



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

USO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA ESTIMAR A PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOVURO EM VILANKULO – MOÇAMBIQUE

Catine António Chimene¹ & José Nilson B. Campos²

Resumo – O planejamento e a gestão dos recursos hídricos requerem o conhecimento profundo dos eventos hidrológicos e conseqüentemente os estudos probabilísticos da sua previsão para o bom uso no dimensionamento de estruturas hidráulicas. As distribuições de probabilidades fazem com que haja uma possibilidade na estimação de eventos extremos da precipitação anual associados a outros parâmetros de ocorrência. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho analisar a performance de quatro modelos de distribuição de probabilidades (Gama, Gumbel, Weibull e Weibull com 3 parâmetros) cujos parâmetros foram ajustados com a máxima verossimilhança aplicados a uma série histórica de 29 anos na bacia hidrográfica do Rio Govuro e aplicados o teste de aderência de Anderson-Darling ao nível de significância de 5%. Como resultados, verificou-se que a função Gama era a mais susceptível para descrever a distribuição da precipitação máxima anual apresentando um bom ajuste da série histórica para o caso em estudo.

Palavras-Chave – Probabilidades, Precipitação, Bacia Hidrográfica.

USE OF THE PROBABILISTIC MODELS TO ESTIMATE THE ANNUAL MAXIMUM PRECIPITATION IN THE RIO GOVURO WATERSHED IN VILANKULO – MOZAMBIQUE

Abstract – The planning and management of water resources requires a thorough knowledge of the hydrological events and consequently the probabilistic studies of their prediction for the good use in the design of hydraulic structures. The probability distributions make it possible to estimate the extreme events of the annual maximum precipitation associated to other parameters of occurrence. Thus, the aim of this study was to analyze the performance of four probability distribution models (Gamma, Gumbel, Weibull and 3 parameter Weibull), whose parameters were adjusted with the Maximum Likelihood (ML) applied to a historical rainfall record of 29 years in the Rio Govuro watershed and the goodness-of-fit criteria played a role by using Anderson-Darling adherence test at a significance level of 5%. As results, it was verified that the Gamma's method was the most susceptible to describe the annual maximum precipitation distribution in the case study.

Keywords – Precipitation, distribution, Watershed.

¹ Doutorando em Recursos Hídricos – Universidade Federal do Ceará, Bolsista da CAPES, Av. Humberto Montes, sacredsino5@gmail.com.

² Professor da UFC, Centro de Tecnologias, Departamento de Hidráulica – CAMPUS DO PICI, CEP: 60190007, tel: (85) 33669774

1. Introdução

Numa bacia hidrográfica, define-se a precipitação máxima como um evento ou ocorrência extrema com uma determinada duração, distribuição espacial e temporal críticas na qual atua sobre a produção agrícola, erosão do solo, inundações em áreas urbanas e/ou rurais, obras hidráulicas e por outras. O conhecimento profundo das precipitações máximas faz com que a vazão da enchente seja conhecida ou prevista em uma bacia hidrográfica (MARTINS, ULIANA e REIS, 2011)

Para se dimensionar as estruturas hidráulicas, tanto urbanas assim como rurais, é inerente o conhecimento da precipitação para se poder planejar as vazões que podem deflagrar num determinado período de modo que as estruturas resistam adequadamente. Em obras de carisma rural, a implementação de sistemas de terraceamento agrícola, drenagem em estradas, implementação de barragens para atenuar as cheias e outros, requerem o planejamento adequado com base no conhecimento das precipitações máximas (BARRETO, SANTOS, *et al.*, 2013).

No planejamento e gestão dos recursos hídricos, a estatística e avaliação de eventos extremos, é importante para o desenho das estruturas hidráulicas e as suas dimensões, para averiguar a sua sustentabilidade em termos de construções feitas e o suporte duma determinada vazão durante um tempo de retorno determinado, bem como o dimensionamento de estação de tratamento de água (ETA). Assim sendo, haverá a prevenção da perda de vidas humanas e propriedades em volta da estrutura erguida por causa das enchentes que se possam fazer sentir (se forem mal planejados os eventos extremos) (ALHASSOUM, 2011).

A prática geral consiste em determinar o evento extremo da chuva de projeto usando uma abordagem probabilística que envolve ajustar uma distribuição de frequência para os dados extremos da precipitação observados relativos à bacia hidrográfica alvo e, em seguida, calcular os quantiles correspondentes a vários valores de período de retorno (probabilidade de não excedência). A abordagem probabilística pressupõe que a estimativa tem a possibilidade de ser superada pelo menos uma vez em um período de tempo (geralmente em anos) igual ao período de retorno (CHAVAN e SRINIVAS, 2015).

A distribuição de probabilidades contém estimativas paramétricas que geralmente são acoplados para a possível aceitação dos resultados em causa podendo ser feitas a partir de uma amostra extraída ao acaso ou em análise (usando diferentes métodos) em uma inferência estatística sobre um determinado estudo. Os modelos podem ser comparados conforme os testes de aderência não paramétricos, nos quais podem informar a adequabilidade do ajuste de cada modelo à série histórica de dados observados (FRANCO, MARQUES, *et al.*, 2014). A utilização de funções de distribuição de probabilidade requer o uso de testes para provar a adaptação dos dados ou da série de dados às funções (BARRETO, SANTOS, *et al.*, 2013). Esses testes de aderência são usados na verificação da distribuição das probabilidades se poderá ser aplicado ao conjunto de dados da variável em estudo sendo que procuram medir e avaliar os desvios entre a distribuição amostral e a teórica. Os testes comumente usados nessas abordagens são: Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado e Anderson-Darling (ALVES, SANTOS, *et al.*, 2013).

Em Moçambique quase 80% da economia nacional depende exclusivamente das atividades da agricultura e sendo necessário a chuva para o desenvolvimento das culturas e posteriormente regadio de plantios que se podem encontrar em algumas zonas. A agricultura de baixa produtividade/renda representando a maioria da economia nacional dado que é praticado pela maioria da população afeto nas zonas rurais e com uma baixa renda, depende fortemente das chuvas (SHANG, YAN, *et al.*, 2011). A agricultura se torna vulnerável a medida em que os extremos climáticos tais como a seca, inundações, desastres naturais e outros se notabilizam no país implicando alguns impactos nefastos como problemas sociais, econômicos e culturais por carrear a

fome em algumas regiões. As agências responsáveis pela regulação, lei e o uso de água ficam inibidas da sua ação devido à incerteza do conhecimento das precipitações máximas e por conseguinte as vazões de enchentes que possam advir. Entretanto, as inundações, como resultado de precipitações extremas, representam uma séria ameaça à segurança alimentar e à segurança pública.

Estimar a probabilidade de evento extremo (precipitação máxima anual) e caracterizar a incerteza das estimativas são cruciais para, por exemplo, a concepção estrutural, alertas de segurança pública, gestão de evacuação e mitigação de perdas.

O presente trabalho teve por objetivo: estimar a probabilidade da precipitação extrema anual e analisar os ajustes das funções de distribuição de probabilidades que melhor se adequam na análise dos dados de precipitação em Vilankulo – Moçambique para a melhor gestão da bacia hidrográfica.

2. Material e Métodos

O município da Vila de Vilankulo, possui área de 78.8 km², com os seguintes limites geográficos ao norte pelo povoado de Chigamane, Sul pelo povoado de Chiruala, a Oeste pelo povoado de Faiquete e a Este banhada pelo Oceano Índico concretamente a norte da província de Inhambane - Moçambique (CHIMENE, 2013). A vila é caracterizada por um clima tropical seco com uma precipitação média anual de 733.9 mm, a evaporação total anual rodando em 1135.1 mm, insolação total é de 2955.5h e velocidade do vento na ordem dos 14.9 km/h (VILANKULO, 2009).

O rio Govuro nasce na região de Mapinhane e deságua no Mar (Oceano Índico) na localidade de Bartolomeu Dias sendo que é atravessada pelo rio Chicomo (afluente do rio Govuro que é intermitente) e considerada a única bacia hidrográfica da região (VILANKULO, 2009) e tem as seguintes coordenadas geográficas: -21.311111 S de Latitude e 35. 080278 E de Longitude (NAMES, 2017)

Os dados pluviométricos foram obtidos na Estação Meteorológica automática do Aeroporto Internacional de Vilankulo gerida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) no Município de Vilankulo com as seguintes coordenadas geográficas: -22.3620384 S de Latitude e 35.1268781 E de Longitude, Altura igual a 64 m, localizada a norte da província de Inhambane no distrito de Vilankulo (CHIMENE, STUDART e CAMPOS, 2016).

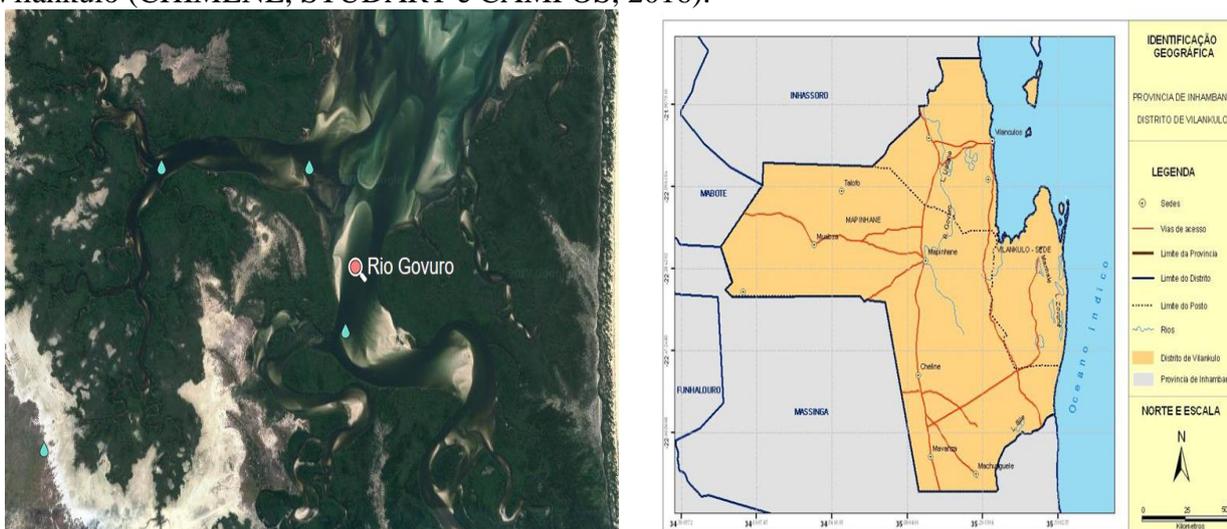


Figura 01: Mapa do distrito de Vilankulo e respectiva bacia hidrográfica (Fontes: Mapcarta, 2017 e CMVV, 2009)

2.1. Tratamento e Análise dos dados

Foram utilizados dados de precipitação máxima anual de 1980 a 2009 com a exceção de 2007 por não possuir uma série completa de informações necessárias para o estudo e perfazendo-se um período de 29 anos em análise. Essas precipitações máximas foram calculadas para cada mês em cada ano e depois selecionados as máximas em cada série anual. Depois foram colocados no Minitab (software estatístico) para a escolha da melhor função de distribuição de probabilidades em que se adequam e posteriormente fez-se a escolha segundo os critérios e requisitos da aceitabilidade dos resultados numa análise amostral estatístico.

Nesse sentido, apenas as funções de distribuição de probabilidades Gama, Weibull, Weibull com 3 parâmetros e Gumbel tiveram uma aceitação usando o critério de estimativa de parâmetro de Anderson-Darling e o valor de p.

O teste de Anderson-Darling (AD) é usado para medir o quão bem os dados seguem uma determinada distribuição definida e comparar o ajuste de várias distribuições para determinar qual melhor entre eles devendo ser o menor valor de AD e posteriormente o valor de p (p-value) correspondente para testar se os dados vêm da distribuição escolhida. Se o valor de p for menor que um alfa escolhido (geralmente 0,05 ou 0,10), rejeite a hipótese nula de que os dados que vêm de distribuição (MINITAB, 2016).

2.2. Função de Distribuição de Probabilidades

2.2.1. Função Gumbel

A distribuição Gumbel (valor extremo do tipo I) é um método estatístico geralmente usado nas análises de frequências para prever eventos hidrológicos extremos tais como dados meteorológicos (precipitação, velocidade do vento, insolação, evaporação, etc) (MUKHERJEE, 2013). Esta função possui dois parâmetros concretamente de posição e de escala

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{\left[-\frac{(x-\mu)}{\alpha} - e^{\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)} \right]} \quad (1)$$

Onde: α e μ são parâmetros da distribuição, x – valor da variável hidrológica avaliada

A função cumulativa de probabilidade da distribuição Gumbel para máximos pode ser descrito da equação 2:

$$P(x \leq x_i) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (2)$$

Onde: x_i – é um valor qualquer da mesma variável

Os parâmetros α e μ dados pelo método da máxima verossimilhança são dados pelas equações 3 e 4:

$$\frac{1}{\alpha} = \bar{X} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot e^{(-\alpha \cdot x_i)}}{\sum_{i=1}^n e^{(-\alpha \cdot x_i)}} \quad (3)$$

$$e^{(-\alpha \cdot \mu)} = \frac{\sum_{i=1}^n e^{(-\alpha \cdot x_i)}}{N} \quad (4)$$

2.2.2. Distribuição Weibull

A distribuição Weibull é uma distribuição versátil que pode ser usada para modelar uma ampla variedade de aplicativos em engenharia, pesquisa médica, controle de qualidade, finanças e climatologia (MINITAB, 2016). A distribuição Weibull é comumente descrito por ter parâmetros que podem ser reduzidos consoante a necessidade desejada. Nesse sentido, a distribuição Weibull apresenta 3 parâmetros a destacar: forma, escala e posição. Quando o parâmetro de posição for igual a zero, então a distribuição Weibull fica reduzido a dois parâmetros.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, t \geq \gamma; \beta > 0; \eta > 0 \quad (5)$$

Onde: β – parâmetro de forma; γ – Parâmetro de posição e η – parâmetro de escala

2.2.3. Distribuição Gama

A distribuição Gama era comumente usado para descrever as tendências de chuva ao longo do ano e apresenta dois parâmetros conforme a densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\nu * \Gamma(\nu)} \cdot x^{\nu-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}, \beta > 0, \nu > 0 \quad (6)$$

Onde: β – parâmetro de escala; ν – parâmetro de forma

2.2.4. Teste de Aderência

Os testes de aderência testam a hipótese de determinada distribuição empírica estar a pertencer ou equivaler a uma determinada distribuição teórica ou não. Existem vários testes de aderência, mas que nesse trabalho se enfatizou o teste de Anderson-Darling com intervalo de confiança de 95%. Este teste é mais sensível e eficiente que os demais testes frequentemente usados e dado pela equação 7:

$$AD^2 = \frac{\left[\sum (2i-1) \cdot \left[\left(LN(P_1(X < x_i)) \right) + \left(LN(P_2(X > x_i)) \right) \right] \right]}{N} \quad (7)$$

Onde: N – tamanho da amostra; i – ordem dos dados da série histórica colocadas em forma crescente; $P_1(X < x_i)$ – probabilidade de não excedência; $P_2(X > x_i)$ – probabilidade de excedência

3. Resultados e Discussão

As chuvas em Vilankulo (Moçambique) são irregulares apresentando uma variação notória ao longo do tempo podendo se registrar o período de chuvas nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro e o restante dos meses tem se pautado por uma intermitência da chuva fraca e moderada. Essa variação da precipitação anual deve-se ao tipo de clima tropical seco que prevalece na região.

3.1. Precipitações máximas anuais e análise estatística descritiva

Na tabela 1 estão representados os dados da precipitação máxima anual na bacia hidrográfica do Rio Govuro

Tabela 01: dados de precipitação máxima e medidas de tendência central da bacia do Rio Govuro

Ano	Precipitação	Ano	Precipitação	Ano	Precipitação
1980	158,7	1992	41,4	2004	191,3
1981	366,1	1993	151,0	2005	482,0
1982	271,8	1994	361,9	2006	447,1
1983	155,0	1995	85,4	2008	277,3
1984	179,6	1996	267,4	2009	253,0
1985	265,3	1997	423,1	Máximo	914,5
1986	125,2	1998	512,5	Mínimo	41,4
1987	201,1	1999	914,5	Média	284,13
1988	86,8	2000	546,9	Mediana	253,0
1989	125,6	2001	545,4	D.Padrão	189,19
1990	198,5	2002	84,3	Assimetria	1,46399
1991	300,1	2003	221,5	Curtoses	2,98273

Através da estatística descritiva dos dados da precipitação máxima em estudo nota-se que apresenta uma distribuição assimétrica positiva (na qual as medidas de tendência central são diferentes entre si e que a média é maior do que as outras medidas) e um coeficiente de curtose razoavelmente bem. A distribuição da chuva é praticamente irregular devido ao seu clima meramente seco.

3.2. Escolha da distribuição de probabilidades no estudo de caso

As variações nos ajustes dos parâmetros foram possíveis à sua identificação por meio de uso de distribuição de probabilidades efetuados pelo software Minitab usando o método de estimativa de máxima verossimilhança. A figura 2 apresenta as distribuições de probabilidades e os possíveis ajustes de parâmetros na série histórica em estudo.

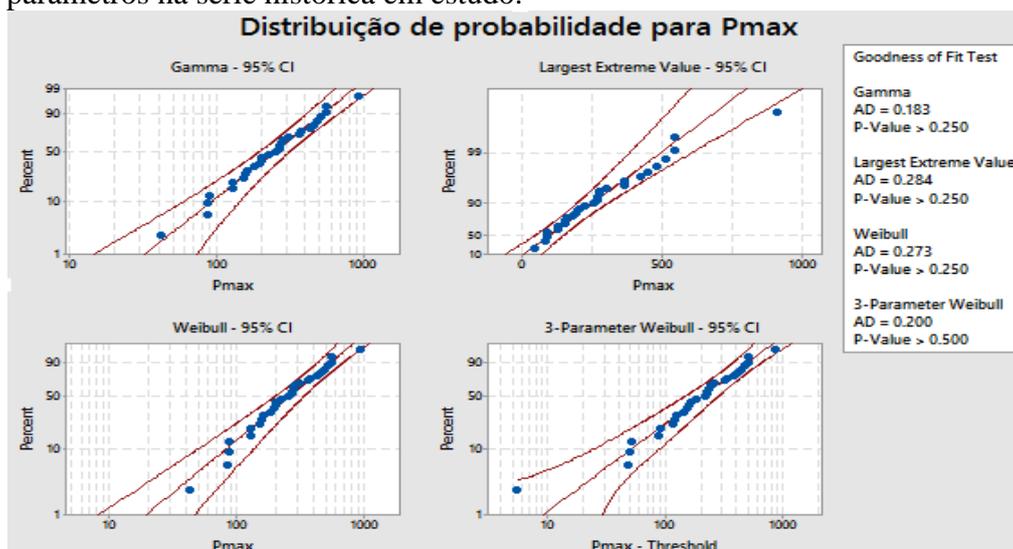


Figura 02: Distribuição de probabilidades da série histórica na precipitação máxima anual da bacia hidrográfica do Rio Govuro, Inhambane – Moçambique

Analisando a precisão dos ajustes das quatro (4) distribuições de probabilidades (Gama, Gumbel, Weibull e Weibull com 3 parâmetros) utilizando o método de Máxima Verossimilhança

(ML) a partir da figura 2, notou-se que as distribuições Weibull e Gama no intervalo de confiança de 95%, podem ser aceites como sendo bem ajustadas por apresentarem uma conformidade na distribuição dos valores. Entretanto, a tabela 2 demonstra mais característica da avaliação estatística que devem ser usadas para a análise coerente da distribuição de probabilidade necessária a ser adotada no caso em estudo. Nesse caso, usando o teste de aderência de Anderson-Darling pode-se notar que a distribuição Gama apresentou um valor baixo, ou seja, um melhor ajuste da distribuição dos dados em prol da distribuição requerida ou citada. A estatística de Anderson-Darling (AD^2) mede quão bem os dados seguem uma determinada distribuição (MINITAB, 2016).

Tabela 02: valores paramétricos e estatístico de testes de aderência de Anderson-Darling na avaliação do ajuste na precipitação máxima anual para a bacia hidrográfica do Rio Govuro

FDP	Forma	Escala	Posição	Limite	AD^2	p-value
<i>Gama</i>	2,52684	112,44509			0,183	> 0,250
<i>Gumbel</i>		130,40800	203,74172		0,284	> 0,250
<i>Weibull</i>	1,63485	319,27440			0,273	> 0,250
<i>Weibull 3 parâmetros</i>	1,35098	270,28285		36,09761	0,200	> 0,500

O valor p calculado para o teste de qualidade de ajuste pela estatística de AD^2 , ajudam a determinar qual modelo de distribuição usar para uma análise de capacidade ou uma análise de confiabilidade (5% de significância) e quanto maior for o valor, melhor será o ajuste dos dados da distribuição em análise. Da tabela 2, pode-se dizer que os valores p para as quatro distribuições são superiores que o nível de significância dando a entender que os dados seguem a distribuição específica. Uma vez que o tamanho da amostra é maior do que 7, então a aplicação do teste de aderência de AD^2 é importante para definir a sensibilidade do uso das distribuições de probabilidades em torno do caso em estudo. A distribuição de probabilidades da série histórica da precipitação máxima anual da Bacia do Rio Govuro em Vilankulo é melhor ajustada pelo método da verossimilhança (ML) para a distribuição Gama.

4. Conclusões

A precipitação máxima anual local na bacia do Rio Govuro varia de 41.4 a 914.5 mm/ano sendo que os meses mais chuvosos são Janeiro, Fevereiro, Março, Maio, Novembro e Dezembro. As distribuições de probabilidades Gama, Gumbel, Weibull e Weibull com 3 parâmetros foram eficazmente ajustadas, mas que houve o critério para se estimar da melhor escolha onde a distribuição Gama foi selecionada.

Referências Bibliográficas

- ALHASSOUM, S. A. Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, Saudi Arabia, v. 23, p. 81 - 88, abr. 2011.
- ALVES, A. V. P. et al. Análise dos Métodos de Estimativa para os parâmetros das Distribuições de Gumbell e GEV em eventos de Precipitações máximas na cidade de Cuiaba-MT. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 32 - 43, jan. 2013. ISSN 2179-0612.

BARRETO, H. B. F. et al. Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN. **ACTA IGUAZU**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 87 - 95, 2013. ISSN 2316-4093.

CHAVAN, S. R.; SRINIVAS, V. V. **Probable maximum precipitation estimation for catchments in Mahanadi river basin**. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE). Bangalore - India: Aquatic Procedia. 2015. p. 892 - 899.

CHIMENE, C. A. **Strategies and Methods for Apparent Water Loss Management in Developing Countries: A case Study of Mozambique**. UNESCO-IHE. Delft, p. 1 - 172. 2013.

CHIMENE, C. A.; STUDART, T. M. D. C.; CAMPOS, J. N. **Análise dos Métodos de Estimativa de Evapotranspiração usando o software SEVAP em Moçambique**. XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Aracajú: RBRH. 2016. p. 1 - 10.

FRANCO, C. S. et al. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 735 - 741, fev. 2014. ISSN 1807-1929.

KOUTSOYIANNIS, D. Statistics of Extreme and Estimation of Extreme Rainfall: Theoretical investigation. **Hydrological Sciences**, v. 49, n. 4, p. 575 - 591, August 2004.

MAPCARTA, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/CSQoH5>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

MARQUES, R. F. D. P. V. et al. Performance of the Probability Distribution Models applied to Heavy Rainfall Daily Events. **Ciênc. Agrotec**, Lavras, v. 38, n. 4, p. 335 - 342, Jul/Ago 2014.

MARTINS, C. A. D. S.; ULIANA, E. M.; REIS, E. F. D. Estimativa da vazão e da precipitação máxima utilizando modelos probabilísticos na Bacia Hidrográfica do Rio Benevente. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1130 - 1142, nov. 2011.

MINITAB. Suporte ao Minitab, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/1OMFnX>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

MUKHERJEE, M. K. Flood Frequency Analysis of River Subernarekha, India, Using Gumbel's Extreme Value Distribution. **International Journal of Computational Engineering Research**, West Bengal, v. 3, n. 7, p. 12 - 19, jul. 2013. ISSN 2250-3005.

NAMES, G., 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/hjCcKi>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

SHANG, H. et al. Trend Analysis of Extreme Precipitation in the Northwestern Highlands of Ethiopia with a case study of Debre Markos. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, Connecticut, p. 1 - 13, mar. 2011.

VILANKULO, C. M. D. V. D. **Plano Municipal de Gestão Ambiental de Vilankulo**. CMVV. Vilankulo, p. 1 - 48. 2009.