

UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS NA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS PARA O RIO ITABAPOANA - ESPÍRITO SANTO/RIO DE JANEIRO

LEANDRO CAMPOS PINTO¹, CARLOS ROGÉRIO DE MELLO², ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA³

RESUMO

Utilizou-se das distribuições de probabilidade Gumbel, Log-normal a 2 e 3 parâmetros e Gama para estimar as vazões máximas e as referidas distribuições, acrescidas da distribuição Weibull, para estimar as vazões mínimas para diversos períodos de retorno no rio Itabapoana, na divisa dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. A série compreende as vazões máximas e mínimas anuais entre 1968 e 2007 resultando em 40 anos de dados. Na verificação da adequação das distribuições, foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado. Observou-se que, para as vazões máximas, as distribuições que obtiveram maior aderência foram a Log-normal 2 e 3 parâmetros e para as vazões mínimas, as distribuições Weibull e Gama. Com isto, puderam-se estimar com maior grau de confiabilidade, as vazões máximas e mínimas para o rio Itabapoana influenciando nos custos e na segurança de projetos de engenharia hidráulica na região.

Palavras-chave: Distribuições de probabilidade, Gumbel, Log-normal, Gama, recursos hídricos

INTRODUÇÃO

O Rio Itabapoana com 264 km de extensão, nasce na serra do Caparaó e é a fronteira natural entre capixabas e fluminenses desde a divisa de Minas Gerais até sua foz no Oceano Atlântico. Esse rio destaca-se pelo seu potencial hidrelétrico possuindo várias cachoeiras em seu curso. É formado pelo encontro dos rios Preto e São João, na divisa dos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. A partir daí, após receber seus afluentes (rios Muqui do Sul, Guaçuí, Calçado e outros menores) deságua no oceano Atlântico, no distrito de Barra do Itabapoana o qual pertence ao município de São Francisco de Itabapoana. Segundo Reis et al., (2008) na economia da bacia do Rio Itabapoana predominam serviços urbanos e do setor primário, principalmente aqueles vinculados à pecuária, café, cana-de-açúcar e fruticultura tropical. Toda esta atividade agropecuária exerce considerável pressão sobre os recursos hídricos, impondo a necessidade de adequada quantificação das vazões de estiagem. Por outro lado, os eventuais episódios de cheia têm produzido consideráveis prejuízos econômicos em função da ocupação inadequada das margens de alguns cursos d'água da bacia. Neste caso, como acontece na maior parte do Território Nacional, a ocupação ocorreu sem a adequada avaliação das cotas de inundação associadas a episódios de cheias. Mediante isto, faz-se a necessidade de monitoramento destas vazões de extremos, preconizando as populações ribeirinhas quanto à devida ocupação e uso do solo e viabilizando dimensionamentos de projetos de engenharia hidrológica na região.

De acordo com Silvino et al., (2007) a água, devido a sua condição de escassez em quantidade ou qualidade, deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Neste sentido, é de primordial importância para o dimensionamento de obras hidráulicas, abastecimento de cidades, irrigação, geração de energia, estudo de qualidade de água etc. Assim, as estimativas de vazões máximas e mínimas têm importância decisiva nos custos e segurança dos projetos de engenharia.

¹ Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, leandcampos@yahoo.com.br

² Professor Adjunto, DEG/ UFLA, crmello@deg.ufla.br

³ Professor Titular, DEG/ UFLA, marciano@deg.ufla.br

Diante disto, destaca-se a importância do estudo de vazões máximas e mínimas para o Rio Itabapoana, por ser este um importante sistema hídrico da porção sul do estado do Espírito Santo.

METODOLOGIA

Os dados de vazão diária utilizados foram obtidos junto ao site Hidroweb, gerido e abastecido pela ANA – Agência Nacional de Águas, da estação fluviométrica localizada no Rio Itabapoana (Ponte do Itabapoana), com coordenadas geográficas: 21° 12' 22" S e 41° 27' 46" W, altitude de 40 m e área drenável de 2854 km².

A série compreende as vazões máximas e mínimas anuais entre 1968 e 2007 resultando em uma série histórica de 40 anos. Utilizou-se as distribuições de probabilidades Gumbel, Log-normal a 2 e 3 parâmetros e Gama para estimar as vazões máximas e as mesmas distribuições acrescidas da distribuição Weibull para estimar as vazões mínimas para diversos períodos de retorno. As distribuições foram ajustadas com base no método dos momentos (Naghetini & Pinto, 2007). Para avaliar a adequação estatística das distribuições em todos os períodos estudados, foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Qui-quadrado (λ^2) ao nível de 5% de significância, seguindo orientações de Ferreira (2005) e Naghetini & Pinto (2007). Estes testes foram escolhidos por serem os mais comumente utilizados na literatura e considerados como os mais apropriados para variáveis aleatórias contínuas como vazões (Silvino et al., 2007). No teste de K-S é feita a comparação entre o máximo desvio em módulo resultante da diferença entre os valores de frequências observadas e teóricas, com o valor tabelado com base no tamanho da amostra e nível de significância. No teste de λ^2 a comparação é feita entre a soma do quadrado dos desvios entre as frequências observadas e teóricas ($\lambda^2_{\text{calculado}}$) e o valor obtido em tabela ($\lambda^2_{\text{tabelado}}$), em função do número de graus de liberdade (n° de classes - n° de parâmetros - 1) e nível de significância. Obteve-se o número de classes de agrupamento pela raiz quadrada do número de dados. Para que o modelo de probabilidades seja considerado adequado, os valores calculados deverão ser iguais ou inferiores aos tabelados para cada teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, apresentam-se valores de vazão máxima diária anual e rendimentos específicos máximos, para os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 20, 50, 100 anos. É possível observar variabilidade importante entre as estimativas oriundas das distribuições testadas, com a distribuição Log-normal 2P estimando os valores mais elevados (vazão e rendimento específico) para tempos de retorno superior a 10 anos. Isto implica em estimativa de vazões de máximas, vinculadas a projetos, que serão por um lado, mais seguras, contudo, podendo levar a superdimensionamentos.

Na tabela 2 têm-se os dados referentes aos testes de adequação, sendo que é possível observar aderência dos dados de vazão máxima a todos os modelos de probabilidade, por ambos os testes (K-S e λ^2). Apesar desta constatação o modelo Log-normal a 3 parâmetros produziu menores valores de $\lambda^2_{\text{calculado}}$ seguido do Log-normal 2P e Gama. Desta forma, é possível que as estimativas oriundas desta distribuição sejam mais precisas, apesar do valor de λ^2 da distribuição log-normal a 2P estar muito próximo ao da log-normal 3P. Observa-se que as distribuições que apresentaram maior aderência para vazões máximas são aquelas que normalmente representam vazões de cheia (Log-normal 2 e 3 parâmetros e Gama) como cita Clarke (1993). É importante, no entanto, realçar que todas as distribuições podem ser consideradas adequadas para estimar vazões máximas para diferentes tempos de retorno.

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

Silvino et al (2007), no estudo de vazões máximas do rio Paraguai, também obtiveram uma boa aderência da distribuição de probabilidades Log-normal pelo teste de (K-S), assim com Mello et al., (2010) para a bacia do Alto Rio Grande com seção em Madre de Deus de Minas.

Tabela 1. Vazões máximas e rendimentos específicos máximos para diferentes períodos de retorno para a estação fluviométrica Ponte do Itabapoana.

Dist. Probabilidade	Tempo de Retorno (anos)	Q (m ³ /s)	RE (L/s km ²)
Gumbel	2	278,03	97,42
	5	398,11	139,49
	10	477,61	167,35
	20	553,87	194,07
	50	652,58	228,65
	100	726,55	254,57
Log 2P	2	272,82	95,59
	5	396,34	138,87
	10	481,98	168,88
	20	568,16	199,07
	50	678,74	237,82
	100	768,71	269,34
Log 3P	2	282,33	98,92
	5	403,59	141,41
	10	479,21	167,91
	20	550,27	192,81
	50	635,69	222,74
	100	701,33	245,74
Gama	2	270,4	94,74
	5	403,27	141,30
	10	485,88	170,25
	20	545,48	191,13
	50	635,79	222,77
	100	636,12	222,89

Q = vazão; RE = rendimento específico

Tabela 2 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições de probabilidades utilizadas para estimar vazões máximas.

Distribuição	Kolmogorov-Smirnov		Qui-quadrado	
	$\Delta f_{calc.m\acute{a}x}$	$\Delta f_{tab.}$	$\Sigma \lambda^2_{calc.m\acute{a}x}$	$\lambda^2_{tab.}$
Gumbel	0,1101 ^A	0,21	4,509 ^A	9,488
Log-normal 2P	0,0949 ^A	0,21	0,153 ^A	7,815
Log-normal 3P	0,1148 ^A	0,21	0,144 ^A	5,991
Gama	0,1111 ^A	0,21	0,163 ^A	7,815

A – Adequabilidade do teste

Na tabela 3 estão apresentadas as vazões mínimas (m³/s) e respectivos rendimentos específicos para os diversos períodos de retorno.

Analisando-se os resultados dos testes de aderência para as distribuições de probabilidades utilizadas (tabela 4), observa-se que houve ajuste de todas as distribuições por ambos os testes e que a distribuição Gama produziu ajustes de melhor qualidade, evidenciado pelo menor valor de λ^2 calculado, seguida das distribuições Log-normal 2 parâmetros e 3 parâmetros e Weibull, que também produziram bons ajustes de acordo com os valores da estatística do teste de λ^2 .

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

Silvino et al (2007) analisando valores de vazões mínimas para o rio Paraguai, obtiveram uma maior aderência da distribuição Gama pelo teste do λ^2 aos dados deste tipo de vazão.

Mello et al., (2010) em estudo de vazões máximas e mínimas para seis bacias hidrográficas da região do Alto Rio Grande concluíram que as bacias hidrográficas de Madre de Deus, Fazenda Laranjeiras e Andrelândia apresentaram os menores valores para o rendimento específico mínimo, sendo as áreas com menor disponibilidade hídrica.

Tabela 3. Vazões mínimas e rendimentos específicos mínimos para diferentes períodos de retorno para a estação fluviométrica Ponte do Itabapoana.

Dist. Probabilidade	Tempo de Retorno (anos)	Q (m ³ /s)	RE (L/s km ²)
Gumbel	2	14,72	5,16
	5	11,35	3,98
	10	9,11	3,19
	20	6,97	2,44
	50	4,2	1,47
	100	2,12	0,74
Weibull	2	14,21	4,98
	5	10,82	3,79
	10	9,03	3,16
	20	7,6	2,66
	50	6,07	2,13
	100	5,13	1,80
Log 2P	2	14,54	5,09
	5	11,5	4,03
	10	10,18	3,57
	20	9,18	3,22
	50	8,21	2,88
	100	7,59	2,66
Log 3P	2	14,82	5,19
	5	11,53	4,04
	10	9,95	3,49
	20	8,68	3,04
	50	7,39	2,59
	100	6,52	2,28
Gama	2	14,43	5,06
	5	12,03	4,22
	10	10,79	3,78
	20	9,37	3,28
	50	9,37	3,28
	100	9,08	3,18

Q = vazão; RE = rendimento específico

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

Tabela 4 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições de probabilidades utilizadas para estimar vazões mínimas.

Distribuição	Kolmogorov-Smirnov		Qui-quadrado	
	$\Delta f_{\text{calc.máx}}$	$\Delta f_{\text{tab.}}$	$\Sigma \lambda^2_{\text{calc.máx}}$	$\lambda^2_{\text{tab.}}$
Gumbel	0,1548 ^A	0,21	4,245 ^A	9,488
Log-normal 2P	0,1402 ^A	0,21	0,125 ^A	7,815
Log-normal 3P	0,1520 ^A	0,21	0,090 ^A	7,815
Gama	0,1753 ^A	0,21	0,075 ^A	9,488
Weibull	0,1080 ^A	0,21	0,102 ^A	7,815

A – Adequabilidade do teste

CONCLUSÕES

Observou-se que para as vazões máximas as distribuições que obtiveram maior aderência foram a Log-normal 2 parâmetros pelo teste Kolmogorov-Smirnov e Log-normal 3 parâmetros pelo teste do Qui-quadrado. Para as vazões mínimas, as distribuições que obtiveram maior aderência foram a Weibull pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e Gama pelo teste do Qui-quadrado.

A estimativa dos dados de vazão máxima e mínima para a região é de suma importância em projetos de engenharia hidráulica, influenciando diretamente nos custos e na segurança destes tipos de empreendimentos.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANA (Agência Nacional das Águas). Sistema Nacional de Informações hidrológicas. Disponível em <http://www.ana.gov.br/>. Acessado em abril de 2010.

CLARKE, R. T. Hidrologia Estatística. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Livro da Coleção ABRH. Cap. 17, 1993.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S. Vazões máximas e mínimas para bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande, MG. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n.2, p. 494-502, mar/abr., 2010.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. **Geociências**, v. 27, n.4, p. 509-516, 2008. São Paulo, UNESP.

SILVINO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKI, C. C. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**, v. 26, n.4, p. 369-378, 2007. São Paulo, UNESP.