

Análise de chuvas intensas por meio da desagregação de precipitações diárias de Jaru e Machadinho d'Oeste – RO, Brasil

Analysis of heavy rain through the disaggregation of daily rainfall in Jaru and Machadinho d'Oeste - RO, Brazil

Vinicius Alexandre Sikora de Souza, Rhayanna Kalline do Nascimento, Marcos Leandro Alves Nunes e Ana Lúcia Denardin da Rosa

RESUMO - 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. Atualmente uma das soluções para realizar a caracterização e estimativa das precipitações intensas é a utilização de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que preveem a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal. Neste contexto, esse estudo objetiva estimar a função IDF para os municípios de Jaru e Machadinho d'Oeste, localizados no estado de Rondônia – Brasil, por meio da metodologia da desagregação de chuvas diárias, que gera séries sintéticas com duração em intervalos menores, por meio de coeficientes que transformam chuva de 24h em outras de menor duração, permitindo assim o desenvolvimento de curvas IDF. As equações geradas apresentaram um coeficiente de ajuste de aproximadamente 96% para o município de Jaru e 92,85% para Machadinho d'Oeste. Por fim, constatou-se que as equações propostas para a estimativa da intensidade das precipitações máximas são de grande aplicabilidade tanto para o município de Machadinho d'Oeste quanto para Jaru.

PALAVRAS-CHAVE: curva IDF, precipitação pluviométrica, estimativa de precipitação

ABSTRACT – The rainfall, among the hydrological elements, is what most interferes in human life, since, if configured as the main entrance of water in the hydrological system. Currently one of the solutions to perform the characterization and estimation of heavy precipitation is the use of curves Intensity-Duration-Frequency (IDF), which consist of semi-empirical mathematical models that predict the intensity precipitated by the duration and temporal distribution. In this context, this study aims to estimate the function IDF for the municipalities of Jaru and Machadinho d'Oeste, located in the state of Rondônia - Brazil, using the methodology of disaggregating daily rainfall that generates synthetic series lasting at shorter intervals, for means of transform coefficients for 24 hours in rain into shorter, thus allowing the development of IDF curves. The equations generated had a coefficient of adjustment of approximately 96% for the city of Jaru and 92.85% for Machadinho d'Oeste. Finally, it was found that the proposed equations to estimate the intensity of the precipitations are of great use to both the city of Machadinho d'Oeste and for Jaru.

KEY WORDS: IDF curve, rainfall, rainfall estimation.

INTRODUÇÃO

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 a sua ocorrência. O conhecimento de eventos hidrológicos

extremos é um requisito em projetos de drenagem, impermeabilização e outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais, isso porque permite que o projetista considere os riscos existentes com a execução da obra e, associe a melhor alternativa, do ponto de vista econômico; sem se desvencilhar das questões técnicas de desempenho e segurança.

Recebido em 10/12/2012 e aceito em 30/03/2013

1 Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e-mail: vass1000@hotmail.com

2 Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR

3 Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

4 Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2006), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2009) e professora assistente da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

Atualmente uma das soluções para realizar a caracterização e estimativa das precipitações intensa sé a utilização de curvas Intensidade – Duração - Frequência (IDF), as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que preve e ma intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal (DAMÉ et al., 2006).As mesma são estimativas que visam atender as características específicas da precipitação na localidade para qual o modelo é confeccionado ,por meio de análises estatísticas,devido às chuvas intensa ajustarem-se à distribuição de Gumbel.

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, segundo Cardoso, Ullmann & Bertol (1998) o conhecimento das características das chuvas é bastante escasso na maior parte do Brasil e, mesmo em regiões que apresentam satisfatória densidade de postos pluviométricos ,os dados disponíveis são inadequados para uma utilização imediata,devido a tais dados apresentarem apenas intensidades em espaços de tempo maiores ou iguais a um dia. O que 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 chuva 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, a exemplo cita-se o estado de Rondônia, o qual é praticamente desprovido de informações de chuvas intensas, obrigando dessa forma o uso, como alternativa para a realização de projetos de obras hidráulicas, de informações de postos meteorológicos mais próximos ou de características climatológicas similares a da localidade na qual o projeto é realizado.

Sendo assim, observou-se a necessidade de estimar a função IDF para os municípios de Jarue Machadinho d’Oeste, localizados no estado de Rondônia–Brasil,por meio da metodologia da desagregação de chuvas diárias.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com base na maior série histórica de chuva máxima de “um dia” do município de Jarue Machadinho d’Oeste, 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 dessa forma em 399 meses efetivos para Jarue Machadinho d’Oeste, utilizados nas análises estatísticas. As estações pluviométricas das quais se obtiveram os dados para a realização deste estudo ,possuíam os códigos 862000e 1062001, estando estas referenciadas respectivamente nas coordenadas 10° 26’ 45’’ S e 62° 27’ 56’’ O; e 8° 56’ S e 62° 3’ 14’’ O, Figura 1.

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. Em seguida 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.

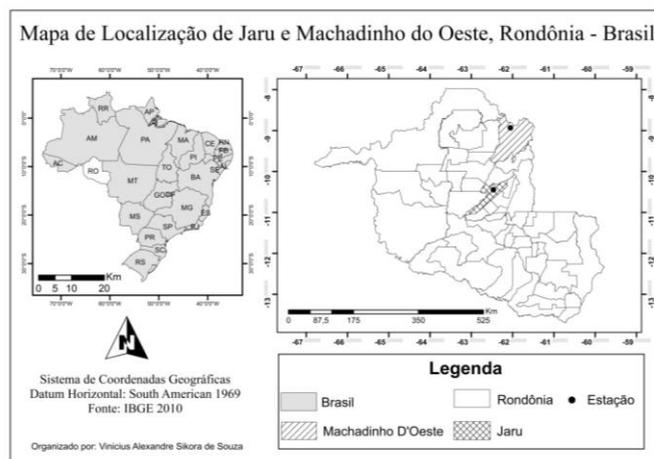


Figura 1. Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

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

$$y = \frac{s_y}{s_x} \left[x_i - \left(x_m - s_x \frac{y_m}{s_y} \right) \right] \quad (1)$$

Onde s_x é o desvio-padrão da série, x_i , o valor de um elemento da amostra, x_m é a média da amostra da série anual finita de n valores, s_y é o desvio-padrão (valor tabelado) e y_m é a média da variável reduzida (y), 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, pelo menos uma vez é estimado

pela Eq. 2. Sendo tal expressão função da base dos logaritmos neperianos (e).

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (2)$$

Após este procedimento, os dados posteriormente foram plotados em um gráfico que apresentasse as mesmas características do papel log-probabilístico, conhecido também 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.

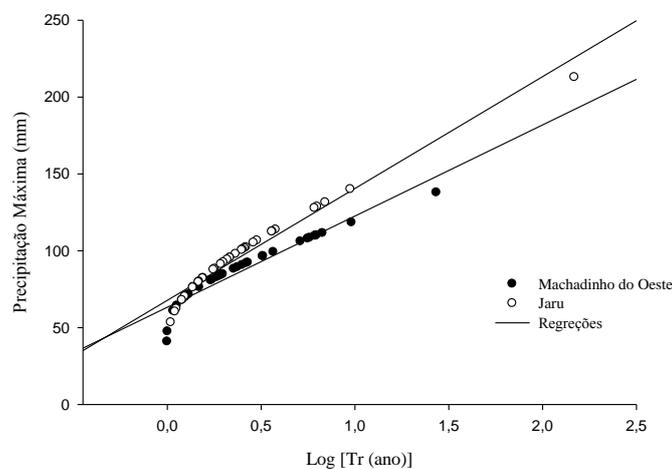


Figura 3. Retas de ajuste dos dados de precipitação máxima em relação ao período de retorno, para os municípios de Jarú e Machadinho d’Oeste

Após esta etapa ajustou-se as retas para os municípios de Jarú (Eq. 3) e Machadinho d’Oeste (Eq. 4), as quais compreenderam a amplitude dos dados analisados, pois as mesmas apresentaram um coeficiente de ajuste de 96% e 91,85%, respectivamente. O que tornou possível estimar para tais localidades diversos períodos de retorno com suas respectivas precipitações máximas com duração de “um dia”, podendo até mesmo extrapolar informações para períodos de retorno maiores do que os contidos no intervalo desses dados.

$$p = 59,301 \log Tr + 63,284 \quad (3)$$

$$p = 72,772 \log Tr + 67,772 \quad (4)$$

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 para tal procedimento utilizados os quocientes das relações médias a nível nacional, conforme explicitado em Tucci (2009).

Ao obter as informações de alturas máximas para os períodos e durações pretendidos, gerou-se as equações IDF, para esse município, por meio do estabelecimento das constantes $-K, a, b, c$ pelo método dos mínimos

Recebido em 10/12/2012 e aceito em 30/03/2013

1 Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e-mail: vass1000@hotmail.com

2 Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR

3 Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

4 Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2006), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2009) e professora assistente da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

quadrados, para a equação IDF geral(Eq.5) que segundo Villela e Mattos (1975) é o modelo matemático mais utilizado para expressar a relação IDF da precipitação.

$$i_m = \frac{K.Tr^a}{(t+b)^c} \tag{5}$$

Na Eq. 5 tem-se i_m como a intensidade máxima média de precipitação, mm/h e K, a, b, c como 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 (Figura 3) entre os anos de 1977 a 2010 dos municípios analisados, que os períodos que apresentaram maior magnitude de chuvas intensas foram em 1983 (Jaru) e 1981 (Machadinho d'Oeste), ambos com uma altura precipitada de 212,8 e 137,8 mm, respectivamente. A frequência de retorno destes fenômenos foi estimada pela distribuição de Gumbel aproximadamente 148 anos para o município de Jaru e 27 anos para o de Machadinho d'Oeste. Portanto nestes períodos para tais regiões 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.

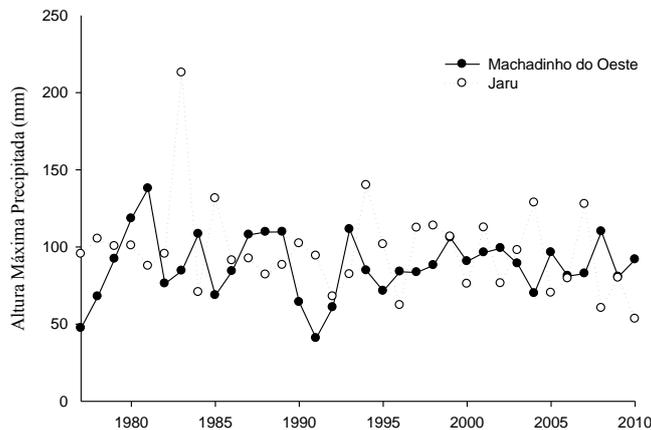


Figura 3. Série histórica da precipitação máxima de “um dia” por ano, para o município de Jaru e Machadinho d’Oeste

Em relação a menor precipitação extrema da série histórica, destaca-se o ano de 2010 (53,3 mm) para Jaru e 1991 (40,8mm) para Machadinho d’Oeste. Analisando a séries históricas dos municípios estudados, nota-se que essas ocorrências encontram-se muito abaixo das médias das mesmas localidades, sendo respectivamente, 97,008 mm/dia (com desvio padrão de aproximadamente 29

mm/dia) e 88,1 mm/dia (com desvio padrão de aproximadamente 20,4 mm/dia,). Situação essa que pode denotar a presença de algum fenômeno climático que interferiu de forma expressiva na chuva de tais anos, como por exemplo, o *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

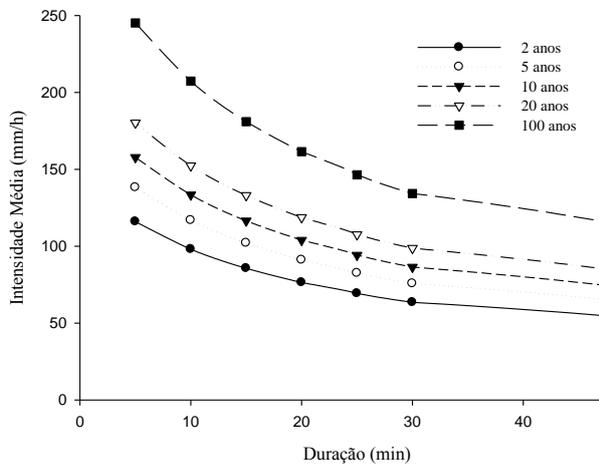
1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998. Nesse sentido Amorinet al. (2002) relatam que tal fenômeno é caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico Equatorial (porção centro-oeste) e pelo enfraquecimento dos ventos alísios de leste, provocando alterações climáticas e prejuízos financeiros em várias partes do globo.

Destaca-se ainda que o alto índice de precipitação observado nessa série histórica, exibida na Figura 4, é característico dos aspectos climáticas da região Amazônica. Segundo a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental - SEDAM (2009), a média anual da precipitação pluvial no estado de Rondônia varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano.

As equações desenvolvidas com o presente estudo (Jaru, Eq.6, Machadinho d'Oeste, Eq. 7) para estimar a intensidade das precipitações máximas, explicitada pela Figura 5, 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.

$$i_m = \frac{918,0142 \cdot T_r^{0,2085}}{(t+13,8681)^{0,7187}}$$

(6)

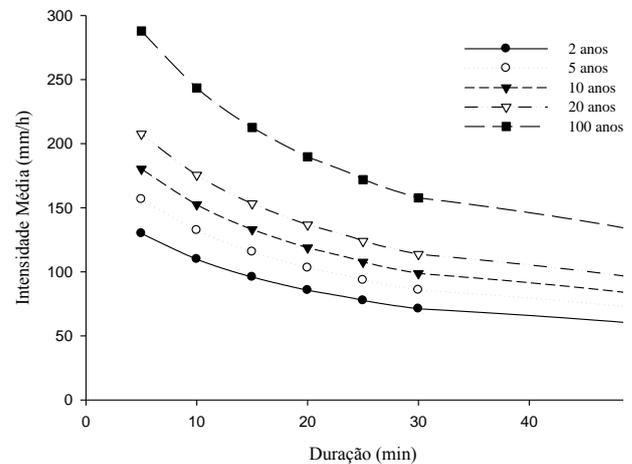


a)

$$i_m = \frac{826,2986 \cdot T_r^{0,1914}}{(t+13,8681)^{0,7187}}$$

(7)

De forma geral torna-se possível observar que a equação proposta (Figura 5) apresenta o comportamento típico para as curvas IDF, ou seja, a intensidade é indiretamente proporcional a duração, como constata Pereira, Silveira e Silvino (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 T_r 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.



b)

Figura 4. Curva IDF de Jaru (a) e de Machadinho do Oeste (b)

Os dados explicitados na Figura 5 revelam ainda que a o município de Machadinho do Oeste apresenta eventos extremos de maior magnitude média quando comparado ao município de Jaru, indicando assim que do ponto de vista do volume total das chuvas, há necessidade de maior preocupação com o controle de enxurradas e conservação do solo nessa localidade (CARDOSO; ULLMANN; BERTOL, 1998).

Vale salientar que ambas as Eqs.6 e 7, apresentaram um coeficiente de regressão de aproximadamente 0,997, indicando dessa forma que 99,7% da variação dos dados da intensidade são explicados pela variação da duração e período de retorno. Assim, o coeficiente de correlação (r) destas estimativas encontram-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 Eqs. 6 e 7 diferem-se dos dados medidos, pois se obteve um intervalo de confiança de -1,970 a 0,400 para a Eq. 6 e -2,180 a 0,430 para a Eq. 7, desta forma nos mesmos encontram-se contidos 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 pela Eq. 7, para o período de 100 anos não causou distorções de grande magnitude que pudessem comprometer a estimativa desta equação, mesmo os dados disponíveis conterem Tr máximo de 27 anos. Sendo assim, pode-se afirmar com 95,5% de confiança que ambas as Eqs. 6 e 7 são significativas para os dados utilizados em suas confecções, confirmando a viabilidade do uso destas para os processos e funcionalidades a que as mesmas se destinam.

CONCLUSÕES

Constatou-se ao analisar os dados o estudo realizado confirma que as equações propostas para a estimativa da intensidade das precipitações máxima sé de grande aplicabilidade na otimização de processos na agricultura e no dimensionamento das obras hidráulicas, tanto para o município de Machadinho do Oeste quanto para Jaru. Apresentando alto grau de correlação com as variáveis relacionadas, ou seja, com a duração e o período de retorno do fenômeno.

BIBLIOGRAFIA

- AMORIM, R. C. F.; RICIERI, R. P.; AMORIM, R. F. C. Balanço Hídrico Climático para Cascavel-PR. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: XII SBMET. CD-Rom.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.
- CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da Desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.
- CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Influência do fenômeno ENSO sobre a cultura de trigo no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA.
- CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia Durante o Século XX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000.
- DAMÉ, R. C. F.; PEDROTTI, C. B. M.; CARDOSO, M. A. G.; SILVEIRA, C. P.; DUARTE, L. A.; ÁVILA, M. S. V.; MOREIRA, A. C. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira de Agrocência**, Pelotas, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.
- GUMBEL, E. J. **Statisticsof extremes**. New York: Dover Publications, 2004.
- HERNANDEZ, V. Regionalização dos parâmetros de escala em chuvas intensas. **Rev. Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13 n. 1, p. 91-98, 2008.
- MINITAB. **MinitabStatisticalTab. Pennsylvânia**: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 28 de Nov. de 2011.
- 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. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais ...Cuiabá: ABRH**.
- PRAZERES FILHO, J.; VIOLA, D. N.; FERNANDES, G. B. Uso de teste de aleatorização para comparar dois grupos considerando teste não paramétrico. In: Simpósio nacional de probabilidade e estatística, 19., 2010, São Pedro. **Anais...**, São Pedro: SINAPE.
- SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – RONDÔNIA (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia – 2008**. Porto Velho: SEDAM, 2009.
- 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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...**, Belém: SBMET, 2010.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciências e Aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.
- VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.