

Vazão Mínima do Vale Médio do Rio Jaguarí Mirim

E.J.A. LEME

edsonleme@rantac.com.br

F.H. CHAUDHRY

fazal@sc.usp.br

Recebido: 09/07/04 revisado: 14/12/04 aceito: 23/05/05

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de determinar a vazão mínima de sete dias consecutivos do médio rio Jaguarí Mirim, através da análise dos dados existentes em série histórica de 50 anos, interpretada pelas Distribuições de Extremos Tipo I e III. Foram também calculadas a vazão de referência e a vazão específica mínima. Os resultados mostram que a $Q_{7,10}$ e a vazão de referência, obtidas com os dados do posto fluviométrico estudado foram de 1,74 a 1,75 m³/s. A vazão específica mínima obtida foi de 0,0028 m³/s.km².

Palavras-Chave : $Q_{7,10}$, Q_{REF} , Rio Jaguarí Mirim.

INTRODUÇÃO

De acordo com a SRHSO (1994), a vazão mínima é um importante parâmetro para verificação da necessidade de execução de barragem para a regularização de vazão, principalmente nos casos em que a demanda é maior que a vazão mínima e menor que a vazão média. Tucci (1993) registra que as vazões mínimas se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. O uso da vazão mínima mensal é melhor que a vazão mínima diária, porém a associação da sequência das vazões mínimas a um determinado período, em geral com sete dias de duração, é mais indicada, pois registra a condição mais crítica do uso da água. A curva de probabilidade de vazões mínimas permite a estimativa do risco de ocorrência de vazões menores que um determinado valor escolhido e é utilizada em estudos de qualidade de água e regularização de vazão para abastecimento de água e irrigação.

Lanna (1993) cita que entre os usos consuntivos (retiram água da bacia reduzindo sua disponibilidade, de forma espacial e temporal) a irrigação resulta em importante redução na quantidade e disponibilidade da água na bacia, espacial e temporalmente.

A SMA (1995) registra que a disponibilidade hídrica superficial pode ser estimada a partir de dois regimes de vazão : vazão mínima anual de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos e

vazão de referência. A vazão de referência representa o possível efeito da regularização nas vazões das bacias acima da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) devido a existência e operação adequada de reservatórios e de acordo com a lei 9034/94, a vazão de referência (Q_{REF}) constitui o regime utilizado para orientar as outorgas de uso de água. A quantificação da vazão mínima deve ser feita através das distribuições de probabilidade, pois permite a estimativa do risco de ocorrência de vazões menores que a vazão da demanda. Também cita que a vazão específica mínima da bacia do rio Jaguarí Mirim era de 0,0032 m³/s.km² e que a disponibilidade hídrica superficial na sua junção com o rio Mogi-Guaçu, em termos da $Q_{7,10}$ era de 5,7 m³/s. A relação entre a demanda e a disponibilidade, acumulada até o compartimento e, a relação entre a demanda e a disponibilidade do compartimento, eram de 31,5%, não ultrapassando o valor de 50% da $Q_{7,10}$ ou Q_{REF} do compartimento, limite máximo sugerido.

O COMITÊ DE BACIA DO RIO MOGI-GUAÇU (2002), em relatório preliminar do Plano de Bacia, relata que em 1997 a vazão de captação de água da bacia do rio Jaguarí Mirim para abastecimento público, indústria, irrigação e aquicultura foi 2,786 m³/s, enquanto a vazão de lançamento correspondeu a 0,843 m³/s, resultando uma retirada de 1,946 m³/s. A relação entre essa demanda de uso (1,946 m³/s) e a disponibilidade de

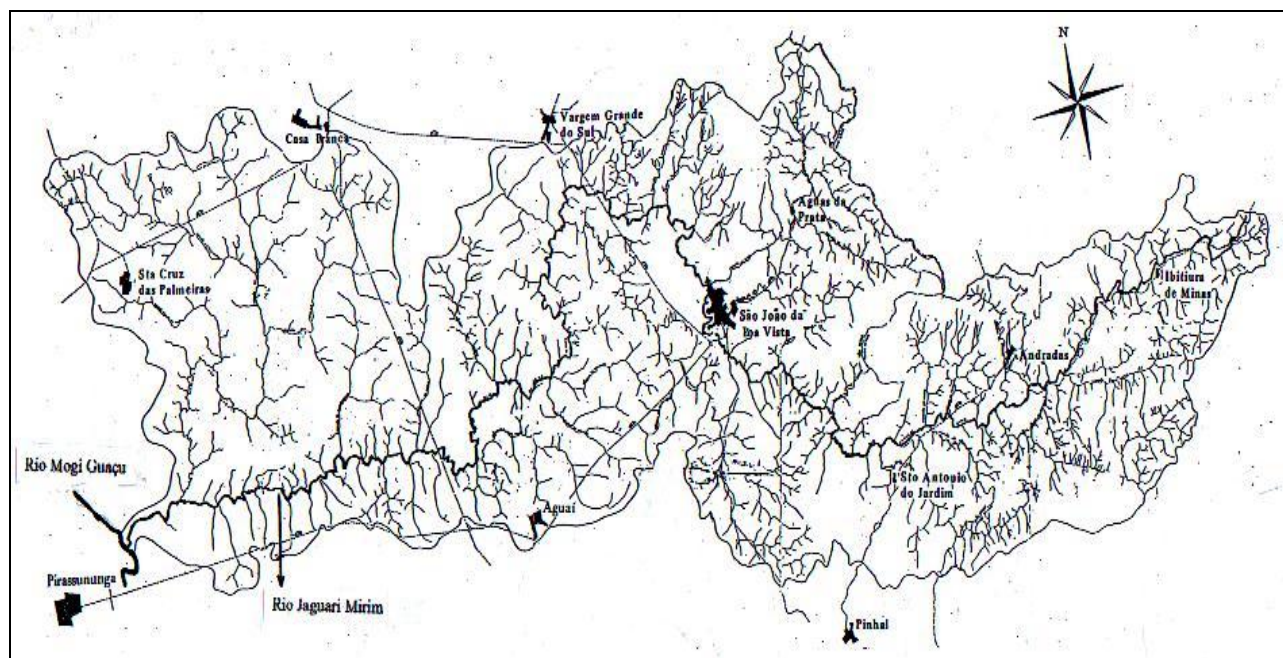


Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim (sem escala).

água do compartimento ($Q_{7,10}$ de $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$) foi de 34,14%. O relatório ressalta que a demanda estimada de água para a irrigação era de $1,759 \text{ m}^3/\text{s}$ e representava cerca de 63,14% da captação para atender a demanda.

Leme (2003) relata que nas áreas da bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim, situadas à montante da divisa do município de Aguaí, a vazão de captação, para abastecimento público, indústria e irrigação, em 2000, foi estimada em $2,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Baseando-se na incorporação de 20% da água de abastecimento público, 46,26% da água industrial e incorporação total na irrigação, a vazão retirada final foi de $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo 83% dessa vazão alocada para atender a demanda da irrigação nessa parte da bacia.

Esses dados indicam uma expansão das áreas irrigadas nos últimos anos no médio rio Jaguari Mirim e a necessidade de estabelecimento de parâmetros de gestão e gerenciamento do uso da água, na referida bacia.

O objetivo do trabalho foi, a partir de série de 50 anos de vazão diária do médio rio Jaguari Mirim, prever através de equação de ajuste linear, a vazão mínima anual de sete dias consecutivos em função do tempo de retorno e a vazão de referência, usada como parâmetro orientador de outorga de uso de água.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu é a nona Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) estabelecida pela lei 7663/91, que definiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos. Está localizada na região nordeste do Estado de São Paulo e sudoeste de Minas Gerais e é hidrologicamente dividida em seis compartimentos: Sul de Minas, Peixe, Jaguari Mirim, Alto Mogi, Médio Mogi Superior e Médio Mogi Inferior. O compartimento da bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim, abrange áreas territoriais de nove municípios paulistas: Aguaí, Águas da Prata, Casa Branca, Espírito Santo do Pinhal, Pirassununga, Santa Cruz das Palmeiras, Santo Antônio do Jardim, São João da Boa Vista e Vargem Grande do Sul, e os municípios de Andradas e Ibitiúra em Minas Gerais. O mapa da figura 1 mostra a bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim.

O levantamento temático Cartas do Brasil, realizado pelo IBGE (1972) na escala 1:50.000, registra que até o ponto de medição de vazão considerado no estudo, o rio Jaguari Mirim, recebe em sua margem direita os principais afluentes: Córrego da Água Limpa, Córrego da Farinha, Córrego do Tanque (folha de Santa Rita de Caldas), Ribeirão Pirapetinga, Córrego do Retirinho,

Ribeirão dos Cocais, Ribeirão do Macuco, Córrego da Cachoeira (folha de Pinhal) e o Córrego da Bomba (folha de São João da Boa Vista). Em sua margem esquerda recebe : Ribeirão dos Porcos, Córrego do Pinhalzinho (folha de Santa Rita de Caldas), Ribeirão da Prata, Córrego da Cachoeira, Córrego do Cambuí, Ribeirão São João, Ribeirão do Jaborandi, Ribeirão Santa Bárbara, Córrego José Elias (folha de Pinhal) e o Córrego dos Medeiros (folha de Aguai).

De acordo com Azevedo (2000) o rio Jaguari Mirim nasce no município de Ibitiúra, no Estado de Minas Gerais, percorre toda a periferia do planalto de Poços de Caldas, até o sul de Vargem Grande do Sul, desenvolvendo um arco muito nítido entre Andradas e São João da Boa Vista, quando muda sua direção de SE -NW para NW - SE e penetra nos terrenos sedimentares da Depressão Periférica, desaguardo no rio Mogi Guaçu, no município de Pirassununga. Portanto o médio vale do rio Jaguari Mirim compreende uma porção do rebordo ocidental da Serra da Mantiqueira e uma porção da Depressão Periférica Norte. Os municípios do vale alto do rio Jaguari Mirim se localizam no Estado de Minas Gerais, sendo Ibitiúra de Minas e Andradas, enquanto os municípios componentes do vale médio são : Santo Antonio do Jardim, São João da Boa Vista, Vargem Grande do Sul e Aguai, situados no Estado de São Paulo.

O trabalho foi feito com série de dados de vazão diária registrada durante o período de 1944 a 2002, em posto fluviométrico situado na zona urbana de São João da Boa Vista, coordenadas 21°58'45" de latitude e 46°48'23" de longitude (Codificado sob nº 61895000), abrangendo área de drenagem de 619 km² situada no trecho médio e alto do rio e disponibilizada pela Superintendência de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas - ANA. Foram excluídos da série de 54 anos, os dados dos anos que apresentaram falhas, série incompleta ou inconsistência. A série usada para elaboração do trabalho foi composta por 50 anos de vazão diária. Para cada ano foi selecionado um conjunto das menores vazões diárias agrupadas em sete dias consecutivos, sendo a sua média, a vazão mínima de sete dias.

A avaliação estatística dos dados de vazão do rio Jaguari Mirim, foi feita através da Distribuição de Extremos Tipo I e Distribuição de Extremos Tipo III, recomendadas por Haan (1979) e Lanna (1993) para vazões mínimas. Chow et al. (1988) e Lanna (1993), registram que o ajuste dos dados de vazão mínima ao modelo de probabilidade, é feito de

forma mais adequada através da teoria dos momentos.

Distribuição de Extremos Tipo I ou de Gumbel

A Distribuição de Extremos Tipo I ou de Gumbel para valores mínimos, representa a parte inferior dos dados (x) e trata dos valores menos freqüentes. A função acumulativa de probabilidade, é exponencial dupla, expressa por :

$$FCP : P [Y \geq y] = e^{-e^{-\alpha(y-\beta)}} \quad 1$$

Os dois primeiros momentos da distribuição, são representados pela média (x_m) e pela variância (σ^2), sendo calculados por :

$$E(Y) = \beta - 0,5772/\alpha = x_m \quad 2$$

$$VAR(Y) = \sigma^2 = \pi^2/(6\alpha^2) = 1,645/\alpha^2. \quad 3$$

O momento central de terceira ordem representa a assimetria da população de dados, é constante e igual a : $A(Y) = -1,1396$. O ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos é realizado pela solução do sistema de equações por meio da substituição de $E(Y)$ e $VAR(Y)$, por suas estimativas amostrais da média (x_m) e da variância (σ^2):

$$\alpha_{\text{estimado}} = 1,2826 / \sigma \quad 4$$

$$\beta_{\text{estimado}} = x_m + 0,451 \sigma \quad 5$$

O ajuste linear da equação 1 é dado pela equação 6, que permite a determinação dos valores de vazão mínima em função dos tempos de retorno :

$$y = Q_{7,Tr} = \beta_{\text{estim}} + \{(1/\alpha_{\text{estim}}) \ln [-\ln(1-1/T_R)]\} \quad 6$$

onde, y é o resultado esperado do evento analisado (vazão mínima) que poderá ocorrer em média uma vez em cada período de recorrência (T_R em anos), α e β são parâmetros de escala e de locação da distribuição, x_m é a média aritmética e σ é o desvio padrão dos dados da série.

Distribuição de Extremos Tipo III ou de Weibull

A Distribuição de Extremos Tipo III ou de Weibull para valores mínimos, representa a parte inferior dos dados (x) e trata dos valores menos freqüentes. A função acumulativa de probabilidade, também é exponencial dupla, sendo expressa por :

$$FCP : P [Y \geq y] = \exp - [(x - \gamma) / (\beta - \gamma)]^\alpha \quad 7$$

A função de probabilidade foi determinada pela equação :

$$P (Y \leq y) = 1 - \exp [- (x - \gamma) / (\beta - \gamma)]^\alpha \quad 8$$

Os dois primeiros momentos da distribuição, $E(Y)$ e $VAR(Y)$, são representados pela média (x_m) e pela variância (σ^2), sendo calculados por :

$$E(Y) = \gamma + (\beta - \gamma) \Gamma(1 + 1/\alpha) \quad 9$$

$$VAR(Y) = (\beta - \gamma)^2 [\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)] \quad 10$$

O momento central de terceira ordem representa a assimetria da população de dados e igual a $A(Y)$, sendo calculado pela equação :

$$A(Y) = [\Gamma(1 + 3/\alpha) - 3\Gamma(1 + 2/\alpha) \Gamma(1 + 1/\alpha) + 2 \Gamma^3(1 + 1/\alpha)] / [\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)]^{1.5} \quad 11$$

De acordo com Lanna (1993), o ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos é feito inicialmente com a obtenção da estimativa do parâmetro de escala (α ou λ), através de função que relaciona esse parâmetro com o coeficiente de variação (CV) dos dados da série e por meio de iterações consecutivas até se encontrar o real valor do parâmetro de escala (α), que deverá ser usado para determinação da assimetria da série de dados $A(Y)$. Com a aplicação do parâmetro de escala (α) na equação 9 (momento da média) e na equação 10 (momento da variância) é possível se obter o parâmetro relativo ao limite inferior dos valores mínimos (γ) e o parâmetro de localização (β), por substituição e manipulação matemática. A equação do coeficiente de variação da distribuição é :

$$CV = \{ [\Gamma(1 + 2/\alpha) / \Gamma^2(1 + 1/\alpha)] - 1 \}^{0.5} \quad 12$$

onde, Γ é a função gama.

O ajuste da equação 8 é obtido pela equação 13, que permite a determinação dos valores de vazão mínima de sete dias em função dos tempos de retorno :

$$y = Q_{7,Tr} = \gamma + (\beta - \gamma) [- \ln (1 - 1 / Tr)]^{1/\alpha} \quad 13$$

onde, y é o resultado esperado do evento analisado (vazão mínima) que poderá ocorrer em média uma vez em cada período de recorrência (T_R em anos), α

e β são parâmetros de escala e de localização da distribuição, e γ é o limite inferior dos valores mínimos.

Obtenção da vazão mínima a partir de regiões hidrológicas semelhantes

A vazão mínima anual de sete dias consecutivos também foi estimada através das vazões médias das mínimas anuais de um mês (vazão média de longo período) e dos parâmetros $C_{7,m}$ e X_T , conforme metodologia de regiões hidrológicas semelhantes, recomendada pela SRHSO do Estado de São Paulo (1994), sendo :

$$Q_7 = C_{7,m} \cdot Q_m \quad 14$$

$$Q_{7,m} = C_{7,m} \cdot X_T \cdot Q_m \quad 15$$

$$Q_{7,10} = X_T \cdot Q_7 \quad 16$$

onde, Q_7 é a vazão média das mínimas anuais de sete dias consecutivos, $Q_{7,m}$ é a vazão média das mínimas anuais de sete dias consecutivos com vários períodos de retorno, $C_{7,m}$ é um parâmetro definido para regiões hidrológicas semelhantes, X_T é um parâmetro relacionado com o tempo de retorno (T_R em anos) e Q_m é a vazão média das mínimas anuais de um mês, em longo período.

Determinação da vazão de referência

A SMA (1995) indica que a vazão de referência (Q_{REF}) representa o possível efeito de regularização nas vazões além da $Q_{7,10}$, devido à existência de reservatórios à montante e por meio de adequada operação, constitui o regime a ser usado para orientar a gestão do uso de água. A Lei 9034/94, estabelece que a vazão de referência (Q_{REF}) é o parâmetro que expressa o regime de vazão que deverá ser usado para orientar a outorga de uso de água e também para definir a disponibilidade hídrica superficial na bacia, devendo ser calculada pela equação :

$$Q_{REF} = Q_{7,10} + Q_{REG} + Q_{CM} \quad 17$$

onde, Q_{REG} é a vazão regularizada por reservatórios situados à montante do posto fluviométrico ou do ponto de referência e Q_{CM} são as vazões mínimas de subbacias não controladas existentes na bacia.

Tabela 1 - Vazão mínima anual de sete dias consecutivos (m^3/s) do rio Jaguari Mirim - série histórica de 50anos, entre 1944 a 2002.

| Anos | Vazão Mínima (m^3/s) | Anos | Vazão Mínima (m^3/s) | Anos | Vazão Mínima (m^3/s) | Anos | Vazão Mínima (m^3/s) | Anos | Vazão Mínima (m^3/s) |
|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|
| 1.944 | 2,37 | 1.961 | 2,47 | 1.971 | 3,09 | 1.982 | 4,78 | 1.993 | 3,93 |
| 1.945 | 3,37 | 1.962 | 3,52 | 1.972 | 4,06 | 1.984 | 2,71 | 1.994 | 2,07 |
| 1.946 | 1,76 | 1.963 | 2,38 | 1.973 | 2,97 | 1.985 | 2,39 | 1.995 | 2,45 |
| 1.947 | 4,83 | 1.964 | 1,71 | 1.974 | 2,56 | 1.986 | 2,67 | 1.996 | 4,96 |
| 1.948 | 3,60 | 1.965 | 3,35 | 1.975 | 1,50 | 1.987 | 3,52 | 1.997 | 3,21 |
| 1.949 | 2,97 | 1.966 | 3,19 | 1.977 | 3,73 | 1.988 | 2,85 | 1.998 | 3,23 |
| 1.950 | 2,69 | 1.967 | 2,88 | 1.978 | 1,83 | 1.989 | 3,39 | 1.999 | 2,15 |
| 1.951 | 2,58 | 1.968 | 1,49 | 1.979 | 4,60 | 1.990 | 3,19 | 2.000 | 2,66 |
| 1.959 | 3,73 | 1.969 | 1,07 | 1.980 | 4,62 | 1.991 | 2,69 | 2.001 | 1,86 |
| 1.960 | 2,96 | 1.970 | 3,31 | 1.981 | 2,97 | 1.992 | 4,46 | 2.002 | 1,38 |

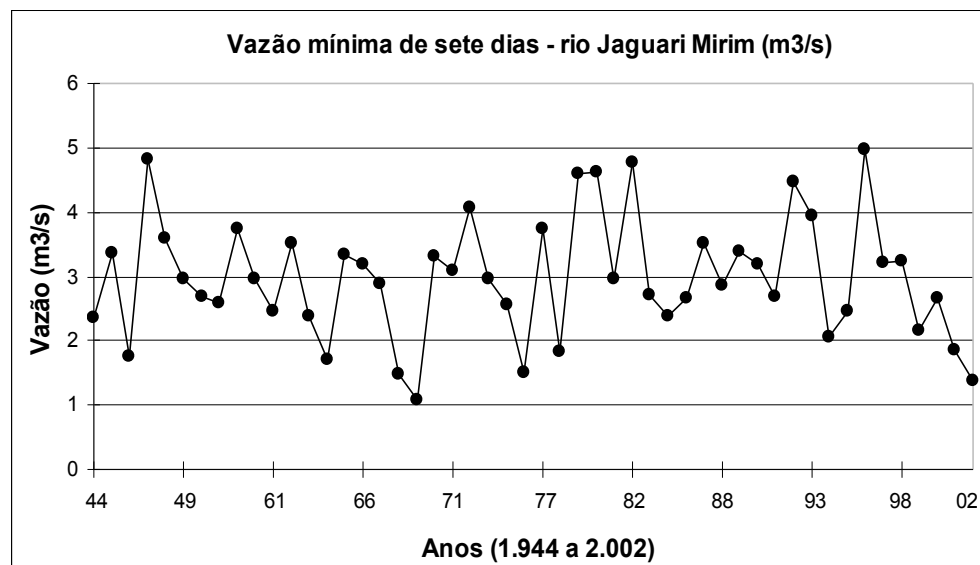


Figura 2 - Variação da vazão mínima anual de sete dias do rio Jaguari Mirim

Devido a inexistência de grandes reservatórios e de subbacias não controladas ao longo do curso do rio Jaguari Mirim, foi considerado que $Q_{CM} = 0$ e, $Q_{REG} = 0$, resultando em :

$$Q_{REF} = Q_{7,10} \quad 18$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra as vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos, obtidas a partir da série com 50 anos de dados de vazão mínima diária do rio Jaguari Mirim, no período de 1944 a 2002.

Observa-se que a vazão mínima de sete dias de maior valor ($Q_7 = 4,96 \text{ m}^3/\text{s}$) foi registrada durante o ano de 1996 enquanto a vazão mínima de sete dias de menor valor ($Q_7 = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$) foi constatada em 1969. No ano de 2002 a vazão mínima de sete dias registrada foi de $1,38 \text{ m}^3/\text{s}$, a segunda mais baixa da série.

Variação temporal dos dados de vazão mínima

A figura 2, mostra a variação temporal dos dados de vazão mínima de sete dias no período de 1944 a 2002, registrando a ocorrência de duas

seqüências (1965 a 1969) e (1996 a 2002) onde os registros das vazões mínimas de sete dias durante cinco a sete anos foram decrescentes chegando a atingir os valores mais baixos da série : 1,07 e 1,38 m³/s. É provável que o comportamento decrescente observado nos últimos sete anos (1996 a 2002) já esteja mostrando o aumento do uso de água na bacia.

Determinação da vazão mínima de sete dias – médio rio Jaguari Mirim

Determinação dos parâmetros estatísticos básicos.

A aplicação da análise estatística básica à série de 50 anos de dados de vazão mínima de sete dias resultou : média aritmética (\bar{x}_m) de 2,9742 m³/s, variância (σ^2) de 0,8830 m³/s, desvio padrão (σ) de 0,9397 m³/s e coeficiente de variação (CV) de 0,3159.

Vazão mínima de sete dias obtida através da Distribuição de Gumbel

Com os parâmetros estatísticos básicos obteve-se a estimativa amostral dos parâmetros de escala ($\alpha_{\text{estimado}} = 1,3649$) e de locação ($\beta_{\text{estimado}} = 3,3980$) da Distribuição de Extremos Tipo I. Com a substituindo desses dados na equação 6, foi possível obter-se a equação 19, que computada para períodos de retorno (T_R) de 1,1 anos e 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50 e 75 anos, resultou a tabela 2, que relaciona as vazões mínimas e os tempos de retorno :

$$y = Q_{7,T_R} = 3,3980 + 0,7327 \ln [-\ln (1 - 1/T_R)] \quad 19$$

A figura 3 mostra o gráfico e a equação resultante do ajuste dos dados da vazão mínima de sete dias aos tempos de retorno, obtidos da série de 50 anos, pela distribuição de extremos tipo I, aplicados em papel probabilístico de Gumbel. Os resultados da tabela 2 e figura 3, mostram que a vazão mínima anual de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) foi de 1,75 m³/s.

Vazão mínima de sete dias obtida pela Distribuição de Weibull

O valor real do parâmetro de escala (α), obtido através da equação 12 e com auxílio da função gama e de iterações matemáticas, foi igual a

3,504. A aplicação desse parâmetro nas expressões 9 e 10, resultou em um sistema de equações, resolvido matematicamente por meio de substituição, permitindo a obtenção do limite inferior dos valores das vazões mínimas ($\gamma = 0,0002$) e do parâmetro de locação ($\beta = 3,3053$) da distribuição de Weibull. O uso do parâmetro de escala na equação 11, permitiu também a obtenção do terceiro momento da distribuição, ou seja $A(Y) = 0,031636$.

A partir da definição dos valores do parâmetro de escala ($\alpha = 3,504$), parâmetro de locação ($\beta = 3,3053$) e do limite inferior das vazões mínimas ($\gamma = 0,0002$), foi então possível a montagem da equação para determinação dos valores de vazão mínima de sete dias em função dos tempos de retorno, representada pela expressão 20 :

$$y = Q_{7,T_R} = 0,0002 + 3.3051[-\ln (1 - 1 / T_R)]^{1/3,504} \quad 20$$

onde, y é o resultado esperado do evento analisado (vazão mínima de sete dias) que poderá ocorrer em média uma vez em cada período de recorrência (T_R em anos).

A solução da equação 20 para períodos de retorno (T_R) de 1,1 anos e 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50 e 75 anos, resultou a tabela 3, que relaciona as vazões mínimas e os tempos de retorno, obtidas pela distribuição de Weibull :

A figura 4 mostra o gráfico e a equação resultante do ajuste dos dados da vazão mínima de sete dias aos tempos de retorno, obtidos da série de 50 anos, pela Distribuição de Extremos Tipo III ou Distribuição de Weibull. Os resultados apresentados na tabela 3 e figura 4, mostram que a vazão mínima anual de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) foi de 1,74 m³/s. A figura 4 mostra também que a melhor aderência dos dados registrados na série de vazão mínima de sete dias à Distribuição de Weibull, permite uma previsão adequada e coerente com as vazões mínimas de sete dias consecutivos estudadas, principalmente nas extremidades da série de dados, fato não observado na distribuição de Gumbel.

Vazão mínima de sete dias obtida a partir de regiões semelhantes

A vazão mínima anual de sete dias consecutivos ($Q_{7,10}$) com período de retorno (T_R) de 10 anos, foi alternativamente calculada através das equações 14 e 16 sugeridas pela SRHSO (1994), tendo como parâmetros : $C_{7,m} = 0,8$ e $X_T = 0,689$, selecionados com base na localização da bacia do rio

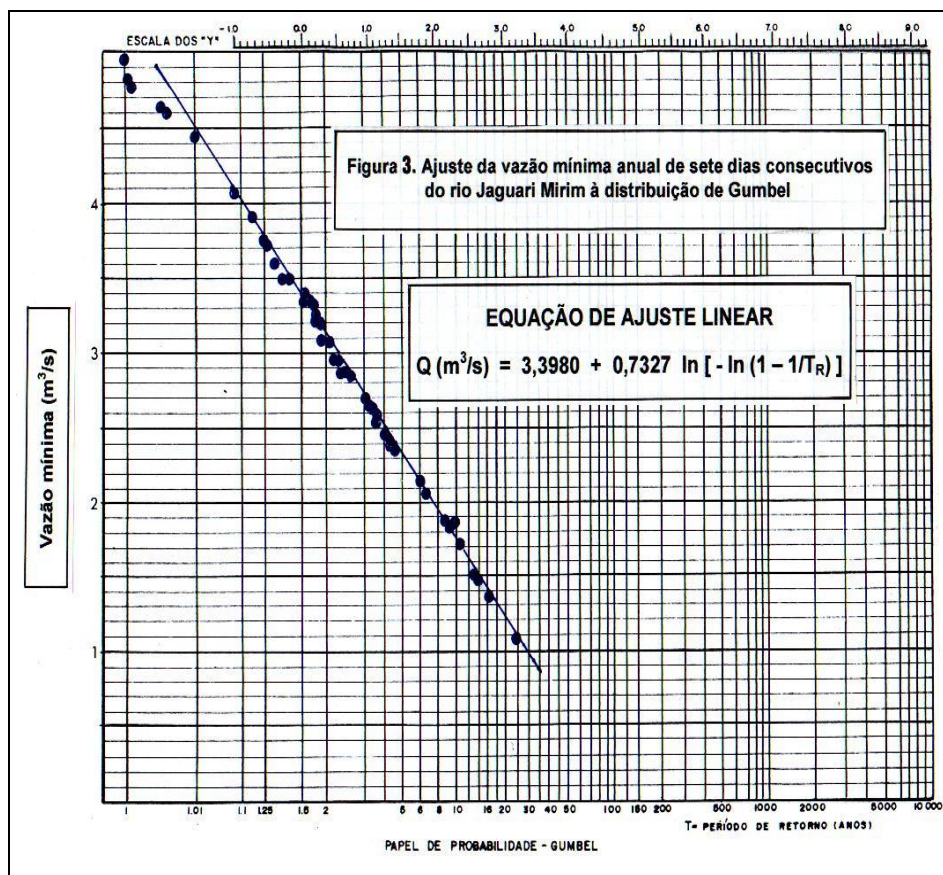


Tabela 2. Previsão da vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_7) para o rio Jaguarí Mirim (trecho médio). Distribuição de Gumbel.

| Parâmetros | Resultados | | | | | | | | |
|--------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T_R (anos) | 1,1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 40 | 50 | 75 |
| Q_7 (m³/s) | 4,04 | 3,13 | 2,30 | 1,75 | 1,44 | 1,22 | 0,70 | 0,54 | 0,24 |
| P (%) | 100 | 50 | 20 | 10 | 6,67 | 5 | 2,5 | 2 | 1,33 |

P = probabilidade de não-excedência da vazão mínima mensal (%)

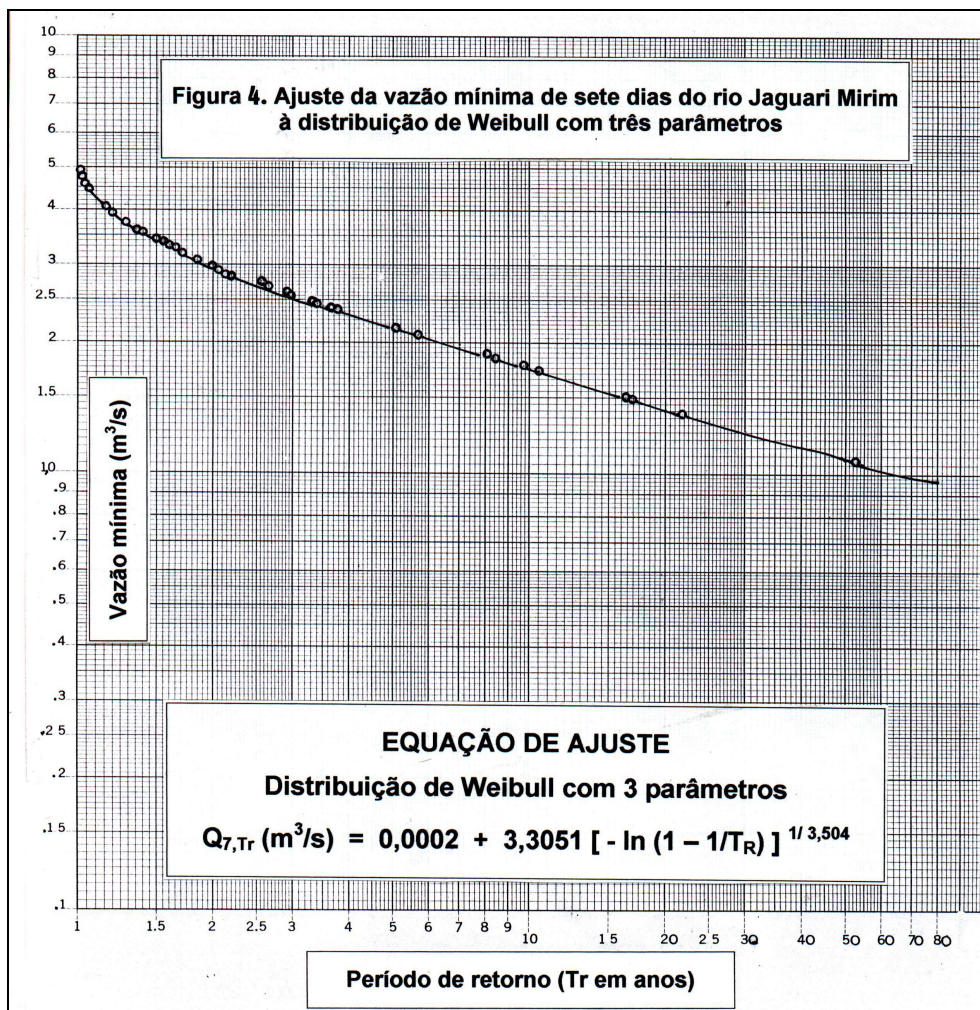
T_R = tempo de recorrência ou de retorno (anos)

Tabela 3. Previsão da vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_7) para o rio Jaguarí Mirim (trecho médio). Distribuição de Weibull.

| Parâmetros | Resultados | | | | | | | | |
|--------------|------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| T_R (anos) | 1,1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 40 | 50 | 75 |
| Q_7 (m³/s) | 4,242 | 2,974 | 2,154 | 1,74 | 1,541 | 1,416 | 1,158 | 1,085 | 0,97 |
| P (%) | 100 | 50 | 20 | 10 | 6,67 | 5 | 2,5 | 2 | 1,33 |

P = probabilidade de não-excedência da vazão mínima mensal (%)

T_R = tempo de recorrência ou de retorno (anos)



Jaguari Mirim em região hidrológica semelhante (N, Y), vazão média das mínimas anuais de um mês de longo período (Q_m de $3,7714 \text{ m}^3/\text{s}$) obtida por Leme (2002) e vazão média das mínimas anuais de sete dias de longo período (Q_7 de $2,9742 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo expressa na forma :

$$Q_{7,m} = C_{7,m} \cdot X_T \cdot Q_m$$

$$Q_{7,10} = 0,8 \cdot 0,689 \cdot 3,7714 \text{ m}^3/\text{s} = 2,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{7,10} = X_T \cdot Q_7$$

$$Q_{7,10} = 0,689 \cdot 2,9742 = 2,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Observa-se que as vazões $Q_{7,10}$, estimadas pelas equações 14 e 16, foram praticamente semelhantes e cerca de 18,86% e 17,14% maiores

que a vazão $Q_{7,10}$ de $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$, obtida através da distribuição de Gumbel e 19,54% e 17,82% maiores que a vazão $Q_{7,10}$ de $1,74 \text{ m}^3/\text{s}$, obtida através da distribuição de Weibull. É possível que os parâmetros $C_{7,m}$ e X_T , escolhidos com base nas regiões semelhantes recomendados pela SRHSO (1994) do Estado de São Paulo e usados no cálculo, tenham estimado as vazões $Q_{7,10}$ com maior valor. Aplicando-se as vazões mínimas de sete dias consecutivos para período de retorno de 10 anos obtidas nas distribuições de Gumbel e de Weibull ($Q_{7,10}$ de $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ e de $1,74 \text{ m}^3/\text{s}$), a vazão média das mínimas anuais de sete dias consecutivos (Q_7 de $2,9742 \text{ m}^3/\text{s}$), ambas determinadas na série de 50 anos, e a vazão média das mínimas anuais de um mês (Q_m de $3,7714 \text{ m}^3/\text{s}$), calculada em longo período por Leme (2003), nas equações 14 e 16, constatou-se :

$$C_{7,m} = Q_7 / Q_m = (2,9742 \text{ m}^3/\text{s} / 3,7714 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,7886$$

$$X_{(Tr=10\text{anos})} = Q_{7,10} \text{ (Gumbel)} / Q_7 = 0,5884$$

$$X_{(Tr=10\text{anos})} = Q_{7,10} \text{ (Weibull)} / Q_7 = 0,585$$

Esses valores de $C_{7,m} = 0,7886$, $X_{\text{Gumbel}} (Tr = 10\text{anos}) = 0,5884$ e $X_{\text{Weibull}} (Tr = 10\text{anos}) = 0,585$, calculados através dos dados de vazão mínima diária da série de 50 anos, são : 1,425% , 14,6% e 15,09% menores que os valores de $C_{7,m} = 0,8$ e de $X_{(Tr = 10\text{anos})} = 0,689$, obtidos na tabela de parâmetros regionais e nas figuras para seleção das regiões hidrológicas semelhantes apresentadas pela SRHSO (1994).

Vazão de referência para o médio rio Jaguari Mirim

A vazão de referência (Q_{REF}) no ponto de medição de vazão, foi determinada pelas equações 10 e 11, conforme estabelece a Lei 9034/94. Assim a vazão de referência foi igual a $Q_{7,10}$, obtida com os dados observados de vazão diária no referido posto fluviométrico, resultando :

$$Q_{\text{REF}} \text{ (Gumbel)} = Q_{7,10} = 1,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{REF}} \text{ (Weibull)} = Q_{7,10} = 1,74 \text{ m}^3/\text{s}$$

As vazões mínimas anuais de sete dias observadas no posto de medição, em 2.000, 2.001 e 2.002 foram de 2,66, 1,86 e 1,38 m^3/s . Consultando os dados de vazões diárias, observa-se que em 2001, ocorreram dois dias com vazão diária menor que a Q_{REF} , enquanto em 2002, ocorreram 18 dias com vazão menor que a Q_{REF} ou $Q_{7,10}$.

Vazão específica mínima para o médio rio Jaguari Mirim

A vazão específica mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos para as áreas situadas à montante do posto fluviométrico e que perfazem uma superfície de 619 km^2 , foi obtida com as vazões mínimas de sete dias consecutivos da série de 50 anos ($Q_{7,10}$) resultando :

$$Q_{\text{esp}} \text{ (Gumbel)} = (Q_{7,10} / \text{Area}) = 1,75 \text{ m}^3/\text{s} / 619 \text{ km}^2$$

$$Q_{\text{esp}} \text{ (Gumbel)} = 0,002827 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$$

$$Q_{\text{esp}} \text{ (Weibull)} = (Q_{7,10} / \text{Area}) = 1,74 \text{ m}^3/\text{s} / 619 \text{ km}^2$$

$$Q_{\text{esp}} \text{ (Weibull)} = 0,002811 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$$

O valor médio obtido da vazão específica mínima através da série de 50 anos (Q_{esp} de 0,0028 $\text{m}^3/\text{s.km}^2$) é 12,5% menor que os 0,0032 $\text{m}^3/\text{s.km}^2$ estabelecidos no II PERH para toda a bacia hidrográfica do rio, citado pela SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1995). É importante ressaltar que essa parte da bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim (trecho médio e alto) contém uma rede de drenagem natural mais densa, apresenta registros de uma maior precipitação pluviométrica anual e a existência de maior área vegetada, resultado da melhor preservação das matas nativas de terras altas e das matas ciliares. Tais aspectos deveriam contribuir para uma maior retenção de água, maior recarga da água subterrânea, gerando conseqüentemente uma maior vazão específica mínima.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se:

- A vazão mínima anual de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, determinada com dados do posto fluviométrico estudado situado no trecho médio do rio Jaguari Mirim e através das Distribuições de Weibull e Gumbel, foi de 1,74 e 1,75 m^3/s , correspondendo à vazão de referência.
- As vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos para o médio rio Jaguari Mirim, calculadas pela metodologia da SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO E OBRAS foram de 2,05 a 2,08 m^3/s , portanto em torno de 18 a 19% maior que a $Q_{7,10}$ obtida com os dados do posto fluviométrico estudado.
- A vazão específica mínima obtida nos trechos médio e alto da bacia hidrográfica do rio foi 0,0028 $\text{m}^3/\text{s.km}^2$.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, C.M.A. *A decisão de preservar : a mata ripária do rio Jaguari Mirim, SP. São Paulo* : Ed. Annablume , FAPESP. 2000, 106p.
- CHOW, V.T., MAIDEMENT, D.R. e MAYS, L.W. *Applied Hydrology*. Singapore : Ed. McGraw - Hill Company. 1988. 571 p.

- COMITÊ DE BACIA DO RIO MOGI-GUAÇU. *Plano da Bacia Hidrográfica do rio Mogi-Guaçu* (relatório preliminar). São Carlos : UFSCar. 2.002, 194p.
- HAAN, C.T. *Statiscal Methods in Hydrology*. Ames : Iowa State University Press. 1979. 378 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cartas do Brasil – escala 1:50.000*. Rio de Janeiro : Fundação IBGE, 1972.
- LANNA, A. E. Elementos de Hidrologia Estatística. In : TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia : ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre : Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e EDUSP. 1993. p. 79 -176.
- LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In : TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia : ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre : Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e EDUSP. 1993. p. 728-768.
- LEME, E. J. A. Recursos hídricos e saneamento ambiental em São João da Boa Vista - projeção para o ano 2.014. IN : SEMANA DA ÁGUA. São João da Boa Vista. *Palestra*. Delegacia Regional de Ensino. 2003, 78p.
- LEME, E. J. A. Hidrologia estatística da vazão mínima do rio Jaguari Mirim. *Revista Ecossistema*, v. 27, n.1, p.77 – 81, 2002.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SMA. *Macrozoneamento dos rios Mogi-Guaçu, Pardo e Médio Grande – questões sócio-ambientais regionais*. São Paulo : Governo do Estado de São Paulo, 1995. 168 p.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO E OBRAS - SRHSO. *Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*. São Paulo : Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1994. 64p.
- TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. In : TUCCI, C.E.M. (org.). *Hidrologia : ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre : Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e EDUSP, 1993. p. 573-619.

Minimum Flow in the Middle Valley of Jaguari Mirim River

ABSTRACT

The present study evaluates the seven-day annual minimum flow, in the middle Jaguari Mirim river, using a 50-year historical data series interpreted by the Type I and III Extreme Value Distributions (Gumbel and Weibull Distributions). The reference flow and specific flow were also computed. The results show that $Q_{7,10}$ and the reference flow were the same with the value from 1.74 to 1.75 m³/s. The minimum specific flow computed was 0.0028 m³/s.km².

Key-Words: $Q_{7,10}$, Q_{REF} , Jaguari Mirim River.