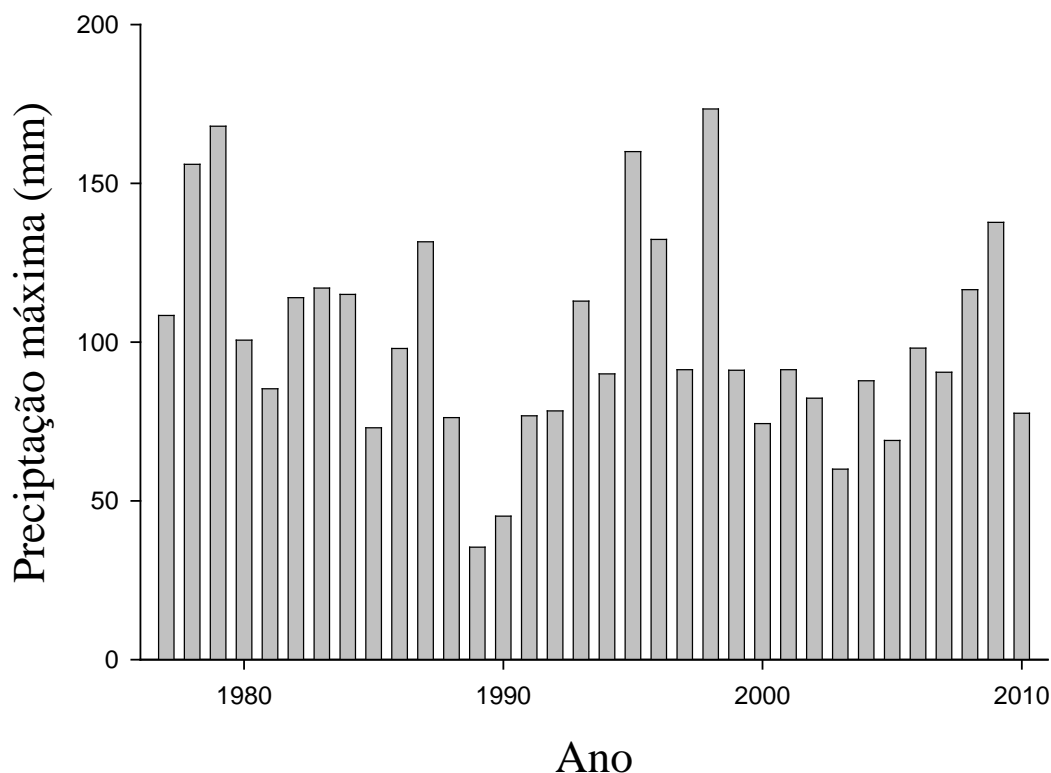
$$i_m = (K \cdot T_r^a) / (t + b)^c \quad \text{equação (4)}$$

Onde:  $i_m$  – intensidade máxima média de precipitação, mm/h; e K, a, b, c – parâmetros relativos à localidade.

Na verificação da eficiência da equação IDF proposta por este estudo, utilizou-se o coeficiente de regressão ( $r^2$ ) de ajuste da função aos pontos e realizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney, disponível no MINITAB® Statistical Software, 16.0 demo (MINITAB, 2011), para comprovar se os dados medidos e modelados conforme a distribuição de Gumbel diferem estatisticamente dos dados estimados pela função IDF, sendo estabelecida como hipótese nula ( $H_0$ ) que tais dados sejam iguais, ou seja, que a média das diferenças entre os dados modelados e os dados estimados é igual a magnitude 0 e como hipótese alternativa ( $H_1$ ), que os mesmos diferem entre si, ou seja que a média dessa diferença não é igual a 0. O critério de decisão foi baseado no intervalo construído para essas diferenças com um nível de confiança de 95,5 %, desta forma se o valor 0 estiver contido em tal intervalo aceita-se a hipótese de nulidade, pois a média é estatisticamente igual a 0, caso contrário a hipótese alternativa seria aceita pois a assertiva anterior torna-se inverídica. Prazeres Filho, Viola e Borges (2010) relatam que o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney é um teste não paramétrico, o qual prescinde da distribuição original dos dados, por isso chamados de testes livre de distribuição, o mesmo é indicado para testar se duas amostras são idênticas ou não, além disso sua utilização ocorre quando as variáveis estudadas são mensuradas em escala pelo menos em nível ordinal, sendo o mesmo uma alternativa ao teste t-pareado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se ao analisar os dados de precipitação máxima de “um dia” entre os anos de 1975 a 1997 do município de Pimenta Bueno (Figura 3), que os períodos que apresentaram maior magnitude de chuvas intensas foram 1998 e 1979, ambos com uma altura precipitada de 173,4 e 168 mm, sendo a frequência de retorno destes fenômenos estimada em aproximadamente 21 e 18 anos, pela distribuição de Gumbel. Portanto nestes períodos fica evidente a atuação de algum fenômeno meteorológico, como o *La Niña* que segundo Cutrim, Molion e Nechet (2000) ocasiona anomalias positivas de precipitação na região amazônica. Porém, este mesmo fenômeno meteorológico foi apontado por Cunha, Dalmago e Estefanel (2001), como responsável pela ocorrência de estiagens prolongadas na região sul do Brasil.



**Figura 3: Série histórica da precipitação máxima de “um dia” por ano, para o município de Pimenta Bueno.**

No entanto, o ano de 1989 apresentou a menor precipitação extrema da série histórica, sendo a mesma de 35,4 mm. Verifica-se, portanto que possivelmente a presença de algum fenômeno climático interferiu de forma expressiva na chuva deste ano, como o caso do *El Niño*, destacado no estudo de Silva, Saraiva e Silva (2010), como fator principal nos casos das secas registradas na região amazônica, nos períodos de 1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998. Nesse sentido Amorim et al. (2002) relatam que tal fenômeno é caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico Equatorial (porção centro-oeste) e pelo enfraquecimento dos ventos alísios de leste, provocando alterações climáticas e prejuízos financeiros em várias partes do globo.

Destaca-se ainda que o alto índice de precipitação observado nessa série histórica, exibida na Figura 3, é característico dos aspectos climáticos da região Amazônica, pois segundo Rondônia (2009), a média anual da precipitação pluvial no estado de Rondônia varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano.

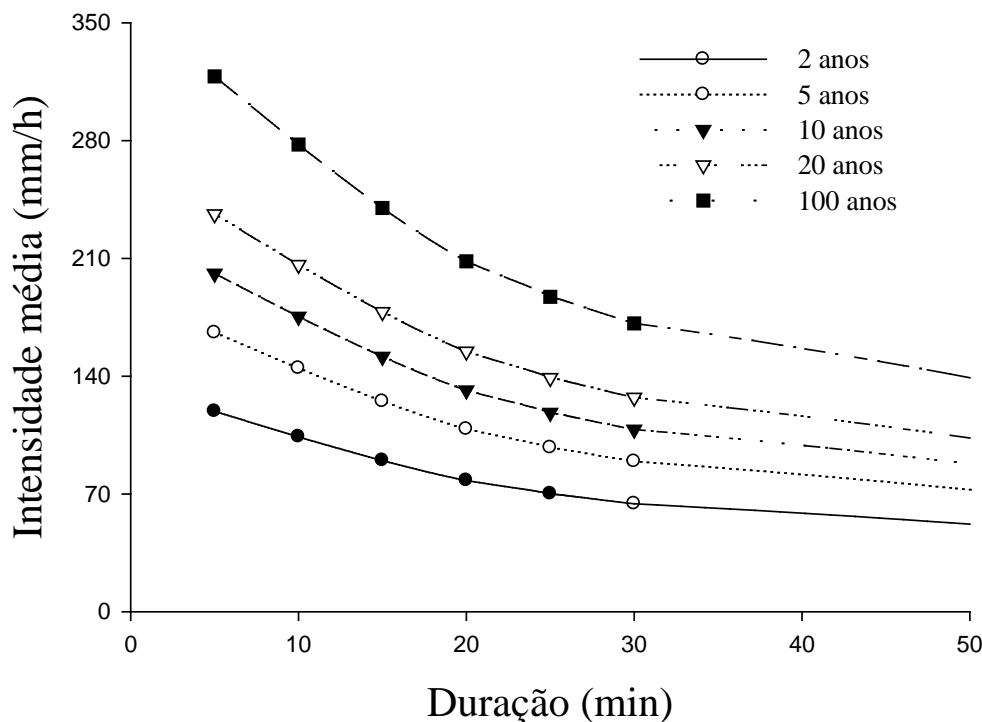
A equação desenvolvida com o presente estudo (Equação 5) para estimar a intensidade das precipitações máximas, explicitada pela Figura 3, teve como base durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 480, 600, 720 e 1.440 min; e períodos de retorno do fenômeno de 2, 5, 10, 20, 100 anos. Logo, a mesma apresentou uma grande faixa de aplicação, devido à amplitude dos intervalos. Nesse sentido, tal estimativa pode ser utilizada em diversas obras hidráulicas.

$$i_m = [(940,2994) \cdot Tr^{(0,226)}] / [(t + 13,8681)^{0,7137}] \quad \text{equação (5)}$$

De forma geral torna-se possível observar que a equação proposta (Figura 3) apresenta o comportamento típico para as curvas IDF, ou seja, a intensidade é indiretamente proporcional a duração, como constata Pereira et al. (2007), para os estudiosos da área isso é uma conclusão normal observar que quanto menor for a duração da precipitação, maior é a intensidade média. Além disso, verifica-se uma relação diretamente proporcional entre a intensidade e o período de retorno, evidenciando dessa forma a diferença no uso do  $Tr$  para o dimensionamento de obras hidráulicas, que conforme o seu grau de complexidade, estas têm a magnitude do período de retorno aumentada, pois conforme Beijo, Muniz e Castro Neto (2005), projetos hidráulicos geralmente são concebidos



considerando o custo mínimo, associado a um risco admissível de falha, requerendo a previsão de grandezas hidrológicas de grande magnitude, tais como máximas vazões ou precipitações que podem vir a ocorrer em certa localidade.



**Figura 4: Curva IDF de Pimenta Bueno.**

Vale salientar que a Equação 5 apresentou um coeficiente de regressão de aproximadamente 0,992, indicando dessa forma que 99% da variação dos dados da intensidade são explicados pela variação da duração e período de retorno. Assim, o coeficiente de correlação ( $r$ ) desta estimativa encontra-se na faixa de aproximadamente 1, demonstrando que a relação de  $i_m$  é perfeitamente correlacionada de forma positiva com as outras duas variáveis.

No que se refere ao teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney, foi possível demonstrar que não existem evidências estatísticas significativas que comprovem que os dados estimados pela equação diferem-se dos dados medidos, pois se obteve um intervalo de confiança de -2,670 a 0,780, sendo que neste encontra-se contido o valor 0 para o nível de significância estipulado para o teste; portanto, rejeitou-se a hipótese alternativa. Logo se observa que a extrapolação de dados para o período de 100 anos não causou distorções de grande magnitude que pudessem comprometer a estimativa desta equação, mesmo com os dados disponíveis conterem  $T_r$  máximo de 21 anos. Sendo assim, pode-se afirmar com 95,5% de confiança que a Equação 5 é significativa para os dados utilizados, confirmando a viabilidade do uso desta equação para os processos e funcionalidades a que a mesma se destina.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado confirma que a equação proposta para se estimar a intensidade das precipitações máximas é de grande aplicabilidade na otimização de processos na agricultura e no dimensionamento de obras hidráulicas para o município de Pimenta Bueno/RO, apresentando alto grau de correlação com as variáveis relacionadas, ou seja, com a duração e o período de retorno do fenômeno.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMORIM, R. C. F.; RICIERI, R. P.; VIRGENS FILHO, J. S.; SILVA JÚNIOR, R. S.; GNOATTO, E. Determinação do período de retorno da precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para a região de Cascavel/PR. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu. Anais. Foz de Iguaçu, 2002.
2. BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.
3. CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Influência do fenômeno ENSO sobre a cultura de trigo no Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. Anais. Fortaleza, 2001.
4. CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia Durante o Século XX. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro, 2000. Anais. Rio de Janeiro, 2000.
5. DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas – RS. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008.
6. GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1988.
7. GUMBEL, E.J. Statistics of extremes. New York: Dover Publications, 2004.
8. HERNANDEZ, V. Regionalização dos parâmetros de escala em chuvas intensas. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos. v. 13 n. 1, p. 91-98, 2008.
9. MINITAB. Minitab Statistical Tab. Pennsylvânia: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 28 de Nov. de 2011.
10. MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande, n. 13, p. 59-68, 2009.
11. PEREIRA, C. E. SILVEIRA A.; SILVINO, A. N. O. Estudo de chuvas intensas e estimativa da equação IDF para a cidade de Barra do Bugres – MT. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá. Anais. Cuiabá, 2007.
12. PRAZERES FILHO, J.; VIOLA, D. N.; FERNANDES, G. B. Uso de teste de aleatorização para comparar dois grupos considerando teste não paramétrico. SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19., 2010, São Pedro. Anais. São Pedro, 2010.
13. SILVA, M. J. G.; SARAIVA, F. M.; SILVA, A. A. G. Estudo do Comportamento da Precipitação para o ano de 2005 no estado de Rondônia. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. Anais. Belém, 2010.
14. TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia. Ciências e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.
15. VÁSQUEZ, R.; REDAÑO, A.; LORENTE, J. Curvas IDF: Barcelona – Fabra. Revista de Obras Publicas. s.l., p. 91-102, 1987.