

EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EM IRATI-PR: ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DE TENDÊNCIA

Ana Paula Bacchiega Prestes (Universidade Estadual do Centro-Oeste) E-mail: aninhacch@gmail.com
Daniel Bartiko (Universidade Estadual do Centro-Oeste) E-mail: danielbartiko@hotmail.com
Kelly Geronazzo Martins (Universidade Estadual do Centro-Oeste) E-mail: kellygm77@gmail.com

Resumo: Os fenômenos naturais relacionados ao clima, principalmente quando na forma de eventos extremos, geram inúmeras adversidades, as quais repercutem negativamente na qualidade de vida das populações. Entre estes fenômenos naturais, de especial interesse, é a precipitação. No presente trabalho foi avaliada a aderência de dados de eventos extremos de precipitação diária (registrados no período entre 1967 e 2015 na Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizada no município de Irati-PR) às distribuições de probabilidade Gamma, Gumbel, Log-normal e Generalizada de Valores Extremos (GEV), sendo que os parâmetros das mesmas foram estimados a partir de diferentes métodos: Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança. A aderência dos dados às distribuições foi constatada com o auxílio do Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), sendo os melhores resultados obtidos para a distribuição GEV (em especial quando os parâmetros foram estimados a partir do método Momentos-L), seguida pela de Gumbel. A partir das distribuições GEV e de Gumbel foram estimados o tempo de retorno (Tr) para o maior valor de precipitação diária já registrado na estação (175 mm), encontrado igual a 58 anos para a configuração que os dados apresentaram melhor aderência (GEV com parâmetros estimados a partir do método Momentos-L), período de tempo próximo do valor calculado empiricamente, 50 anos. Neste trabalho também foi realizada análise de tendência dos valores máximos de precipitação diária registrados anualmente com o uso do teste de Mann-Kendall, o qual indicou tendência de elevação (ao nível de significância $\alpha = 0,05$).

Palavras-chave: Precipitação máxima diária, Generalizada de Valores Extremos, Gumbel, Mann-Kendall, Tempo de retorno.

DAILY RAINFALL EXTREME EVENTS IN IRATI-PR: PROBABILISTIC AND TREND ANALYSIS

Abstract. Natural phenomena related to the climate, mainly as extreme events, generate a number of difficulties, which impact negatively in the population quality of life. Among these natural phenomena, one of special interest is rainfall. This study evaluated the adherence of daily rainfall extreme events data (recorded between 1967 and 2015 in the Meteorology National Institute at the Meteorological Station in Irati- Paraná) to the Gamma, Gumbel, Log-normal and Generalized Extreme Values (GEV) probability distributions whose parameters were estimated through different methods: Moments, L-Moments and Maximum likelihood. The data adherence to the distributions was detected with the aid of the Kolmogorov-Smirnov (KS) test, and the best results were obtained for the GEV distribution (mainly when the parameters were estimated through the L-Moments method), followed by Gumbel. From the GEV and Gumbel distributions, the return period (RP) for the highest daily rainfall value ever recorded in the station (175mm) was estimated, which was found to be 58 years for the configuration that the data presented the best adherence (GEV with parameters estimated from the L-moments method), period of time close to the empirically calculated value, 50 years. The study also included an analysis of daily rainfall maximum values trend recorded annually through the Mann-Kendall test, which indicated an increasing tendency (at the $\alpha = 0,05$ significance level).

Keywords: Maximum daily precipitation, Generalized Extreme Values, Gumbel, Mann-Kendall, Return period.

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos naturais relacionados ao clima, principalmente quando na forma de eventos extremos geram inúmeras adversidades, as quais repercutem negativamente na qualidade de vida das populações (ZANELLA *et al.*, 2009). Segundo SILVA *et al.* (2007), a precipitação está entre os elementos meteorológicos de maior importância, pois relaciona-se diretamente às atividades da sociedade, afetando diretamente a economia e o ambiente. WILLEMS *et al.*

(2012) afirmam que a precipitação máxima diária anual é um exemplo de evento extremo que tem consequências sobre a agricultura, conservação do solo, estradas, barragens e drenagem.

Segundo CARVALHO *et al.* (2014), informações sobre a ocorrência de eventos extremos são fundamentais para a sociedade se preparar para os efeitos provocados pelos mesmos. Opinião semelhante é de CALDEIRA *et al.* (2015), os quais consideram que estudos relacionados a estes eventos são de grande relevância na gestão de recursos hídricos, visto que são aplicados frequentemente para o conhecimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas no tocante ao controle de cheias e inundações, tal como para a estimativa de vazões de projeto e para o dimensionamento de estruturas hidráulicas.

Assim, na busca de informações sobre a ocorrência de eventos extremos (como a probabilidade de ocorrência de um valor de precipitação diária excessivamente elevado em um ano qualquer) é comum o emprego de séries hidrológicas de máximos valores (composta por dados de precipitação diária obtidos em estações meteorológicas durante determinado período de tempo) para ajuste segundo a lei probabilística que melhor descreva o processo, possibilitando extrapolações (VIEIRA *et al.*, 1991). Segundo NAGHETTINI & PINTO (2007) existem inúmeras distribuições de probabilidade (Gumbel, Fréchet, Weibull, Generalizada de Valores Extremos - GEV, Generalizada de Pareto, Pearson III, Log-Pearson III e Log-Normal) que podem ser empregadas para a modelação de eventos máximos anuais de variáveis hidrológicas.

Dentre as citadas anteriormente, destaca-se no Brasil (pelo bom ajuste que geralmente apresentam quando utilizadas) as distribuições de Gumbel (BACK, 2001; SANSIGOLO, 2008; QUADROS, 2011; JUNQUEIRA JUNIOR *et al.*, 2015) e a GEV (BLAIN E CAMARGO, 2012; FRANCO, 2014; BLAIN E MESCHIATTI, 2014).

É importante destacar que a escolha da distribuição de probabilidade que melhor representa um conjunto de dados recai sobre testes estatísticos de aderência, dentre os quais destacam-se o de Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD), Filliben, Qui-Quadrado, entre outros (SHIN *et al.*, 2012).

Além da seleção da distribuição de probabilidade que melhor representa os dados observados (que pode ser constatada por testes estatísticos de aderência mencionados anteriormente), é importante também destacar a importância da escolha da metodologia (Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança) a ser utilizada para a estimativa dos parâmetros das distribuições (de escala, posição e em alguns casos; de forma), as quais segundo BESKOW *et al.* (2015) exercem influência sobre a qualidade do ajuste dos dados à distribuição de probabilidade.

As séries históricas de fenômenos hidrológicos extremos aplicadas em estudos estatísticos como os mencionados anteriormente estão em constante expansão (nas quais são incrementados os dados registrados a cada novo ano), acréscimos que trazem maior confiabilidade aos ajustes dos dados às distribuições (uma vez que as séries existentes geralmente não são extensas).

Em um período em que preocupações relacionadas aos efeitos das mudanças climáticas sobre fenômenos hidrológicos ganham força, séries de dados (que estão em constante atualização pela inserção de novos valores observados ao longo do tempo) relativas a eventos extremos tem grande importância no estudo do comportamento da variável que representa. BERNSTEIN *et al.*, (2007), ELSEBAIE (2011) apontam que em nível global ou local, a frequência e a magnitude de fenômenos hidrológicos extremos vêm aumentando significativamente nas últimas décadas. A urbanização, o desmatamento, as emissões de gases de efeito estufa e mudanças na prática agrícola são apenas alguns exemplos de atividades antrópicas que podem alterar aspectos importantes do ciclo hidrológico.

Assim, estudos (também estatísticos) de tendência em séries temporais apresentam-se como de fundamental importância para compreender o impacto que o homem pode ter sobre o meio natural, o que tem levado inúmeros cientistas a explorar a existência de tendências em séries

hidrometeorológicas, principalmente referentes à dados de temperatura e de precipitação (ROSMANN, DOMÍNGUEZ & CHAVARRO, 2016). Tais estudos permitem também um melhor entendimento sobre a dinâmica do comportamento de eventos que estão diretamente relacionados a mudanças no ciclo hidrológico, os quais tendem a causar cheias e estiagens cada vez mais severas, que têm grandes efeitos sobre as populações e seus sistemas socioeconômicos.

Neste contexto, o teste de Mann Kendall surge como uma das ferramentas estatísticas que podem ser aplicadas na análise de tendência de eventos hidrológicos. Embora de suma importância, trabalhos que abordam este tema ainda são encontrados com pouca frequência no Brasil (exemplos são o de BLAIN & MORAES, 2011; DUFEK & AMBRIZZI, 2008), sendo mais comuns no exterior (como os trabalhos de KEGGENHOFF *et al.*, 2014; CORTESI *et al.*, 2012; AFZAL, MANSELL & GAGNON, 2011; HUNDECHA & BÁRDOSSY, 2005; entre outros).

Na primeira quinzena de junho de 2014, elevados valores de precipitação foram registrados em algumas regiões do Estado do Paraná. Segundo dados levantados pela Defesa Civil do Estado (divulgados em 30/06/2014), ao menos 828.730 pessoas foram afetadas pelas fortes chuvas, em mais de 150 cidades. Segundo o mesmo órgão, os danos materiais ultrapassaram os seiscentos milhões de reais. Além dos prejuízos econômicos, ficou confirmada, em decorrência do evento, a morte de onze pessoas e duzentas e vinte e nove ficaram feridas, mais de cinquenta mil pessoas ficaram desalojadas ou desabrigadas.

Nesta ocasião, o município de Irati-PR foi um dos mais atingidos do Estado, segundo dados do INMET, em um único dia (08/07/2014) choveu cento e setenta e cinco milímetros na estação meteorológica localizada no município, maior altura já registrada em um único dia e que culminou em vastos prejuízos, obrigando a prefeitura a decretar Estado de Calamidade Pública no município. Segundo a Defesa Civil, 56.207 pessoas foram afetadas em Irati-PR.

Diante do exposto; e considerando os elevados impactos negativos decorrentes de precipitações extremas no município citado acima, torna-se imprescindível o estudo da frequência das mesmas, bem como a análise de tendência das séries temporais para assim permitir um melhor entendimento destes fenômenos com o intuito de utilizar tais informações no planejamento das atividades relacionadas à gestão de recursos hídricos e de prevenção de desastres naturais.

O objetivo deste trabalho foi verificar se as distribuições de probabilidade (Gamma, Gumbel, Lognormal, GEV) podem ser utilizadas para a modelagem dos dados de precipitação diária de uma estação meteorológica localizada no município citado anteriormente. Caso positivo, avaliar qual distribuição tem melhor aderência aos dados, levando em consideração diferentes métodos para a estimação dos parâmetros de posição, escala e forma (quando for o caso). Além disso, estimar o tempo de retorno (T_r) para o maior valor de precipitação diária já registrado na série histórica (com o auxílio da distribuição que apresentar melhor aderência) e também analisar se existe tendência na mesma através do teste de Mann Kendall.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Região de estudo e composição da série histórica de precipitação

O presente trabalho foi realizado a partir de registros pluviométricos da Estação meteorológica do INMET localizada em Irati-PR (código da estação: 83836). O município está localizado na Mesorregião Sudeste Paranaense e seu clima, segundo a classificação de KOPPEN, é Cfb (clima temperado úmido com verão temperado), apresentando precipitação média anual entre 1600 e 1800 mm (IAPAR, 2014). Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município tinha, em 2015, população total de 59.708 habitantes.

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos através do site do INMET e do portal Hidroweb/ANA. Embora as duas fontes forneçam dados da mesma estação, na do INMET existiam falhas pontuais, fato que não se repetiu na série disponível no Portal Hidroweb (que possui dados apenas até o ano de 2004). A série histórica utilizada refere-se às precipitações pluviométricas diárias expressas em altura de lâmina d'água (mm), referentes a 49 anos de observações do período compreendido entre janeiro de 1967 a dezembro de 2015, permanecendo dentro do valor recomendado para estudos estatísticos (mínimo de 30 anos) pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 1994).

2.2 Teste de aderência dos dados às distribuições de probabilidade

Uma vez determinada a série histórica de interesse, composta pelo maior valor de precipitação diária registrado anualmente durante o período avaliado (1967-2015), realizaram-se testes de aderência dos dados às distribuições de probabilidade de Gumbel, Gamma, Lognormal e GEV (com seus parâmetros de escala, posição e forma estimados pelos métodos Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança). A verificação da aderência foi executada a partir do teste de KS (ao nível de significância $\alpha = 0,05$) com o auxílio do software ALEA, desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

Segundo Naghettini e Pinto (2007), o teste de KS observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados e a função de distribuição empírica dos dados. Como critério, compara-se esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância.

A hipótese nula a ser testada é $H_0: P(X < x) = F_X(x)$, onde $F_X(x)$ é supostamente conhecida, ou seja, seus parâmetros não são estimados a partir da amostra. Para implementar o teste KS, inicialmente é necessário classificar os elementos da amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ em ordem crescente, de modo a constituir a sequência $\{x(1), x(2), \dots, x(m), \dots, x(N)\}$, na qual $1 \leq m \leq N$ denota a ordem de classificação. Para cada elemento $x(m)$, a distribuição empírica $F_N(x_m)$ é calculada pela proporção de valores amostrais que não excedem $x(m)$, ou seja,

$$F_N(x_m) = \frac{m}{N} \quad (1)$$

Em seguida, é necessário calcular as probabilidades teóricas, segundo $F_X(x)$, tendo como argumento os valores $x(m)$. A estatística do teste de KS é dada por:

$$D_N = \sup_{-\infty < X < \infty} |F_N(x) - F_X(x)| \quad (2)$$

Correspondente, portanto, a maior diferença (em módulo) entre as probabilidades empírica e teórica, sendo que x é limitado superiormente entre $-\infty$ a ∞ .

Se D_N for maior que um valor crítico K (dado em função do nível de significância e do número de dados), rejeita-se a hipótese nula $H_0: P(X < x) = F_X(x)$. Uma vez aceita a hipótese alternativa, H_1 , significa que os dados não seguem a distribuição testada e que outra distribuição deverá ser escolhida.

2.3 Distribuição Generalizada de Valores Extremos e de Gumbel

Uma vez identificado que os dados registrados historicamente apresentaram melhor ajuste às distribuições GEV e de Gumbel, as mesmas foram utilizadas para estimar o Tr do maior valor de precipitação diária já registrado.

Segundo NAGHETTINI E PINTO (2007), a distribuição Generalizada de Valores Extremos incorpora três formas assintóticas de valores máximos em uma única expressão. A função de probabilidades acumuladas da distribuição GEV é dada por:

$$F_Y(y) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{y - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi} \right)} \right\} \quad (3)$$

Onde μ, σ e ξ são os parâmetros de posição, escala e de forma, respectivamente.

Já a função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada por:

$$F_Y(y) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right] \quad (4)$$

Onde α e β são parâmetros de escala e de localização, respectivamente.

A metodologia para estimativa dos parâmetros das referidas distribuições de probabilidade seguindo os métodos Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança podem ser encontrada em NAGHETTINI E PINTO (2007).

2.4 Teste de Mann Kendall

O objetivo desta etapa foi avaliar se nas últimas décadas há tendência de aumento na altura das precipitações máximas diárias anuais na região em estudo, conforme indicam trabalhos realizados em outros locais (PINHEIRO, GRACIANO & SEVERO, 2013; BERNSTEIN *et al.*, 2007; KEGGENHOF, 2014).

Para detectar mudanças ou tendências na série de dados temporais foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall. A hipótese nula é rejeitada quando existe uma tendência significativa na série temporal (QUEIROZ, 2013).

Assim como no trabalho de SCOFIELD *et al.* (2014) foi testada a hipótese nula (H_0), sem tendência, ou seja, as observações x_i são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese H_1 , onde existe uma tendência monotônica positiva ou negativa.

Sob H_0 , o teste estatístico Mann-Kendall (S) é calculado pela equação:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

Onde x_j e x_k são os valores de precipitação do dia que registrou a maior altura pluviométrica nos anos j e k , respectivamente. O cálculo de $\text{sgn}(x_j - x_k)$ é igual a 1, se $x_j - x_k > 0$; ou 0, se $x_j - x_k = 0$; ou -1, se $x_j - x_k < 0$.

O teste descreve uma aproximação normal que pode ser utilizada para os conjuntos de dados com mais de 10 valores, desde que não sejam semelhantes dentro do conjunto de dados, uma vez que dados podem se repetir dentro de uma mesma série. A variância de S ($VAR(S)$) é calculada a partir da equação abaixo:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) \sum_{p=1}^q t_p (t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (6)$$

Onde q é o número de valores semelhantes e t_p é o número de valores no p -ésimo grupo.

Os valores de S e VAR (S) são usados para calcular o teste estatístico Z_{calc} como se segue:

$$Z_{\text{calc}} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

A presença da tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor Z_{calc} . Um valor positivo (negativo) de Z_{calc} indica uma tendência positiva (negativa). A estatística Z_{calc} possui uma distribuição normal. Num teste bilateral para tendência a um nível de significância α , H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z_{calc} é maior que $Z_{(1-\alpha/2)}$, onde $Z_{(1-\alpha/2)}$ é obtido a partir da tabela de distribuição cumulativa normal (SCOFIELD *et al.*, 2014).

Para o teste de tendências utilizou-se o software Rx64 3.2.0, com o auxílio do pacote trend função `mk.test`, sendo os maiores valores de precipitação diária registrada para cada ano em estudo os dados de entrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nas análises realizadas neste trabalho, para isso optou-se em dividir os resultados em sub-seções, apresentadas abaixo.

3.1 Distribuições de Probabilidade e Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov.

Foi testada a aderência dos dados da série histórica de precipitação do posto pluviométrico estudado a quatro distribuições de probabilidade (Gamma, Gumbel, Lognormal e GEV). Os valores (D_N) das estatísticas do teste Kolmogorov Smirnov para as quatro distribuições avaliadas (que tiveram seus parâmetros estimados pelos métodos Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança) são apresentados na Tabela 1. O valor crítico K (para $\alpha = 0,05$) do teste de aderência de KS é igual a 0,194 (para tamanho da amostra - n - igual a 49). Os valores da média e do desvio-padrão da amostra foram iguais a 86,73 e 28,13 mm, respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas do Teste de KS - D_N

Método de estimativa dos parâmetros das distribuições	Distribuição de Probabilidade			
	Gamma	Gumbel	Lognormal	GEV
MOM	0,1516	0,128	0,1341	0,1236
MML	0,1568	0,1292	0,1376	0,0898
MMV	0,1599	0,125	0,14	0,1096

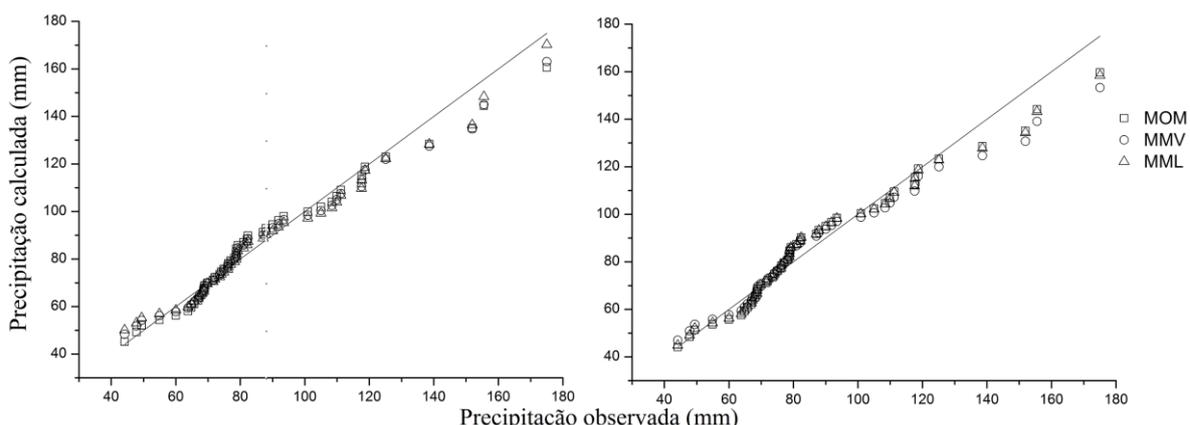
Pode-se observar que para todas as distribuições avaliadas os valores da estatística (D_N) do teste de KS foram inferiores ao valor crítico K, o que faz com que não se rejeite em nenhum caso a hipótese nula, ou seja, que o comportamento probabilístico da variável aleatória em questão pode ser modelado por qualquer uma das referidas distribuições a um nível de significância $\alpha = 0,05$. No entanto, a distribuição GEV foi a que apresentou os menores valores da estatística (D_N) do teste de KS, seguida da distribuição de Gumbel, fato que as coloca como as distribuições mais adequadas para estudos de eventos extremos de precipitação diária para a localidade em questão. A boa aderência de dados de precipitação a ao menos uma dessas distribuições já foi detectada em estudos realizados no Brasil por BACK (2001); SANSIGOLO (2008); QURADROS (2011); JUNQUEIRA JUNIOR et. al. (2015) BLAIN E CAMARGO (2012); FRANCO (2014); BLAIN E MESCHIATTI (2014), entre outros.

Na Figura 1 é possível verificar a qualidade do ajuste dos dados de precipitação máxima diária às distribuições GEV (a) e de Gumbel (b) com seus parâmetros estimados através dos métodos Momentos, Máxima Verossimilhança e Momentos-L (MOM, MMV e MML, respectivamente).

Figura 1. Ajuste dos dados de precipitação máxima diária às distribuições GEV (a) e de Gumbel (b) com seus respectivos parâmetros estimados através dos métodos Momentos, Máxima Verossimilhança e Momentos-L (MOM, MMV e MML, respectivamente)

a)

b)



Pode ser constatado a partir da análise da Figura 1 (em consonância com as informações apresentadas na Tabela 1) que os dados apresentaram melhor aderência à distribuição GEV, em especial quando seus parâmetros foram estimados através do método Momentos-L, situação semelhante foi encontrada por FRANCO *et al.* (2014) em estudo probabilístico de precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais e ZHOU *et al.* (2014) em estudos de precipitações extremas na bacia hidrográfica de Taihu, China. SHABRI E JEMAIN (2007) também citam em seu trabalho que o método Momentos-L tende a ser o mais adequado para a estimativa dos parâmetros de uma ampla gama de distribuições utilizadas para estudos de eventos extremos, e por isso tem grande aplicação na hidrologia.

3.2 Estimativas de Tempo de Retorno

Uma vez identificada a potencialidade da utilização das distribuições GEV e de Gumbel para o estudo dos eventos de precipitação máxima diária para Irati-PR, foi estimado o T_r (período de tempo médio para que um determinado evento hidrológico seja igualado ou superado pelo menos uma vez) do maior valor de precipitação diária já registrado na estação meteorológica de onde foi obtida a série histórica (175 mm), o qual está diretamente relacionado a inúmeros danos de ordem socioeconômica observados no município onde localiza-se a mesma, conforme discutido no início deste trabalho.

Tabela 2. Tempos de retorno estimados para o valor de precipitação 175 mm a partir das distribuições de probabilidade GEV e de Gumbel com seus respectivos parâmetros obtidos através dos métodos Momentos, Máxima Verossimilhança e Momentos-L

Método de estimativa dos parâmetros das distribuições	Distribuição de Probabilidade	
	GEV	Gumbel
Momentos	93 anos	100 anos
Máxima Verossimilhança	77 anos	146 anos
Momentos-L	58 anos	107 anos

Pode ser observado a partir da Tabela 2 que houve considerável diferença entre os valores de T_r calculados a partir das distintas distribuições de probabilidade e métodos de estimativas de seus respectivos parâmetros. Para a configuração (GEV com parâmetros estimados através do método Momentos-L) em que o teste de KS produziu o melhor valor da estatística D_N o T_r estimado foi de 58 anos.

O valor do T_r calculado empiricamente para o maior valor de precipitação é de 50 anos (obtido através da fórmula de posição de plotagem de Weibull; detalhes da metodologia para obter o tempo de retorno empírico podem ser consultados em NAGHETTINI E PINTO, 2007).

Assim, pode ser constatado que os valores de T_r obtidos através da Distribuição GEV (com seus parâmetros estimados através do método Momentos-L) e empiricamente estão muito próximos, fato que não ocorre quando utiliza-se a distribuição de Gumbel ou outro método para a estimativa dos parâmetros da distribuição GEV (mesmo que o teste de KS não tenha rejeitado a hipótese nula para essas situações). Esse fato confirma a importância da avaliação e seleção adequada da distribuição de probabilidade e método de estimativa dos parâmetros utilizados, de acordo com o já reportados no trabalho de BESKOW *et al.* (2015)

3.3 Análise de Tendência - Mann-Kendall

O valor de Z_{calc} levantado através do Teste de Mann Kendall para a série histórica em estudo foi igual a 2,3; valor superior ao de $Z_{(1-\alpha/2)}$ obtido a partir da tabela de distribuição cumulativa normal para o nível de significância $\alpha = 0,05$ (igual a 1,96). Tal fato leva a rejeitar a hipótese nula H_0 , ou seja, há uma tendência positiva na série histórica, de aumento nos valores máximos precipitados em um único dia.

A tendência de elevação nos valores máximos de precipitação diária já foi identificada em diversos trabalhos realizados em inúmeras regiões do planeta, como é o caso das pesquisas de KEGGENHOF (2014); PINHEIRO, GRACIANO E SEVERO (2013), BLAIN E MORAES (2011), AFZAL, MANSELL e GAGNON (2011), entre outros. No entanto, a partir dos dados obtidos nesta pesquisa é impossível afirmar se tal tendência ocorre devido a fenômenos naturais e/ou causas antrópicas.

4. CONCLUSÕES

Os dados da série histórica, composta pelo maior valor de precipitação diária registrado anualmente durante o período avaliado (1967-2015) tiveram, segundo o teste de KS ao nível de significância $\alpha = 0,05$; aderência às quatro distribuições de probabilidade testadas (Gamma, Gumbel, Log-normal e GEV). O melhor ajuste foi obtido para a distribuição GEV, seguida pela de Gumbel.

O método (Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança) utilizado para a estimativa dos parâmetros das distribuições (escala, posição e forma, o último apenas para a distribuição GEV) teve considerável interferência sobre a qualidade do ajuste dos dados às distribuições testadas, tal fato reforça a necessidade de também avaliar, em estudos deste tipo, a interferência do método de estimativa dos parâmetros das distribuições de probabilidade sobre a qualidade de tais ajustes.

Para a configuração (distribuição de probabilidade GEV com seus parâmetros estimados a partir do método Momentos-L) que os dados registrados apresentaram melhor aderência, o T_r estimado para o maior valor de precipitação diária já observado na série histórica (175 mm) foi de 58 anos, muito próximo do obtido empiricamente, 50 anos. É importante destacar que existe o registro de danos socioeconômicos consideráveis no município (no qual se encontra a estação meteorológica de onde foram obtidos os dados) em decorrência de tal altura de precipitação.

Outras configurações, embora aceitas pelo teste de KS para o nível de significância considerado, trouxeram T_r de magnitude bastante distintos daquele calculado empiricamente. Informações relacionadas a probabilidade de ocorrência de determinado evento extremo são extremamente valiosas para o planejamento de atividades relacionadas à gestão de recursos hídricos, principalmente àquelas relacionados a obras hidráulicas e de prevenção e/ou minimização dos efeitos provocados por desastres naturais.

O teste de Mann Kendall aplicado à série histórica indicou tendência de elevação nos valores máximos de precipitação diária, ao nível de significância $\alpha = 0,05$. No entanto, é impossível afirmar as causas de tal fenômeno.

Registra-se, para estudos deste tipo, a importância de séries históricas compostas pelo máximo número de dados possíveis, maior amostra que tem como objetivo dar maior confiabilidade às conclusões obtidas a partir de testes estatísticos. No entanto, tal fato nem sempre é possível devido à inexistência de dados anosos, condição que vem melhorando nos últimos tempos com a implementação, melhor operação e informatização de estações que coletam informações deste tipo, a partir das quais sugere-se que sejam feitas constante atualizações na série histórica e realização de estudos complementares.

REFERÊNCIAS

AFZAL, M.; MANSELL, M. G.; GAGNON, A. S. Trends and variability in daily precipitation in Scotland. **Procedia Environmental Sciences**, v.6, p. 15-26, 2011.

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, p. 211-222, 2001.

BLAIN, G. C.; MORAES, S. O. Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n.2, p. 225-234, 2011.

BLAIN, G.C., CAMARGO, M. B. P., Probabilistic structure of an annual extreme rainfall series of a coastal area of the state of São Paulo, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n.3, p. 552–559, 2012.

BLAIN, G.C., MESCHIATTI, M.C., Using multi-parameters distributions to assess the probability of occurrence of extreme rainfall data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.3, p. 307–313, 2014.

BERNSTEIN, L., *et al.* **Climate change 2007: synthesis report (IPCC 4th Assessment Report)**, 2007.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 123-133, 2015.

CALDEIRA, T.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; SOUZA, M. R.; GUEDES, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n.3, p. 197-203, 2015.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F. PINTO, H. S. Annual maximum daily rainfall trends in the Midwest, southeast and southern Brazilian the last 71 years. **Weather And Climate Extremes**, p. 7-15, 2014

CORTESI, N.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; MARTIN-VIDE, J. Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 12, p. 2799-2810, 2012.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO PARANÁ. Disponível em <http://www.defesacivil.pr.gov.br/>. Acesso em: 03/08/2014.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology** v. 93, p.167–178, 2008.

ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. **Journal Of King Saud University – Engineering Sciences**. Riyadh, p. 131-140, 2011.

FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na bacia hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.7, p. 735-741, 2014.

HUNDECHA, Y.; BÁRDOSSY, A. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. **International Journal of Climatology**, v.25, p. 1189-1202, 2005.

Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR [online]. Disponível em:<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; ALVES, G. Eventos extremos de precipitação no Alto Rio Grande-MG: Análise Probabilística. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p. 301-308, 2015.

KEGGENHOF, I.; ELISBARASHVIL, M.; AMIRI-FARAHANI, A.; KING, L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010. **Weather and Climate Extremes**, v.4, p. 75-85, 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2007. 552 p.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, p. 281-290, 2013.

ROSMANN, T.; DOMÍNGUEZ, E.; CHAVARRO, J. Comparing trends in hydrometeorological average and extreme data sets around the world at different time scales. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.5, p. 200-212, 2016.

QUADROS, L. E.; QUEIROZ, M. M. F.; BOAS, M. A. V. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p. 401-410, 2011.

QUEIROZ, M. A. **Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais**. 184 f. Dissertação - Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

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

SCOFIELD, G. B.; ANGELIS, C. F.; SOUSA JUNIOR, W. C. Estudo das Tendências do Total de Precipitação e do Número de Dias Chuvosos no Litoral Norte de São Paulo. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 19-31, 2014.

SHIN, H., JUNG, Y., JEONG, C., HEO, J. Assessment of modified Anderson–Darling test statistics for the generalized extreme value and generalized logistic distributions. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 26, n.1, p. 105-114, 2011.

SHABRI, A.; JEMAIN, A. A. LQ-Moments for Statistical Analysis of Extreme Events. **Journal of Modern Applied Statistical Methods**, v. 6, p. 228-238, 2007.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p. 67-72, 2007.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento de chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 93-98, 1991.

ZANELLA, M. E SALES, M. C. L. & ABREU, N. J. A. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza – CE. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 25, 2009.

ZHOU, Z.; LIU, S.; HUA, H.; CHEN, C.S.; ZHONG, G.; LIN, H.; HUANG, C.W. Frequency analysis for predicting extreme precipitation in Changxing station of Taihu Basin, China. **Journal of Coastal Research**, v. 68, pp. 144-151, 2014.

WILLEMS, P.; ARNBJERG-NIELSEN, K.; OLSSON, J.; NGUYEN, V.T.V. Climate change impact assessment on urban rainfall extreme and urban drainage: methods and shortcomings. **Atmospheric Research**, v. 103, p. 106-118, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to hydrological practices, data acquisition and processing analysis, forecasting and other applications. 5th ed. Geneva, 259 p, 1994.