

# **HIDROLOGIA**

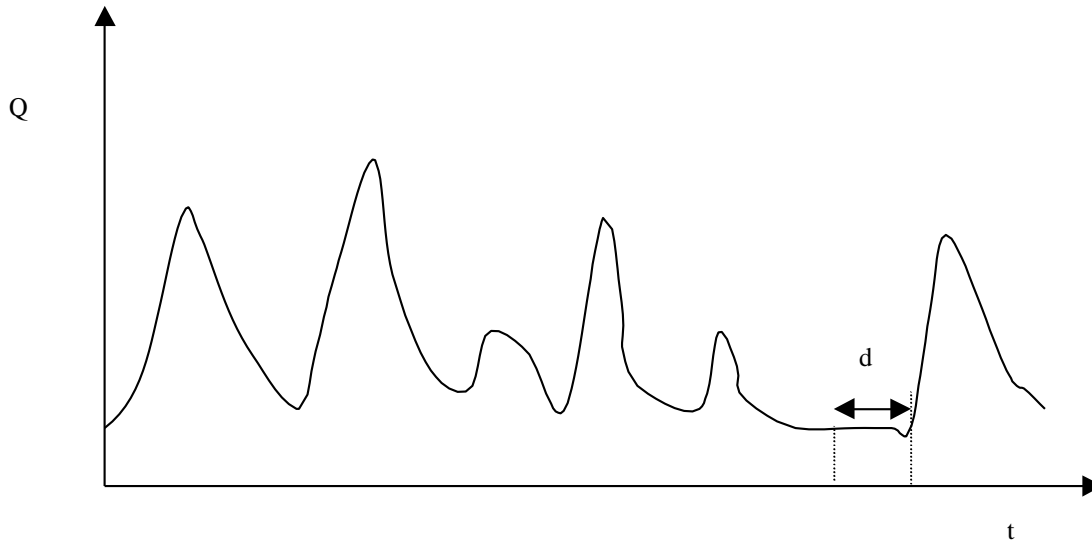
**Aula vazões mínimas de referência**

**Prof. Enoque**

# CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DA VAZÃO A SER OUTORGADA

⇒ A vazão mínima é caracterizada pela sua duração e frequência, sendo utilizada para os seguintes fins:

- avaliação da disponibilidade natural dos cursos d'água;
- avaliação da necessidade de regularização artificial;
- projetos de irrigação e de energia elétrica;
- navegação;
- estudos de qualidade da água; e
- concessão de uso da água para uma dada finalidade (outorgas).



⇒ Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima instantânea, que deve ser muito próxima da vazão mínima diária.

⇒ Durações maiores como 7 dias ou 30 dias apresentam maior interesse ao usuário já que a seqüência de vazões baixas é que representa um risco maior.

⇒ A vazão mínima de “n” dias consecutivos constitui-se na média dos “n” menores valores diários anuais. Os valores mais usuais de “n” são 1, 7, 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias.

⇒ A série de vazões mínimas para uma duração “d” é determinada com base na série de vazões diárias de um posto. Alguns cuidados especiais com esta série devem ser observados:

-na falta de um período de dados dentro da série não abandonar automaticamente o ano, verificando com base em postos vizinhos se o período de falha foi chuvoso;

-quando existem falhas no posto em estudo, pode-se preencher o dado com critérios baseados na correlação com outros postos vizinhos; e

-depois de um período muito chuvoso existe a chance da seção transversal de escoamento alterar (leito móvel) e as vazões mínimas subseqüentes, estimadas pela mesma curva-chave estarem erradas.

## Procedimento para a obtenção da $Q_{7,10}$

- 1) Obter a média dos “7” menores valores diários consecutivos de vazão para cada ano da série de dados ( $Q_7$ );
- 2) Estabelecer a série anual com o valor de  $Q_7$  para cada ano (Exemplo: caso determinado local apresente 30 anos de dados de vazão será obtido o valor de  $Q_7$  para cada ano e a série de dados para fins de obtenção da  $Q_{7,10}$  será constituída de 30 dados, sendo um para cada ano de observações);
- 3) Ajustar uma distribuição de probabilidade aos dados de vazões mínimas. As distribuições mais utilizadas para representar os eventos mínimos são: Weibull, Log-normal a 2 e 3 parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III).
- 4) Verificar a aderência por meio dos testes de Qui-quadrado e/ou Kolmogorov-Smirnov;
- 5) Selecionar a distribuição probabilística teórica com melhor ajuste aos dados de vazões mínimas com 7 dias de duração ( $Q_7$ );
- 6) Obter a  $Q_7$  correspondente ao período de retorno desejado (caso se use período de retorno de 10 anos obter-se-á, por conseqüência, a  $Q_{7,10}$ ).

Série de vazões mínimas de 7 dias de duração ( $Q_7$ ), em  $m^3/s$ , para a estação de Nanuque-MG

<b>Ano</b>	<b><math>Q_7</math></b>	<b>Ano</b>	<b><math>Q_7</math></b>	<b>Ano</b>	<b><math>Q_7</math></b>
<b>1943</b>	40,529	<b>1962</b>	23,929	<b>1980</b>	36,829
<b>1944</b>	41,886	<b>1963</b>	8,793	<b>1981</b>	50,000
<b>1945</b>	65,200	<b>1964</b>	40,214	<b>1982</b>	32,929
<b>1946</b>	39,914	<b>1965</b>	39,157	<b>1983</b>	52,286
<b>1947</b>	27,357	<b>1966</b>	-	<b>1984</b>	43,214
<b>1948</b>	23,929	<b>1967</b>	-	<b>1985</b>	58,400
<b>1949</b>	37,043	<b>1968</b>	4,614	<b>1986</b>	23,571
<b>1950</b>	27,114	<b>1969</b>	-	<b>1987</b>	11,714
<b>1951</b>	9,379	<b>1970</b>	-	<b>1988</b>	10,389
<b>1952</b>	25,857	<b>1971</b>	36,157	<b>1989</b>	10,520
<b>1953</b>	21,714	<b>1972</b>	28,157	<b>1990</b>	19,300
<b>1954</b>	16,786	<b>1973</b>	23,914	<b>1991</b>	33,343
<b>1955</b>	14,100	<b>1974</b>	28,457	<b>1992</b>	59,429
<b>1956</b>	18,300	<b>1975</b>	25,171	<b>1993</b>	35,486
<b>1957</b>	53,757	<b>1976</b>	14,200	<b>1994</b>	22,543
<b>1958</b>	45,129	<b>1977</b>	24,600	<b>1995</b>	13,843
<b>1959</b>	23,900	<b>1978</b>	60,014	<b>1996</b>	13,814
<b>1960</b>	43,700	<b>1979</b>	69,643	<b>1997</b>	15,257
<b>1961</b>	21,029			<b>1998</b>	-

Vazões mínimas de 7 dias de duração, em m<sup>3</sup>/s, correspondentes a diferentes períodos de retorno e distribuições probabilísticas teóricas

T (anos)	Distribuições Probabilísticas		
	Weibull	Pearson III	Log normal-2
2	26,589	26,402	25,709
5	13,309	13,879	15,467
<b>10</b>	<b>8,840</b>	<b>9,408</b>	<b>11,859</b>
20	6,284	6,620	9,523
50	4,419	4,321	7,440
100	3,636	3,213	6,311

⇒  $Q_{7,10}$  apresentou valores de 8,84; 9,408 e 11,859 para as distribuições de Weibull, Pearson III e Log-normal a 2 parâmetros, respectivamente.

⇒ Quanto maior o período de retorno menor será o valor da vazão mínima com 7 dias de duração.

⇒ **ANÁLISE DE FREQUÊNCIA**: maneira mais simples para obtenção do valor de vazão mínima associada a um determinado período de retorno como, por exemplo, a  $Q_{7,10}$

⇒ Para se efetuar a análise de frequência o período de retorno a ser analisado tem que ser bem menor do que o número de anos de dados da série.

⇒ **Exemplo**: para a estação localizada em Nanuque-MG, que possui 51 anos de dados, caso se queira obter a  $Q_{7,10}$ , que está associada a um período de retorno de 10 anos, a análise de frequência pode ser utilizada visto que o número de anos da série é bem maior que o período de retorno.

⇒ Para se determinar a frequência com que determinada vazão mínima ocorre deve-se ordenar os dados observados em ordem crescente e a cada um atribuir um número de ordem.

⇒ A frequência e o período de retorno podem ser obtidos pelas expressões:

$$F = \frac{m}{n + 1} \qquad T = \frac{1}{F}$$

F = frequência de ocorrência de um evento menor ou igual ao de ordem “m” numa amostra ordenada;

m = ordem do evento (número de ocorrências de vazão menor ou igual à do evento de ordem “m” em “n” anos);

n = número de anos de observação; e

T = tempo ou período de retorno (período de tempo médio, em anos, em que ocorre um evento menor ou igual ao de ordem “m”).



## Estimativa da $Q_{7,10}$ utilizando-se a análise de frequência

$Q_7$ ( m <sup>3</sup> /s)	Ordem “m”	F	T (anos)
4,614	1	0,019231	52
8,793	2	0,038462	26
9,379	3	0,057692	17,33
10,39	4	0,076923	13
<b>10,52</b>	<b>5</b>	<b>0,096154</b>	<b>10,4</b>
11,71	6	0,115385	8,67
13,81	7	0,134615	7,43
13,84	8	0,153846	6,5
14,1	9	0,173077	5,78
14,2	10	0,192308	5,2
15,26	11	0,211538	4,73
16,79	12	0,230769	4,33
....	....	....	....
59,43	48	0,923077	1,08
60,01	49	0,942308	1,06
65,2	50	0,961538	1,04
69,64	51	0,980769	1,02

**EXEMPLO:** Com base na série de dados de vazão mínima com 7 dias de duração ( $Q_7$ ), em L/s, apresentada a seguir, obtenha o valor da  $Q_{7,10}$  por meio da análise de frequência. Interprete o resultado obtido

<b>Ano</b>	<b><math>Q_7</math></b>	<b>Ano</b>	<b><math>Q_7</math></b>
<b>1980</b>	20	<b>1990</b>	22
<b>1981</b>	25	<b>1991</b>	24
<b>1982</b>	19	<b>1992</b>	19
<b>1983</b>	15	<b>1993</b>	19
<b>1984</b>	32	<b>1994</b>	26
<b>1985</b>	25	<b>1995</b>	27
<b>1986</b>	28	<b>1996</b>	18
<b>1987</b>	17	<b>1997</b>	17
<b>1988</b>	16	<b>1998</b>	23
<b>1989</b>	13		

# Curva de Permanência

- ⇒ função hidrológica muito utilizada em estudos hidrelétricos, navegação, qualidade da água, entre outros.
- ⇒ obtida da frequência de ocorrência das vazões em determinado curso d'água, retratando a porcentagem de tempo em que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante um período de observações.
- ⇒ Indicada quando se deseja conhecer a permanência no tempo de determinados valores de vazão.
- ⇒ Permite visualizar, de imediato, a potencialidade natural do curso d'água, destacando-se a vazão mínima e o grau de permanência para qualquer valor da vazão.
- ⇒ Esta curva pode ser estabelecida baseando-se em valores diários, semanais, mensais ou anuais. Quanto menor o período maior será a precisão da curva. A série mínima de dados para a obtenção da curva é de 5 anos.

# Procedimento para a obtenção da Curva de Permanência

1) Definir os “n” intervalos de classe das vazões (preferencialmente vazões diárias):

-Normalmente adota-se um número fixo de 50 intervalos de classe;

-A sub-divisão de cada intervalo geralmente é baseada na escala logarítmica devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas.

2) Calcular o intervalo de classe por:

$$\otimes = \frac{[\ln(Q_{mx}) - \ln(Q_{mi})]}{n}$$

$Q_{mx}$  = vazão máxima da série;  
 $Q_{mi}$  = vazão mínima da série; e  
 $n$  = número de intervalos escolhidos.

3) Calcular os limites dos intervalos, à partir de  $Q_{mi}$ , adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo i:

$$Q_{i+1} = \exp[\ln(Q_i) + \otimes]$$

4) Utilizando os dados de vazão da série histórica, determinar o número de vazões que é classificado em cada intervalo.

5) Determinar a frequência ( $f_i$ ) de cada intervalo por:

$$f_i = \frac{Nq_i}{NT} \cdot 100$$

$Nq_i$  = número de vazões de cada intervalo; e

$NT$  = número total de vazões.

⇒ As abscissas da curva de permanência são obtidas acumulando as frequências no sentido da maior vazão para a menor e as ordenadas são o valor do limite inferior de cada intervalo de classe.

## Vazões médias mensais, em m<sup>3</sup>/s, na Barragem do Rio Guarapiranga (Área de drenagem: 631 km<sup>2</sup>)

Anos	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>1928</b>	14,2	23,8	27,3	18,8	8,0	6,4	7,5	9,0	7,9	8,3	8,1	14,9
<b>1929</b>	41,1	<b>45,5</b>	29,2	11,7	22,8	11,5	11,1	10,6	13,4	10,0	14,3	33,2
<b>1930</b>	27,4	24,3	13,5	14,4	12,1	8,8	8,8	11,0	8,4	8,8	14,1	24,6
<b>1931</b>	24,1	29,0	21,6	11,3	9,4	8,6	5,8	8,9	13,5	14,0	8,8	22,8
<b>1932</b>	24,0	14,5	23,6	9,4	10,1	9,7	6,7	9,3	7,4	11,3	8,7	14,4
<b>1933</b>	13,2	9,7	9,0	6,2	5,5	6,8	6,0	<b>3,8</b>	7,2	9,1	6,0	9,0
<b>1934</b>	20,0	26,7	19,5	13,4	8,0	8,3	7,3	7,0	8,1	7,2	7,0	24,5
<b>1935</b>	12,8	26,6	16,3	11,8	7,2	10,2	8,9	8,3	15,8	18,3	11,4	12,2
<b>1936</b>	14,9	10,2	17,7	9,0	6,5	6,4	6,0	8,6	12,2	9,0	9,8	17,5
<b>1937</b>	22,9	23,6	11,5	21,5	18,5	11,1	7,0	9,8	7,7	12,6	19,7	11,1
<b>1938</b>	12,2	12,2	12,5	25,6	10,1	8,3	7,9	11,1	12,1	11,2	13,2	16,8
<b>1939</b>	16,9	11,1	8,9	8,5	7,4	5,7	5,3	4,3	5,4	4,6	12,7	14,5
<b>1940</b>	24,7	31,4	14,5	8,0	7,2	4,7	8,8	4,5	6,5	9,7	7,9	10,9
<b>1941</b>	10,2	9,2	11,9	7,8	5,7	4,3	5,9	6,4	10,8	10,3	14,2	13,0
<b>1942</b>	13,0	38,3	16,2	17,1	6,9	11,2	12,0	6,0	7,0	5,8	7,9	15,3

## Tabela para a determinação da frequência de ocorrência das vazões

<b>Intervalos de classes</b>	<b>Nq<sub>i</sub></b>	<b>f<sub>i</sub> (%)</b>	<b>f<sub>i</sub> acumulada (%)</b>
45,50 - 35,50	3	1,67	1,67
35,50 - 27,69	4	2,22	3,89
27,69 - 21,61	17	9,44	13,33
21,61 - 16,85	12	6,67	20,00
16,85 - 13,15	23	12,78	32,78
13,15 - 10,26	33	18,33	51,11
10,26 - 7,99	43	23,90	75,01
7,99 - 6,24	26	14,44	89,45
6,24 - 4,87	13	7,22	96,67
4,87 - 3,80	6	3,33	100,00

NT=180

⇒ Tabela: permite obter a permanência no tempo de determinados valores de vazão.

⇒ Quanto menor a permanência no tempo maiores serão os valores de vazão obtidos e quanto maior a permanência do tempo menores serão estes valores.

# CURVA DE PERMANÊNCIA OU DE DURAÇÃO

