

DETERMINAÇÃO DE VAZÕES EXTREMAS PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO NO RIO SIRIRI, SERGIPE .

Fábio Brandão Britto¹; Marcela Dórea Battesini²; Anderson Nascimento do Vasco³; Marinoé Gonzaga da Silva^{4}; Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas⁵; Antenor de Oliveira Aguiar Netto⁶*

Resumo - O monitoramento das variáveis fluviométricas é de grande importância para a prevenção de catástrofes decorrentes de eventos climáticos intensos. Estes podem ser melhor entendido com estudos do comportamento do fenômeno, onde estimativas são feitas com base em variáveis com séries históricas. Assim existem programas que analisam por meio da estatística e extrapolam os dados informados para cálculo de prováveis eventos. Esta previsão é de grande utilidade para alerta da sociedade, proporcionando a possibilidade de planejamento e tomada de decisão, evitando maiores estragos. Este trabalho tem como objetivo fazer uma relação entre o tempo de retorno de evento de enchente do Rio Siriri através da vazão máxima utilizando uma série histórica de 32 anos, através do método estatístico mais seguro. O método que apresentou menor erro foi o método de Gumbel, onde foi feita uma relação entre o evento climático de 1988, que teve um tempo de retorno de 12 anos. Este evento pode-se confirmar a confiabilidade da probabilidade estatística exibida por Gumbel, onde a vazão máxima no retorno do evento também foi confirmada a previsão.

Palavras-chave: Risco de enchentes, método de Gumbel, SisCAH 1.0

DETERMINATION OF MAXIMUM FLOW RATES FOR VARIOUS PERIODS OF RETURN IN RIVER SIRIRI, SERGIPE.

Abstract - The monitoring of the fluviometrical variables is of great importance for avoiding catastrophes resulting from intense weather events. These could be better understood by studying the behavior of these phenomena, where assessment are made based on data collected in a period of time. So there are programs that analyze through statistics and extrapolate the data reported for the calculation of probable events. This prevision is extremely useful in order to alert the society, providing the possibility of planning and decision making, avoiding major damage. This paper aims to make a relationship between the time of return flood event of the Siriri River through the maximum flow using a time series of 32 years by using the safest statistician method. The method which presented the lowest error margin it was the Gumbel's, where it was made a relation between the weather event in 1988, had a payback time of 12 years. This event can confirm the reliability of statistical probability displayed by Gumbel, where the maximum flow in the return of the event was also confirmed the prediction.

Keywords: Risk of flooding, Gumbel method, SisCAH 1.0

¹Universidade Federal de Sergipe: Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: brandaobritto@hotmail.com

²Universidade Federal de Sergipe: Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: marceladbattesini@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Sergipe: Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: anderosvasco@yahoo.com.br

^{4*}Universidade Federal de Sergipe: Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: marinoegonzaga@gmail.com

⁵Universidade Federal de Sergipe: Professor do Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: aatlucas@ibest.com.br

⁶Universidade Federal de Sergipe: Professor do Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFS, e-mail: antenor.ufs@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Muitas cidades brasileiras são construídas perto de rios, lagos ou mesmo encontram-se no litoral. Quando ocorrem fenômenos como picos de chuvas, onde a quantidade de água é atípica, a capacidade de absorção normal dos solos não é suficiente.

Somado a esse fator natural dos solos, a sua capacidade de absorção se reduz ainda mais devido à camada de impermeabilização asfáltica existente nas cidades. Sem ter por onde a água escoar, esta acumula, e gera um quadro de enchentes e inundações que destroem as cidades, ocasionando a derrubada de pontes, casas, escolas e hospitais, deixando cidades em estado de calamidade pública.

Estudos hidrológicos, que detectam estes tipos de eventos atípicos são frequentes no Brasil, porém direcionados em sua grande maioria para dimensionamento e monitoramento de estruturas do setor energético (TIBÚCIO E CASTRO, 2007).

Em pequenas regiões hidrográficas, estes estudos podem ser feitos para rios menores, pois são importantes para a avaliação da disponibilidade hídrica, ou previsão de enchentes e assim prevenção da população, ou mesmo para cálculo de dimensionamento de obras como pontes e outras estruturas como reservatórios que são essenciais estes tipos de estudo para seu funcionamento.

Sabe-se que a bacia hidrográfica do Rio Siriri é uma região em que o recurso hídrico é considerado abundante está localizada na faixa costeira do estado de Sergipe, onde ocorre precipitação média total anual entre 1600 e 1800 mm (SERGIPE, 2010a).

De acordo com dados da região, 65 % da população dos municípios estão localizados nas sedes, sendo que grande parte encontra-se perto de cursos d'água. Outro fator que chama a atenção é que a região vem se desenvolvendo rapidamente devido a expansão da urbanização e as atividades econômicas vem se desenvolvendo intensamente no campo da agricultura, pecuária, extração mineral e petrolífera (SERGIPE, 2010b).

Segundo, Tucci (2007), existem dois tipos de enchentes, a natural que atinge a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo; e as enchentes provocadas pela urbanização. Para Festi (2011), é normal que haja chuvas mais e menos intensas, sendo que o ideal é se fazer um estudo do comportamento deste fenômeno e incluir tal estudo nos Planos Diretores das cidades.

Para que haja uma segurança na construção destas estruturas, prevendo estes acontecimentos, é utilizada a Vazão Máxima, que é o fluxo máximo de água que passa pela calha de um rio. Para cálculo de tal variável são utilizadas séries históricas e dados fluviométricos (EUCLYDES *et al.*, 2001).

As séries históricas são de grande importância para este tipo de estudo para avaliar a regularidade de eventos mais intensos e à proporção que este pode atingir. O tempo de retorno dos eventos climático é calculado por meio das séries históricas como estimativas. Para isso existem programas, como o SISCAH, que compara métodos estatísticos para a estimativa do tempo de retorno do evento climático. Dentre os métodos que ele aponta tem-se: o Log Normal com dois parâmetros, Log Normal com três parâmetros, Personal tipo III, Log Personal III e Gumbel I (BACK, 2001). Este trabalho tem como objetivo fazer uma relação entre o tempo de retorno do evento enchente do Rio Siriri por meio das vazões máximas utilizando uma série histórica de 32 anos, através do método estatístico mais seguro.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Siriri é uma sub-bacia do Rio Japarutuba (Figura 1). Está localizada na região Costeira de Sergipe, englobando os municípios de Rosário do Catete, Nossa Senhora das Dores e Capela. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, os tipos climáticos presentes na região são o clima tropical com estação seca no inverno (Aw) e clima semi-árido quente (Bsh), sendo que este último ocupa uma pequena área ao norte da bacia (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007). Os tipos de solos que predominam na sub-bacia do Rio Siriri (Figura 2) são: Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Solos Aluviais, Vertissolo e Neossolo Flúvico (SERGIPE, 2012 e EMBRAPA, 2006).

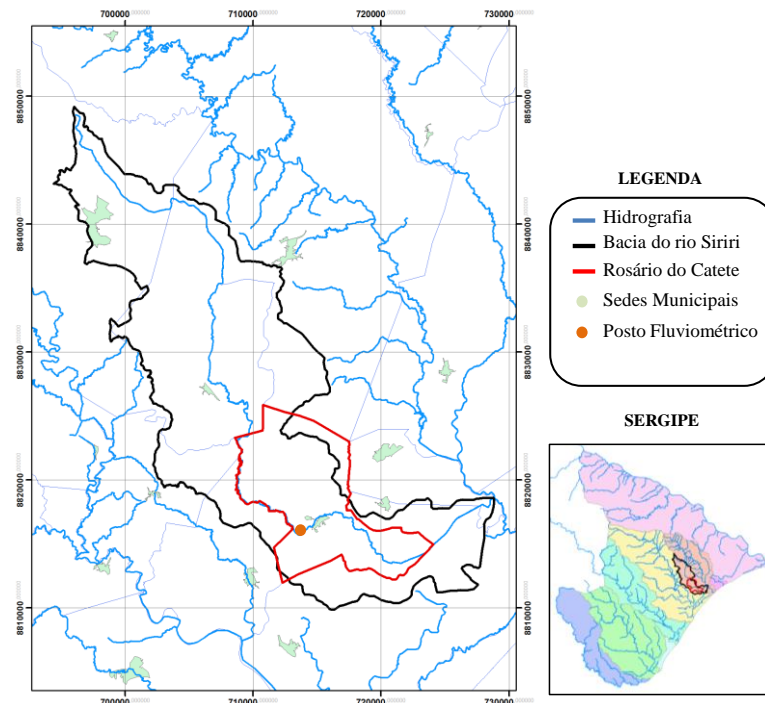


Figura 1- Bacia hidrográfica do Rio Siriri com destaque para Estação Fluviométrica da ANA na Bacia do Rio Siriri.

2.2. Obtenção dos dados

No Rio Siriri existem duas estações fluviométricas ativas da Agência Nacional de Águas (ANA) com séries históricas de cota e vazão: 50046000 (mais próxima à nascente) e 50047000 (mais próxima à foz) e uma estação pluviométrica desativada (1037047), mas que possui série histórica disponível.

Para obtenção dos dados de vazão foi utilizada a série de vazão de janeiro de 1973 a dezembro de 2005 do posto fluviométrico 50047000 localizada no município de Rosário do Catete com coordenadas $10^{\circ} 4' 49''$ de latitude e $37^{\circ} 02' 11''$ de longitude e 8m de altitude com área de drenagem 309 km (Fig. 1) da operadora CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) vinculado a ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados foram adquiridos no site da Hidroweb – Sistema de informação da Agencia Nacional das Águas (ANA).

De acordo com Sousa *et al.* (2009), para se avaliar as condições de escoamento de um curso d'água são utilizadas dados de um longo período, assim históricos de vazões máximas, mínimas e médias, permitem uma estrapolação dos dados com maior segurança.

Sabe-se da dificuldade de se obter uma série histórica sem falhas de dados, então se deve procurar em bases de dados consolidadas trechos de séries de tempo mais homogêneos, ou que se possam descartar pequenos trechos no tempo, como forma manter a série histórica de dados mais representativa da região.

Assim, os arquivos de dados de vazão máxima, em formato Access (mdb), fornecidos pela ANA foram importados para o *software* Sistema Computacional para Análise Hidrológica (SisCAH 1.0).

Como dito acima, o preenchimento no histórico de vazões houve meses que falhas ocorreram na análise hidrológica de eventos de vazões máximas. Tal fator tende a aumentar a incerteza da estimativa.

Diante disto, optou-se por preservar a maior série disponível, seguindo o seguinte critério: nos anos que possuíam séries com falhas maiores que 30%, ou seja, os valores de vazão mensal que apresentavam falhas na maioria do período chuvoso representam no mínimo 4 meses (Tab.1). Portanto as séries históricas que continham falhas, acima deste percentual anual foram excluídas deste estudo.

Tabela 1 - Descarte dos anos que apresentaram falha na estação fluviométrica 50047000 na Bacia Hidrográfica do rio Siriri.

Ano	% Falhas	Descarte	Ano	% Falhas	Descarte
1973	1,6	Não	1990	1,9	Não
1974	51,1	Sim	1991	42,7	Sim
1975	10,2	Não	1992	1,6	Não
1976	1,6	Não	1993	1,9	Não
1977	1,9	Não	1994	1,9	Não
1978	1,9	Não	1995	1,9	Não
1979	1,9	Não	1996	1,6	Não
1980	1,6	Não	1997	1,9	Não
1981	1,9	Não	1998	1,9	Não
1982	67,5	Sim	1999	1,9	Não
1983	100	Sim	2000	1,6	Não
1984	100	Sim	2001	1,9	Não
1985	1,9	Não	2002	1,9	Não
1986	1,9	Não	2003	20,8	Não
1987	1,9	Não	2004	27,7	Não
1988	17,8	Não	2005	4,0	Não

Segundo Sousa *et al.* (2009), uma vantagem de se utilizar o SiscarH 1.0, é justamente permitir um pré-processamento dos dados, podendo descartar eventos onde a medição foi falha, para a obtenção de uma série hidrológica que melhor represente a região estudada. Assim conseguindo maior acuracidade na obtenção da estimativa desejada.

Após o pré-processamento dos dados, as vazões máximas foram estimadas pelos métodos probabilísticos de Pearson III, Log Normal II, Log Normal III, Gumbel e Log Pearson III. Para os períodos de retorno de 10, 20, 30, 40, 60, 80 e 100 anos foi utilizado o método de Gumbel. Esta distribuição de dados para a análise por Gumbel é bastante utilizada com bons resultados para análise de máximos e expressa pela seguinte equação 1:

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-y}} = \frac{1}{T} \quad (1)$$

onde:

P - probabilidade de um valor extremo X ser maior ou igual a um dado valor x ;

T - período de retorno;

y - variável reduzida Gumbel;

Aplicando \ln em ambos os termos:

A análise da distribuição de valores máximos apresentado pelo método Gumbel vêm se destacando pela grande importância em vários campos da pesquisa, e tem sido aplicada com frequência na análise estatística de variáveis ligadas a fenômenos meteorológicos, entre os quais a vazão máxima (BEIJO; MUNIZ; CASTRO NETO, 2005).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A vazão máxima é uma variável hidrológica com dados disponíveis em todo Brasil apresentados em forma de um hidrograma, onde o segundo eixo do gráfico é a variável do tempo Segundo Beijo, Muniz e Castro Neto (2005), assim como é encontrada uma relação entre precipitação e vazão máxima, tem-se também uma relação entre vazão máxima e tempo de retorno do evento enchente. Para a obtenção da relação entre vazões máximas e período de retorno foi utilizado o programa SisCAH, aplicando o método estatístico de Gumbel para os períodos simulados de 10, 20, 30, 40, 60, 80 e 100 anos (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação da vazão máxima e período de retorno no rio Siriri, Sergipe.

Período de retorno	Interv. conf. sup. (95%)	Evento (m ³ s ⁻¹)	Interv. conf. inf. (95%)	Erro padrão
10	117,36	90,39	63,43	13,76
20	146,21	111,77	77,33	17,57
30	162,88	124,07	85,26	19,80
40	174,66	132,74	90,82	21,39
50	183,77	139,44	95,11	22,62
60	191,21	144,91	98,61	23,62
70	197,49	149,52	101,56	24,47
80	202,92	153,51	104,11	25,21
90	207,72	157,03	106,35	25,86
100	212,00	160,18	108,36	26,44

Fonte: Séries históricas utilizadas janeiro de 1973 a dezembro de 2005 (ANA, 2013).

O período de retorno é o tempo médio estimado que a vazão máxima pode ocorrer. Segundo Sousa *et al.* (2009) com a análise da distribuição da frequência de vazões máximas pode se fazer uma estimativa de exatamente eventos de magnitude onde se determina o tempo de retorno do evento analisado.

Na tabela 2 têm-se os limites máximos e mínimos estimados para esta bacia hidrográfica, ou seja, para determinado período, o evento hidrológico poderá ser recorrente dentro desta faixa apontado pelo método de Gumbel. Considerando o período de 10 anos tem-se o evento médio de $90,39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com limite inferior $63,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e limite superior de $117,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Ainda utilizando o programa SisCAH foi possível também obter os resultados de vazões do período de 1973 a 2005, e produzir um hidrograma completo (Fig. 2).

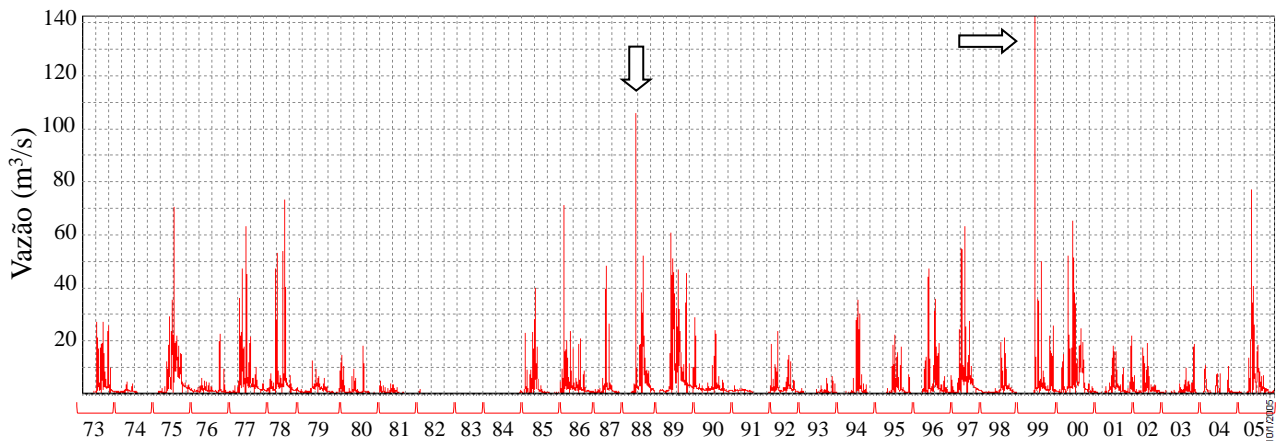


Figura 2 - Hidrógrafa para vazão máxima do período de 1973 a 2005 (Estação 50047000)

Pode-se observar dois eventos importantes com vazão máxima diária em 1988 com $105,70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no dia 2/05/1988 e 1999 com $142,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no dia 17/05/1999. Fazendo uma análise do período de retorno para o evento citado em 1988, temos uma vazão de $105,70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com período de retorno em aproximadamente 12 anos que corresponderá a uma mínima de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e máxima de $130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Tal estudo pode comprovar a eficiência na estimativa de períodos de retorno de eventos máximos. No entanto quando há tempos de retorno mais distantes em uma série histórica, há uma menor probabilidade de acerto no evento.

4. CONCLUSÃO

A partir da análise das informações processadas pelo SisCAH pode-se obter os valores de vazões estimados pelas distribuições probabilísticas de Gumbel que apresentaram um comportamento ascendente de acordo com o aumento do período de retorno.

Pode observar que o método Gumbel, para vazão máxima em 1988 estimou que o evento do mês de maio poderia ter um período de retorno para 12 anos. Em maio de 1999 ocorreu um evento similar, mostrando que a estimativa pode ajudar no planejamento e ações para tomada de decisões e prevenção de enchentes nas regiões próximas as margens dos rios.

O uso desta ferramenta para previsão de enchentes ou inundações através do método de Gumbel usando o período de retorno para vazões máximas possibilita o planejamento e gestão socioeconômica da bacia, principalmente quando esta região possui lavouras, estradas e regiões metropolitana.

5. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013). *HidroWeb: Sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 10/05/2013.
- BACK, A. J. (2001). Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16, pp. 211-222.
- BEIJO, L. A ; MUNIZ, J. U; CASTRO NETO, P. (2005). Estudo do tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo 1. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(3), p. 657-667.
- EMBRAPA . (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2a ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 306p.
- EUCLYDES, H. P. et al. (2001). Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco à Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre-RS, 6(2), pp. 81-105.
- FESTI, A. V. A. (2011). *Coletânea das Equações de Chuva do Brasil*. Tópicos Especiais da Engenharia de Saneamento. Curitiba: Edição por Demanda, pp. 209-228.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. (2007). Updated world Köppen-Geiger climate classification map. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, pp 1633–1644.
- SERGIPE (2010a) Secretaria Estadual de do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe PERH-SE*. Aracaju: SEMARH/PNDRH.
- SERGIPE. (2010b). Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. *Atlas digital sobre os Recursos Hídricos de Sergipe*. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2010b. CD-ROM.
- SERGIPE (2012). *Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe*. SEPLANTEC/SRH. Sergipe.
- SOUSA, H. T et al. (2009). *SisCAH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas*. Brasília: Agência Nacional de Águas, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 60p.
- TIBURCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. (2007). Uso do sistema de informação geográfica para a determinação de vazões máximas em projetos de hidrologia. In *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, 2007. Disponível em <http://www.abrh.org.br/novo/xvii_simp_bras_rec_hidric_sao_paulo_006.pdf> Acesso em 09 Dez de 2012.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. Porto Alegre: ABRH, 352 p.