



## IV-033 - ESTUDO PROBABILÍSTICO DO COMPORTAMENTO DAS VAZÕES MÁXIMAS EM CURSOS D'ÁGUA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

**José Antonio Tosta dos Reis**

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Andréia Ruas das Neves**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Tecnóloga da Companhia Espírito Santense de Saneamento - Cesan.

**Letícia Ribas Binda**

Graduanda em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Graduanda em engenharia civil pela Universidade Federal do Espírito Santo.

**Aurélio Azevedo Barreto Neto**

Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Jacqueline Rogéria Brighenti**

Doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Endereço:** Instituto Federal do Espírito Santo. Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara, Vitória, ES. CEP: 29.040-780. Tel.: (27) 3331-2237.

### RESUMO

O adequado entendimento do comportamento das vazões de enchente é indispensável para a implantação de sistemas de abastecimento de água, sistemas de irrigação, pequenas centrais elétricas, dimensionamento de pontes e bueiros em estradas e para a definição de medidas estruturais ou não estruturais de controle de inundações. A previsão de longo prazo de enchentes usualmente estima a vazão máxima provável associada a uma determinada frequência de ocorrência. Este trabalho teve por objetivo avaliar, a partir do emprego de métodos probabilísticos, a variação das vazões de máximas em diferentes cursos d'água do estado do Espírito Santo. Os resultados demonstraram que as vazões máximas específicas são maiores na porção sul do estado do Espírito Santo, independentemente das frequências de ocorrência que lhe são associadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazões máximas, enchentes, análise probabilística.

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A vazão, assim como todas as outras variáveis utilizadas para a caracterização de processos hidrológicos, possui comportamento aleatório e exige, para sua adequada avaliação, séries históricas representativas e confiáveis. Segundo TUCCI (1993), a vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor de vazão associado a um risco de ser igualado ou superado.

A dificuldade de previsão da vazão máxima ocorre devido à sua própria natureza aleatória. Já o sucesso na apropriação das vazões máximas depende de uma série de fatores, dentre os quais se destacam a seleção da melhor metodologia de previsão de enchente levando em consideração às particularidades da região estudada, a extensão e a qualidade da série histórica disponível e o tempo de retorno de projeto.

As previsões das vazões máximas podem ser de curto ou de longo prazo. A previsão de cheia de curto prazo permite o acompanhamento contínuo do parâmetro monitorado (precipitação, cota, vazão, etc.) e consiste em uma rede de captação, transmissão e processamento dos dados. O processamento das informações utiliza metodologias de estimativa baseados em modelos matemáticos. A previsão em curto prazo tem o seu uso limitado em função do alto custo de instalação e operação e são geralmente é realizada em corpos hídricos de grande importância econômica e social. A previsão de longo prazo, por sua vez, consiste na obtenção de valores de vazões máximas com base em séries históricas. Segundo TUCCI (1993), a previsão de vazão de longo prazo para vazão máxima pode ser realizada com base: a) no ajuste de uma distribuição estatística; b) na regionalização de vazões; c) na precipitação.



O entendimento do comportamento das vazões máximas é relevante porque estas referidas vazões podem produzir diferentes impactos negativos como perdas econômicas, danos ao desenvolvimento e até perdas de vidas humanas. O estudo das vazões de enchente é muito importante para que sejam tomadas medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações, para o dimensionamento de pontes e bueiros em estradas, para o adequado aproveitamento dos recursos hídricos a partir da implementação de sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades, sistema de irrigação, pequenas centrais elétricas e outros (Genovez, 2003).

Este trabalho teve por objetivo avaliar, a partir do emprego de métodos probabilísticos, a variação das vazões de máximas de longo período em diferentes cursos d'água do estado do Espírito Santo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

Neste estudo foram utilizados registros dos postos fluviométricos instalados em todo o estado do Espírito Santo. Para a organização das informações hidrológicas disponíveis foi empregada a divisão hidrográfica proposta pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), a partir da qual os cursos d'água do estado do Espírito Santo são agrupados em 12 (doze) regiões hidrográficas (Itaúnas, São Mateus, Doce, Riacho, Reis Magos, Santa Maria da Vitória, Jucu, Guarapari, Benevente, Rio Novo, Itapemirim e Itabapoana).

### **Informações Hidrológicas**

Os registros de vazão e da área de drenagem das estações fluviométricas utilizadas neste estudo foram obtidos a partir da base de dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA).

Para a manipulação dos registros de vazão foi empregado o programa computacional HIDRO, programa de domínio público produzido e distribuído pela ANA.

As estações fluviométricas consideradas neste estudo estão reunidas na tabela 1. Nesta tabela, além do nome, são apresentados área de drenagem, o curso d'água e o município nos quais as estações estão instaladas. Para a condução do estudo de regionalização foi considerado o período compreendido entre os anos de 1980 e 2005, período comum às estações fluviométricas analisadas.



Tabela 1: Estações fluviométricas utilizadas para avaliação das vazões máximas

Estações	Curso d'água principal	Município	Área (km²)
Afonso Cláudio - Montante	Rio Guandu	Afonso Cláudio	466
Baixo Guandú	Rio Guandu	Baixo Guandú	2135
Barra de São Francisco	Rio São Francisco	Barra de São Francisco	344
Barra de São Gabriel	Rio São José	São Gabriel da Palha	1022
Barra do Rio Preto	Rio São Mateus / Braço Sul	Barra de São Francisco	2485
Boca da vala	Rio São Mateus	São Mateus	11973
Castelo	Rio Castelo	Castelo	975
Colatina	Rio Doce	Colatina	75800
Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus / Braço Sul	Nova Venécia	4186
Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	Domingos Martins	973
Coutinho	Rio Itapemirim	Cachoeiro de Itapemirim	4601
Dores do Rio Preto	Rio Preto	Dores do Rio Preto	234
Fazenda Cacheta	Rio muqui do Norte	Presidente Kennedy	505
Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu	Viana	1690
Fazenda Lajinha	Rio Castelo	Conceição do Castelo	436
Fazenda São Mateus	Rio São Mateus / Braço Norte	Ecoporanga	4266
Guaçuí	Rio do Veado	Guaçuí	413
Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	Alegre	342
Iconha - Montante	Rio Iconha	Iconha	148
Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	1045
Itaguaçu - jusante	Rio Santa Joana	Itaguaçu	438
Iuna	Rio Pardo	Iuna	426
Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	Colatina	873
Laranja da Terra	Rio Guandu	Laranja da Terra	1331
Matilde	Rio Benevente	Alfredo Chaves	210
Mimoso do Sul	Rio muqui do Sul	Mimoso do Sul	369
Pau D'alho	Rio Novo do Sul	Rio Novo do Sul	304
Ponte do Itabapoana	Rio Itabapoana	Mimoso do Sul	2854
Ponte do Pancas	Rio Pancas	Colatina	919
Rive	Rio Itapemirim	Alegre	2217
Santa Cruz	Rio Itabapoana	Mimoso do Sul	3781
Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	Santa Leopoldina	997
São João da Cahoeira Grande	Rio São Mateus / Braço Norte	São Mateus	6732
São José do Calçado	Rio Calçado	São José do Calçado	146
Terra Corrida - Montante	Rio Pardo	Muniz Freire	602
Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	223
Usina Paineiras	Rio Itapemirim	Muniz Freire	5166
Usina São Miguel	Rio Castelo	Cachoeiro de Itapemirim	1458
Valsugana Velha - Montante	Rio Timbuí	Santa Tereza	83



### **Análise Probabilística**

Para que as vazões estimadas representem uma aproximação aceitável do que ocorre com os dados empíricos é necessária a geração de funções de distribuição cumulativas de probabilidade, que servem para a realização dos testes estatísticos.

Neste trabalho, para avaliação das vazões máximas associadas a diferentes frequências de ocorrência, foram empregadas as distribuições de probabilidade Lognormal tipo II, Lognormal tipo III, Pearson tipo III, Logpearson tipo III e Gumbel. Para verificação da aderência das séries históricas de vazões às distribuições de probabilidade, foram considerados os teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado.

Discussões detalhadas sobre o ajuste de distribuições de probabilidade e sobre a aplicação dos diferentes testes de aderência empregados podem ser encontradas em trabalhos como NAGHETTINI e PINTO (2007), PINTO et al (1976) e TUCCI (1993).

### **RESULTADOS**

A partir das séries históricas de vazões máximas diárias foram apropriadas as vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos. A tabela 2 apresenta os valores absolutos de vazão máxima para os diferentes períodos de retorno considerados, apropriados a partir da aplicação da distribuição probabilística de Gumbel. A Tabela 3, por sua vez, reúne os correspondentes valores específicos de vazão máxima. É relevante observar que a distribuição probabilística de Gumbel não foi rejeitada pelos testes de aderência em nenhuma das estações fluviométricas cujas séries históricas de vazão foram consideradas neste trabalho. Conforme observam NAGHETTINI e PINTO (2007) e TUCCI (1993), a distribuição probabilística de Gumbel usualmente apresenta resposta consistentes quando da apropriação de eventos extremos de vazão.

Os gráficos apresentados nas figuras 1, 2 e 3 e representam as curvas de probabilidade de vazão máxima para as estações fluviométricas de Ponte do Itabapoana, São José do Calçado e Córrego do Galo, respectivamente. Gráficos semelhantes foram gerados para as demais estações consideradas neste estudo.



**Tabela 2: Vazões absolutas máximas (m<sup>3</sup>/s) associadas a diferentes períodos de retorno estimadas a partir da distribuição probabilística de Gumbel.**

Estação Fluviométrica	Período de Retorno (anos)				
	5	10	20	50	100
Afonso Cláudio - montante	102,22	125,72	148,26	177,44	199,30
Baixo Guandú	228,43	268,92	307,76	358,03	395,70
Barra do Rio Preto	260,27	313,60	364,76	430,98	480,61
Barra São Francisco	27,93	33,16	38,18	44,67	49,54
Barra de São Gabriel	132,45	160,08	186,58	220,89	246,59
Boca da Vala	567,76	720,38	866,77	1056,26	1198,26
Castelo	156,89	183,80	209,61	243,02	268,05
Colatina	5695,27	6904,50	8064,42	9565,81	10690,90
Córrego da Boa Esperança	410,00	484,50	555,96	648,46	717,77
Córrego do Galo	78,10	91,37	103,30	118,75	130,32
Coutinho	761,99	914,39	1060,58	1249,80	1391,60
Dores do Rio Preto	46,92	55,97	64,65	75,89	84,31
Fazenda Cacheta	65,35	80,89	95,79	115,09	129,54
Fazenda Jucuruaba	184,45	226,20	266,23	318,06	356,90
Fazenda Lajinha	87,32	101,51	115,12	132,73	145,93
Fazenda São Mateus	353,20	429,96	503,59	598,90	670,32
Guaçuí	101,57	125,73	148,90	178,90	201,38
Ibitirama	157,79	186,23	213,52	248,83	275,30
Itaguaçu - Jusante	110,25	130,58	150,08	175,33	194,25
Iconha - montante	73,40	93,80	113,37	138,70	157,68
Itaici	164,48	190,51	215,48	247,80	272,01
Iúna	70,03	84,21	97,81	115,41	128,60
Jusante Córrego do Piaba	119,62	141,64	162,75	190,08	210,56
Laranja da Terra	175,82	211,88	246,46	291,23	324,77
Matilde	30,54	35,41	40,09	46,14	50,68
Mimoso do Sul	85,20	103,21	120,49	142,86	159,63
Pau D'alho	58,79	69,65	80,07	93,55	103,65
Ponte do Itabapoana	407,50	498,31	585,41	698,16	782,65
Ponte de Pancas	132,45	160,08	186,58	220,89	246,59
Rive	734,62	908,10	1074,51	1289,92	1451,33
Santa Cruz	338,50	390,70	440,76	505,57	554,13
Santa Leopoldina	178,56	217,50	254,86	303,22	339,46
S. J. Cachoeira Grande	923,78	1264,63	1591,58	2014,77	2331,90
São José do Calçado	29,58	36,30	42,75	51,10	57,36
Terra Corrida Montante	126,54	157,32	186,86	225,08	253,72
Usina Fortaleza	98,90	123,27	146,64	176,89	199,56
Usina Paineiras	604,57	695,88	783,47	896,85	981,81
Usina São Miguel	214,75	255,86	295,29	346,33	384,58
Valsugana Velha montante	17,64	17,64	22,91	26,25	28,75



**Tabela 3: Vazões específicas máximas ( $\text{m}^3/\text{s.Km}^2$ ) associadas a diferentes períodos de retorno estimadas a partir da distribuição probabilística de Gumbel.**

Estação Fluviométrica	Período de Retorno (anos)				
	5	10	20	50	100
Afonso Cláudio - montante	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43
Baixo Guandú	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19
Barra São Francisco	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Barra de São Gabriel	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10
Boca da Vala	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10
Castelo	0,16	0,19	0,21	0,25	0,27
Colatina	0,08	0,09	0,11	0,13	0,14
Córrego da Boa Esperança	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17
Córrego do Galo	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13
Coutinho	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30
Dores do Rio Preto	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
Fazenda Cacheta	0,13	0,16	0,19	0,23	0,26
Fazenda Jucuruaba	0,11	0,13	0,16	0,19	0,21
Fazenda Lajinha	0,20	0,23	0,26	0,30	0,33
Fazenda São Mateus	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
Guaçuí	0,25	0,30	0,36	0,43	0,49
Ibitirama	0,46	0,54	0,62	0,73	0,80
Iconha - montante	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15
Itaici	0,38	0,43	0,49	0,57	0,62
Iúna	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30
Jusante Córrego do Piaba	0,14	0,16	0,19	0,22	0,24
Laranja da Terra	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24
Matilde	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24
Mimoso do Sul	0,23	0,28	0,33	0,39	0,43
Pau D'alho	0,19	0,23	0,26	0,31	0,34
Ponte do Itabapoana	0,14	0,17	0,21	0,24	0,27
Ponte de Pancas	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27
Rive	0,33	0,41	0,48	0,58	0,65
Santa Cruz	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15
Santa Leopoldina	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34
S. J. Cachoeira Grande	0,14	0,19	0,24	0,30	0,35
São José do Calçado	0,20	0,25	0,29	0,35	0,39
Terra Corrida Montante	0,21	0,26	0,31	0,37	0,42
Usina Fortaleza	0,44	0,55	0,66	0,79	0,89
Usina Paineiras	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19
Usina São Miguel	0,15	0,18	0,20	0,24	0,26
Valsugana Velha montante	0,21	0,21	0,28	0,32	0,35



Figura 1 – Curva de probabilidade de vazão máxima para a estação fluviométrica Ponte do Itabapoana.

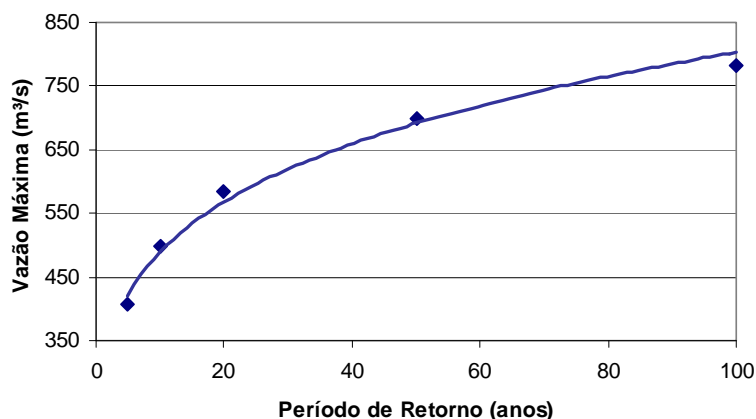


Figura 2 – Curva de probabilidade de vazão máxima para a estação fluviométrica São José do Calçado.

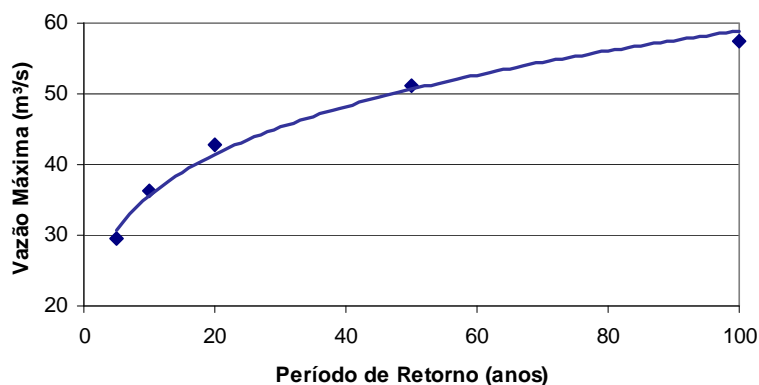
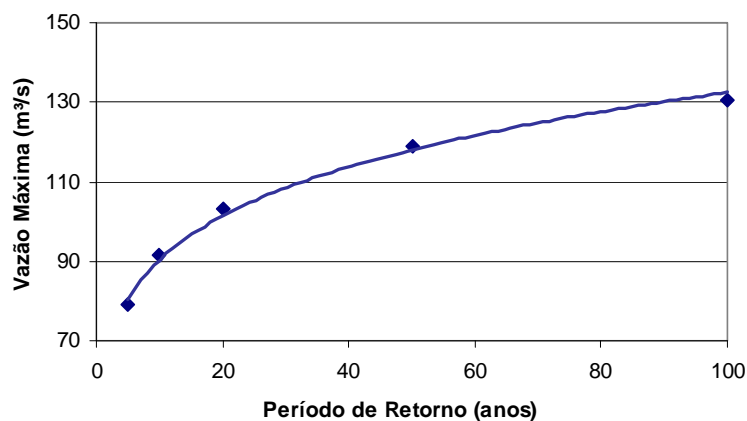


Figura 3 – Curva de probabilidade de vazão máxima para a estação fluviométrica Córrego do Galo.



A partir da simples inspeção das curvas de probabilidade de vazões máximas ou dos valores de vazão reunidos na Tabela 3 pode-se observar que, independentemente da frequência de ocorrência, as vazões máximas específicas são maiores na porção sul do estado, estabelecendo-se uma tendência de redução no sentido sul-norte. Os maiores valores específicos de vazão máxima foram registrados nos postos fluviométricos instalados nas regiões hidrográficas dos rios Itapemirim e Itabapoana, regiões hidrográficas localizadas no sul do Estado



(por exemplo, estações de Usina Fortaleza, Rive, Itaici, São José do Calçado e Ibitirama). Os menores valores específicos de vazão máxima, por sua vez, foram registrados em postos fluviométricos em funcionamento na porção norte do Estado (estações de Barra São Francisco, Boca da Vala e Fazenda São Mateus)

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no presente estudo conduziram às seguintes conclusões:

- Dentre as distribuições de probabilidade testadas, a distribuição de Gumbel não foi rejeitada pelos testes de aderência quando da apropriação de vazão máxima nas diferentes estações fluviométricas estudadas;
- As vazões máximas específicas são maiores na porção sul do estado do Espírito Santo, independentemente das frequências de ocorrência que lhe são associadas.

As vazões apropriadas neste trabalho permitem uma avaliação preliminar das vazões máximas de cursos d'água de diferentes regiões hidrográficas do estado do Espírito Santo. Adicionalmente, podem permitir a condução de trabalho que conduzam ao desenvolvimento de funções regionais aplicáveis à avaliação das vazões máximas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552 p, 2007.
2. GENOVEZ, A. M. **Vazões máximas**. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (organizadores) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, p. 628. 2003.
3. PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L.S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1976.
4. TUCCI, C.E.M. (Organizador). **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Porto Alegre. Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, p. 573-619,1993.