



ANÁLISE DE VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL, VARIABILIDADES, INTENSIDADES E PERÍODOS DE RETORNO

Eduardo Soares LeiteLuiz ¹, Antônio de Oliveira ²

¹Instituto de Geografia/Universidade Federal de Uberlândia/ eduardo.geoufu@hotmail.com

²Instituto de Geografia/Universidade Federal de Uberlândia/
luiz.oliveira@ufu.br

Eixo: 3 – Climatologia em diferentes níveis escalares: mudanças e variabilidades

Resumo

A utilização de técnicas estatísticas descritivas e modelos probabilísticos são fundamentais na realização de estudos voltados à análise do comportamento de vazões de determinada bacia. O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento da vazão, mínimas e máximas, de algumas seções do rio Paraíba do Sul. Para tanto, a metodologia empregada para a elaboração dos resultados compreende a lei de distribuição de frequências de Gumbel, cálculo do período de retorno e determinação do coeficiente de variação. Os dados foram trabalhados e analisados em planilhas do Excel, onde se constatou os períodos de retorno para os dados máximos e mínimos de vazão para a série histórica de três estações da bacia em questão. A partir da realização do estudo, destaca-se a importância da análise estatística na compreensão do comportamento hidrológico, como também, na gestão dos recursos.

Palavras Chave: vazões, período de retorno, Rio Paraíba do Sul.

1 – INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos atualmente é prioridade para a maioria dos governos e agências internacionais, a disponibilidade e a distribuição da água permeiam diversos conflitos e questões relativas à sua condição de escassez em quantidade ou qualidade. Desta maneira, em tempos em que a água deixou de ter valor natural e passou a ter valor econômico e político, o conhecimento hidrológico passou a ter fundamental importância para a gestão e controle dos recursos. Neste sentido, na atualidade tem se intensificado os estudos visando o entendimento do comportamento hidrológico, pressuposto básico para a gestão deste recurso.

Em estudos e pesquisas sobre recursos hídricos, as técnicas estatísticas são fundamentais para o processo de análise do comportamento de vazões. Para Valverde (2004), o estudo de distribuição de frequência de vazões máximas e mínimas necessita do uso de distribuições estatísticas. Segundo Leme (2003), os processos hidrológicos, como a vazão de um rio são aleatórios, sendo assim, o tratamento dos dados e informações com base estatística devem ser realizados a partir de distribuições teóricas de probabilidade aplicadas as séries hidrológicas.



De acordo com Katz et al. (2002) e Queiroz & Chaudhry (2006) vazões máximas e mínimas devem ser adequadamente tratadas do ponto de vista probabilístico. Sobre esta temática, Queiroz e Oliveira (2012) comentam:

A maioria dos modelos probabilísticos existentes em hidrologia utiliza a distribuição de Gumbel, onde se analisa os eventos extremos (vazões máximas e mínimas). Os resultados destas análises permitem entender o comportamento hidrológico da drenagem em análise, principalmente a previsão dos eventos de cheias e de escassez hídrica. Estes dados são de suma importância no dimensionamento de obras hidráulicas (barragens, pontes, galerias, dentre outras) e ainda no planejamento da distribuição da água em períodos de escassez.

Vale ressaltar também, que a utilização das informações hidrológicas a partir da estimativa de probabilidades possui caráter preventivo, com base em funções de densidade de probabilidade aplicadas aos valores observados as vazões possíveis de ocorrer. (SILVINO et al, 2007). Ainda, segundo Silvino (2007), as informações hidrológicas ligadas aos períodos de retorno de vazões máximas e mínimas são de fundamental importância para o dimensionamento de canais; dimensionamento de proteções contra cheias, pontes, vertedores, abastecimento de água de cidades, irrigação, projetos agrícolas, navegação, geração de energia, dentre outras atividades.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da vazão, mínimas e máximas, de algumas seções do rio Paraíba do Sul. Para tanto, serão aplicadas técnicas estatísticas descritivas e modelos probabilísticos para os dados de vazões máximas e mínimas das estações Santa Branca (58099000), Pindamonhangaba (58183000) e Paraíba do Sul, (58380001) pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Área de Estudos

A área foco para o estudo compreende o Rio Paraíba do Sul com 1.130 km de extensão e percorre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Possui uma vazão em sua foz de aproximadamente 1.130 m³/s e seus principais afluentes são os Rios Jaguari, Paraibuna, Pomba e Muriaé pela margem esquerda e os Rios Piraí, Piabanha e Dois Rios pela margem direita. (ANA, 2017). Do ponto vista hidrológico, constitui-se em importante manancial de abastecimento público de água, suporte para atividades agropecuárias e geração de energia.

Segundo a classificação de Köppen, adotada universalmente e adaptada ao Brasil, o clima regional presente ao longo do Rio Paraíba do Sul varia entre Cwa, temperado úmido com invernos secos e verões quentes, Am, clima de monção e por fim, como Af, tropical úmido ou clima equatorial.

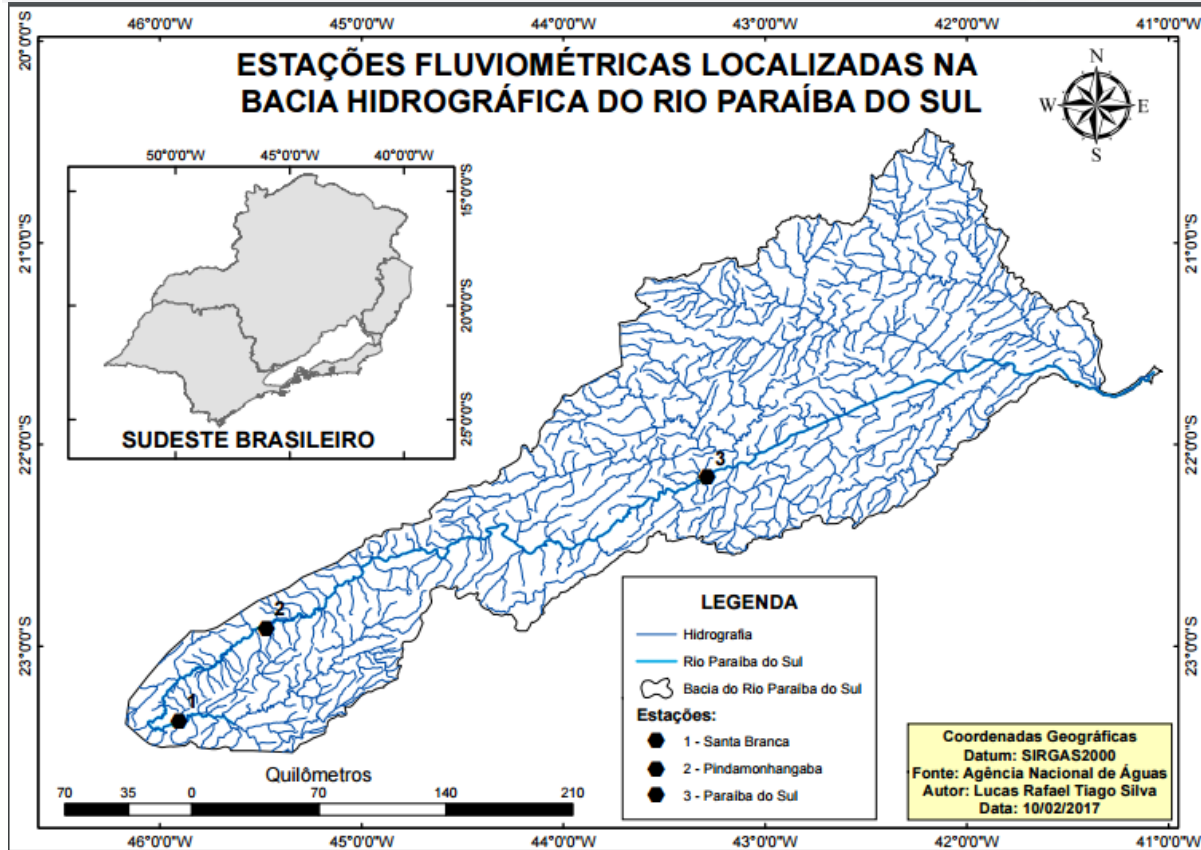


Figura 1 – Mapa de localização das estações fluviométricas utilizadas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Fonte: ANA (2017)

Organização: SILVA, 2017

2 - METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados de vazões máximas e mínimas das estações fluviométricas de Santa Branca, código(58099000) e série histórica de 1952 a 2006, Pindamonhangaba, código (58183000) e série histórica de 1939 a 2007 e Paraíba do Sul, código(58380001) e série histórica de 1972 a 2006. Vale ressaltar que, para a realização dos cálculos probabilísticos e para a determinação dos períodos de retorno, foram utilizados os dados mais críticos de todas as séries, para tanto, na estação de Santa Branca a vazão máxima utilizada foi de 595 m³/s e a vazão mínima de 17m³/s, na estação de Pindamonhangaba a vazão máxima foi de 688 m³/s e a vazão mínima de 50 m³/s e por fim, na estação de Paraíba do sul a vazão máxima foi de 1450 m³/s e a vazão mínima foi de 28m³/s.

Na tabulação, apresentação gráfica e análise estatística dos dados, foram utilizados os softwares Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (Siscah 1.0) e Microsoft Office Excel. Nesta etapa metodológica, os dados foram coletados no banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional das Águas (ANA), posteriormente, os dados de vazões máximas e



mínimas foram sistematizados no Siscah 1.0 e transferidos para o Microsoft Office Excel, onde foram realizadas todas as funções estatísticas para as três estações.

Os resultados correspondem à análises para valores críticos de vazão, para tanto, foi utilizada a lei de distribuição de frequências de Gumbel. Pela lei de Gumbel, a probabilidade de que se encontre um valor inferior a um determinado evento “X” pode ser calculado pela expressão:

$$F(x) = e^{-e^{-b}} \quad (1)$$

Onde: e = base dos logaritmos neperianos.

Para se calcular b, utiliza-se a expressão:

$$b = \alpha (x - u) \quad (2)$$

Onde:

x = valor do evento a ser superado.

Para se calcular α , utiliza-se a expressão:

$$\alpha = \sigma_y / s_x \quad (3)$$

Onde:

σ_y = é a média de uma série de valores y_i ($i = 1$ a N ; $N =$ nr de dados da amostra) que depende somente do número de dados. Valores encontram-se na tabela I.

S_x = desvio padrão da amostra

Para se calcular μ , utiliza-se a expressão:

$$u = \bar{x} - \mu_y / \alpha \quad (4)$$

Onde:

\bar{x} = média aritmética da amostra

μ_y = é o desvio padrão de uma série de valores y_i ($i = 1$ a N ; $N =$ nr de dados da amostra) que depende somente do número de dados. Valores encontram-se na tabela I.



Tabela I - Valores da média (γ_n) e do desvio-padrão (S_n) da variável reduzida em função do tamanho da amostra (n)

n	γ_n	S_n	n	γ_n	S_n	n	γ_n	S_n
10	0,4967	0,9573	45	0,5463	1,1519	73	0,5555	1,1881
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	74	0,5557	1,1890
20	0,5236	1,0628	47	0,5473	1,1557	75	0,5559	1,1898
21	0,5252	1,0696	48	0,5477	1,1574	76	0,5561	1,1906
22	0,5268	1,0754	49	0,5481	1,1590	77	0,5563	1,1915
23	0,5283	1,0811	50	0,5485	1,1607	78	0,5565	1,1923
24	0,5296	1,0864	51	0,5489	1,1623	79	0,5567	1,1930
25	0,5309	1,0915	52	0,5493	1,1638	80	0,5569	1,1938
26	0,5320	1,0961	53	0,5497	1,1658	81	0,5570	1,1945
27	0,5332	1,1004	54	0,5501	1,1667	82	0,5572	1,1953
28	0,5343	1,1047	55	0,5504	1,1681	83	0,5574	1,1960
29	0,5353	1,1086	56	0,5508	1,1696	84	0,5576	1,1967
30	0,5362	1,1124	57	0,5511	1,1708	85	0,5578	1,1973
31	0,5371	1,1159	58	0,5515	1,1721	86	0,5580	1,1980
32	0,5380	1,1193	59	0,5518	1,1734	87	0,5581	1,1987
33	0,5388	1,1226	60	0,5521	1,1747	88	0,5583	1,1994
34	0,5396	1,1255	61	0,5524	1,1759	89	0,5585	1,2001
35	0,5403	1,1285	62	0,5527	1,1770	90	0,5586	1,2007
36	0,5410	1,1313	63	0,5530	1,1782	91	0,5587	1,2013
37	0,5418	1,1339	64	0,5533	1,1793	92	0,5589	1,2020
38	0,5424	1,1363	65	0,5535	1,1803	93	0,5591	1,2026
39	0,5430	1,1388	66	0,5538	1,1814	94	0,5592	1,2032
40	0,5436	1,1413	67	0,5540	1,1824	95	0,5593	1,2038
41	0,5442	1,1436	68	0,5543	1,1834	96	0,5595	1,2044
42	0,5448	1,1458	69	0,5545	1,1844	97	0,5596	1,2049
43	0,5453	1,1480	70	0,5548	1,1854	98	0,5598	1,2055
44	0,5458	1,1499	71	0,5550	1,1863	99	0,5599	1,2060
			72	0,5552	1,1873	100	0,5600	1,2065

Fonte: Carvalho; Silva, 2006

Destaca-se outro importante modelo probabilístico no conhecimento hidrológico também utilizado para a análise do comportamento das vazões do presente estudo. O cálculo do período de retorno, muito utilizado em dimensionamento da capacidade de suporte de obras culturais. Para Pinto et al. (1976), Cruciani (1986) e Tucci (2000), o período de retorno representa o número médio de anos, durante o qual se espera que os valores sejam iguados ou superados ao menos uma vez.

Sendo assim, para se calcular que a frequência, ou período de retorno se apresentará uma determinada vazão a cada anos devemos calcular a expressão (1), resultando em:

$$b = - \ln (-\ln (F(x))) \quad (5)$$

Onde:

Ln = logaritmo natural E finalmente, calcular x na equação (2):

$$x = b/ \alpha + u \quad (6)$$



Outra metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho foi à determinação do coeficiente de variação (CV), utilizado para analisar o comportamento dos dados e expressar a precisão do processo de análise. Quanto menor o coeficiente de variação mais homogêneo é o conjunto de dados. O CV pode ser considerado baixo quando for menor ou igual a 25%, porém esse valor pode variar de acordo com a aplicação dos dados.

Sendo assim, o coeficiente de variação pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$CV = s/\bar{x}$$

Onde:

s = desvio padrão

x = média aritmética da amostra

3 – RESULTADOS

A partir da análise estatística dos dados foram constatados valores referentes ao período de retorno para vazões críticas das três estações em análise e valores para o coeficiente de variação de cada uma das três séries de dados.

Os valores estatísticos de probabilidade, períodos de retorno das vazões máximas e mínimas das respectivas estações estão sumariados na tabela II.

Tabela II - Vazões críticas e períodos de retorno.

Estações e Série Histórica	Vazão Máxima (m ³ /s)	Período de retorno (anos)	Vazão Mínima (m ³ /s)	Período de retorno (anos)
Santa Branca: 1952-2006	595	125	17	174
Pindamonhangaba: 1939-2007	688	25	50	98
Paraíba do Sul: 1972-2006	1450	20	28	21

Org. dos autores

A partir dos dados da tabela II, é possível compreender a variação do comportamento das vazões ao longo das séries históricas em destaque. Para a Estação de Santa Branca o período de retorno foi de 125 anos para a vazão máxima de 595m³/s e de 174 anos para a vazão mínima de 17 m³/s. Para a estação de Pindamonhangaba ressalta-se o período de retorno de 25 anos para a vazão máxima de 688m³/s e assumindo maior destaque, para a estação de Paraíba do Sul determinou-se um período de retorno de 20 anos para uma vazão máxima de 1450 m³/s e de 21 anos para uma vazão mínima de 28 m³/s.



Para um melhor entendimento sobre o comportamento de vazões entre as três estações foram calculados também, os coeficientes de vazão (mínimas e máximas), cujos valores encontram-se nas tabelas III e IV, respectivamente.

Tabela III - Variação para vazões mínimas.

Estações e Série Histórica	Média Aritmética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Santa Branca: 1952-2006	34.8	9.7	28%
Pindamonhangaba: 1939-2007	78.4	15.9	20%
Paraíba do Sul: 1972-2006	60.5	22.4	37%

Org. dos autores

Tabela IV - Variação para vazões máximas.

Estações e Série Histórica	Média Aritmética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Santa Branca: 1952-2006	199.8	107.6	54%
Pindamonhangaba: 1939-2007	397.7	129.3	30%
Paraíba do Sul: 1972-2006	809.8	291.2	36%

Org. dos autores

A partir do coeficiente de variação podemos analisar quais séries de dados entre as estações estão mais homogêneas e estáveis em relação à média. Para os dados de vazões mínimas, representados pela tabela 3, a série de dados mais homogênea e estável compreende a estação de Pindamonhangaba, CV de 20% e série histórica (1939-2007). Para as outras estações, observa-se uma menor consistência dos dados, CV de 28% e 37%, para Santa Branca e Paraíba do Sul, respectivamente.

Na variação do coeficiente para as vazões máximas, a série de dados mais homogênea também foi da estação de Pindamonhangaba, com CV de 30%. Para a estação de Santa Branca a variação foi de 50% e na estação de Paraíba do Sul de 36%.

Portanto, a partir da análise dos resultados destaca-se a importância das funções estatísticas na compreensão do comportamento hidrológico de determinada drenagem. A partir deste estudo, a utilização das técnicas estatísticas descritivas e das funções de probabilidade, foi possível constatar o período de retorno de vazões críticas para três estações da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do sul. A determinação destes valores podem ser úteis para diversas atividades ou ações humanas presentes na área, sendo assim, vale ressaltar que, a correlação dos dados e dos resultados com o comportamento físico e social de determinada área é fundamental para gestão correta dos recursos.



4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das técnicas estatísticas é fundamental na realização de estudos voltados à análise do comportamento de vazões de determinada bacia. Além do potencial econômico, o entendimento do comportamento hidrológico é pressuposto básico para a gestão dos recursos hídricos.

A partir da realização do estudo, conclui-se que os períodos de retorno determinados podem ser utilizados como mecanismos e ferramentas para as atividades humanas da área e a metodologia empregada teve um papel didático imensurável, no que se refere à análise estatística e compreensão dos eventos.

Enfim, os resultados obtidos foram satisfatórios, no entanto, ressalta-se que foi possível encontrar algumas falhas nos dados coletados durante a análise.

5 – REFERÊNCIAS

QUEIROZ, A. T. E OLIVEIRA, L. A. "**Relação entre produção e demanda hídrica na bacia do rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, Brasil.**" *Revista Sociedade & Natureza* 25.1 (2013).

VALVERDE, A. E. LACERDA; LEITE, H. GARCIA; SILVA, D. D. DA; PRUSKI, F. FALCO. **Momentos-I: teoria e aplicação em hidrologia.** R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.927-933, 2004.

LEME, E.J.A. **Hidrologia estatística da vazão mínima do rio Jaguari Mirim.** *Ecosistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. 1,2, p. 77-82, 2002.

KATZ, R.W.; PARLANGE, M.B.; NAVEAU, P. **Statistics of extremes in hydrology.** *Advances in Water Resources*, Amsterdam, v.25, p.1287-1304, 2002.

QUEIROZ, M.M.F. de; CHAUDHRY, F.H. **Análise de eventos hidrológicos extremos usando a distribuição GEV e momentos LH.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.2, p.381- 389, 2006.

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*, São Paulo, v. 26, n.4, p. 369-378, 2007.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 115 p. Disponível em , acesso em 10 de nov. de 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *HIDROWEB* – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>, acesso em 10 de janeiro de 2017.