



Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental



Universidade de São Paulo

**PHA 3307 –
HIDROLOGIA APLICADA**

Curva de Permanência

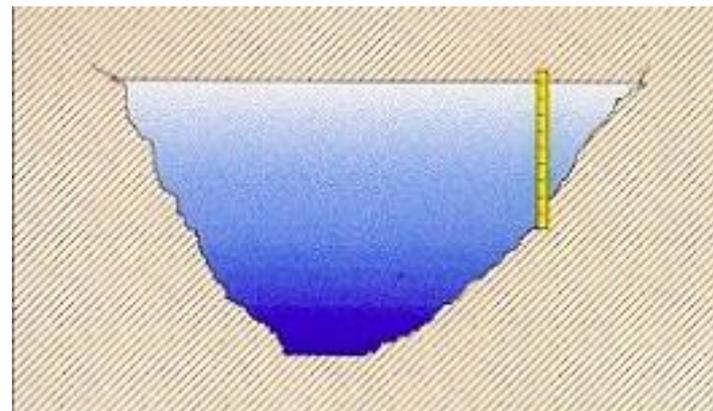
Aula 12

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mélo Jr.
Prof. Dr. Joaquin I. Bonnacarrere

LabSid

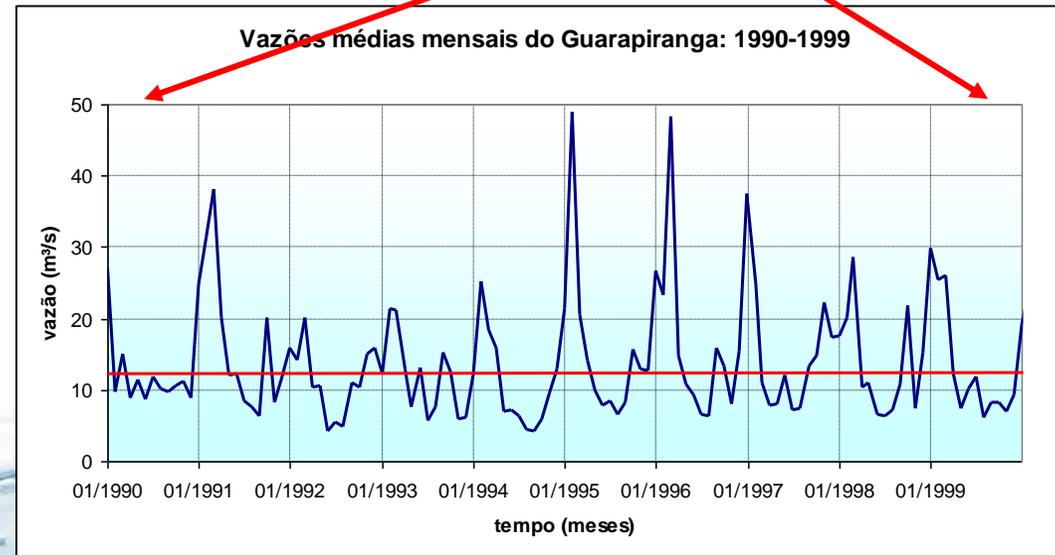
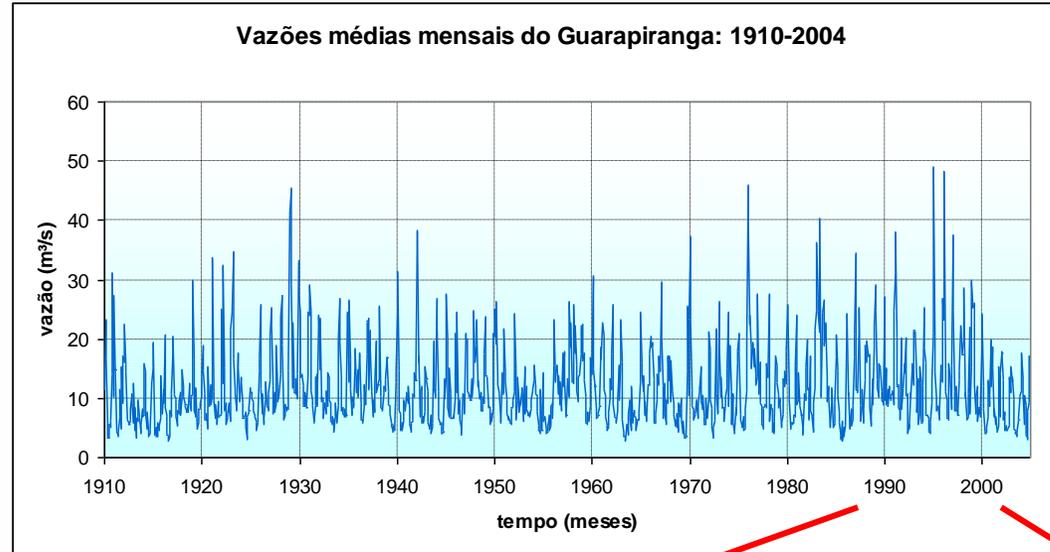
Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
Recursos Hídricos e Meio Ambiente

- Aprender a técnica da curva de permanência.
- Aplicar a técnica em casos práticos.

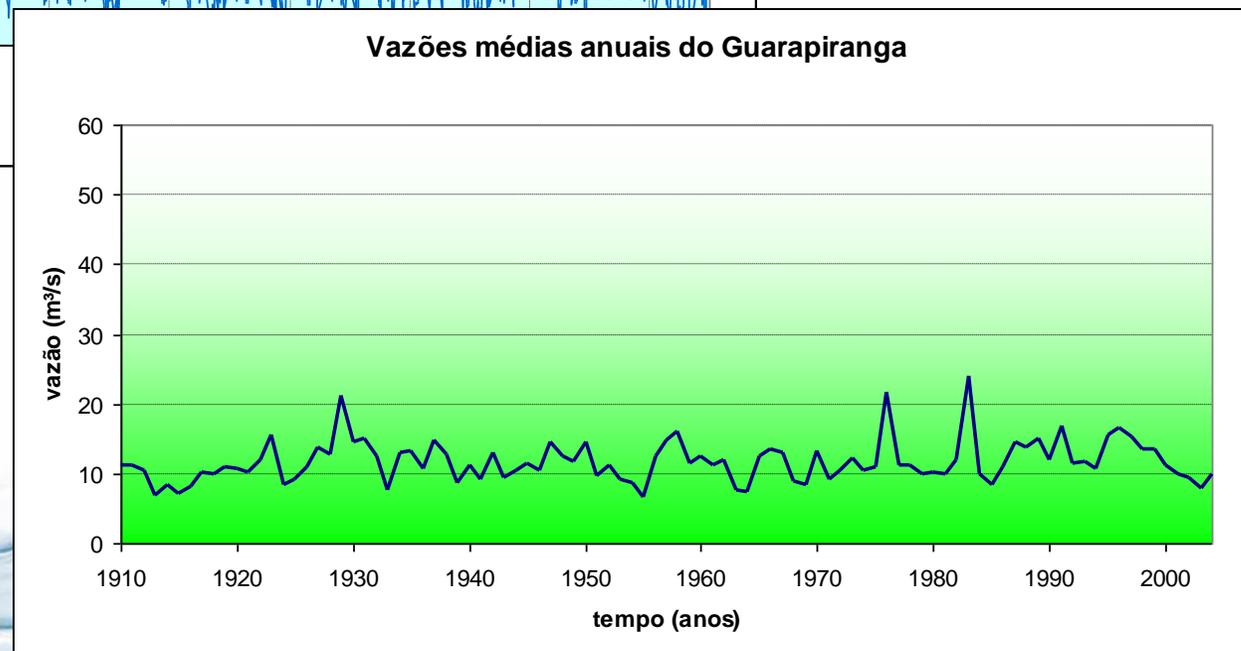
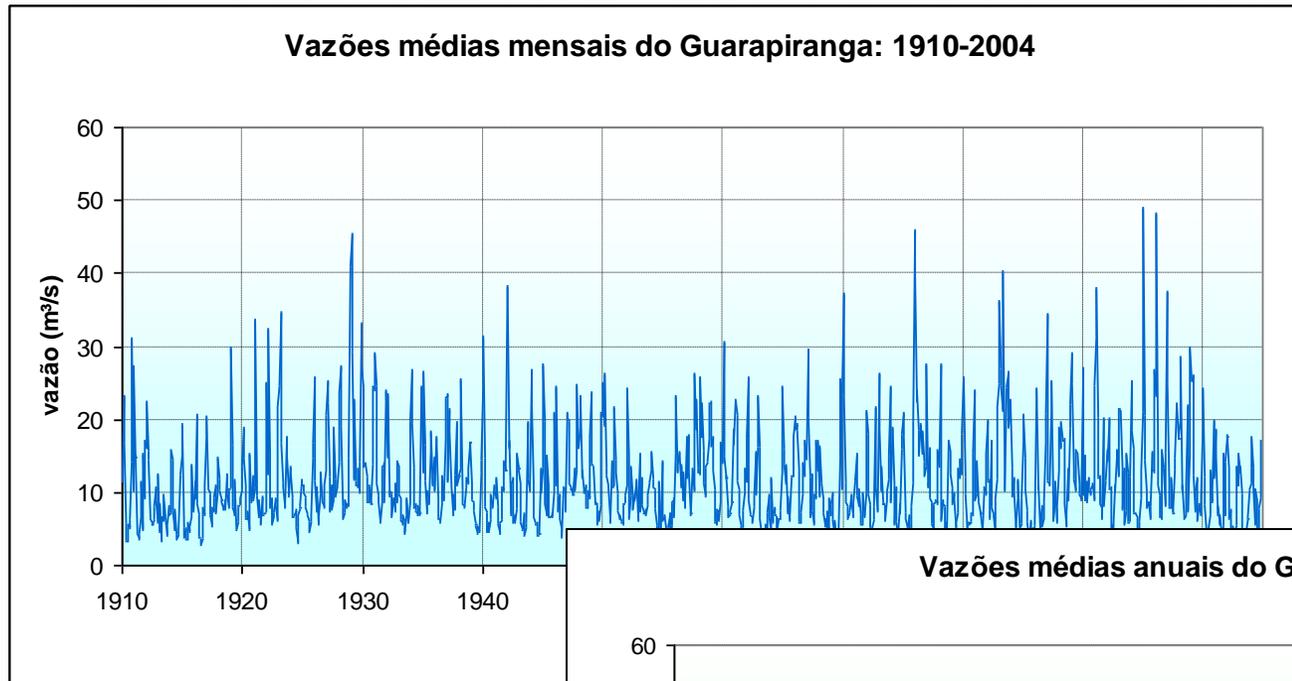


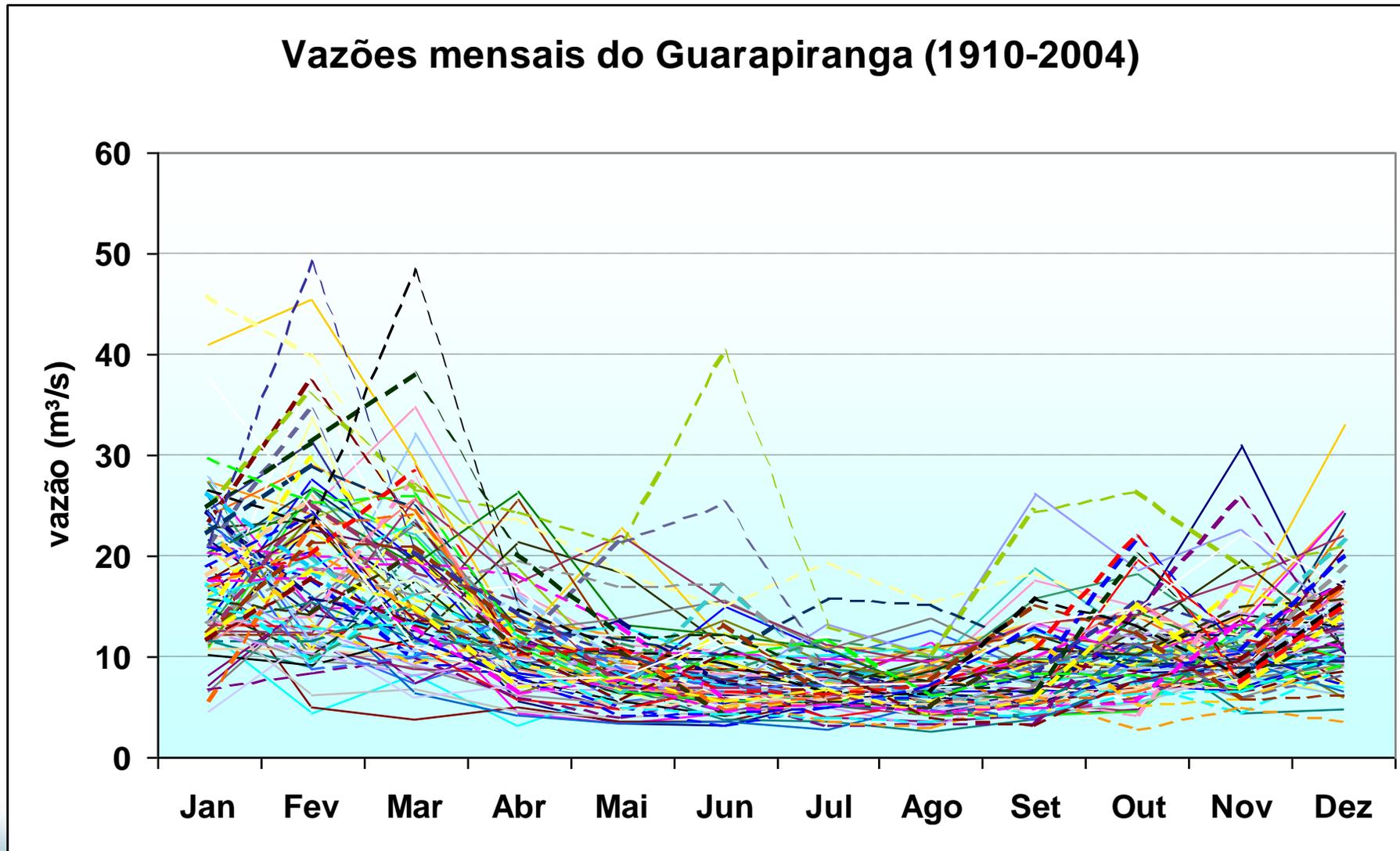
ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1910	11.4	23.3	16.7	5.7	3.4	3.2	5.6	5.1	6.3	14.2	31.1	10.2
1911	27.3	14.8	15.1	4.4	3.5	4.4	7.0	11.5	4.8	15.2	9.3	17.0
1912	16.2	22.4	15.7	14.2	6.4	5.5	5.7	6.5	8.2	10.8	8.9	6.0
2000	19.0	24.2	12.1	8.1	4.1	4.4	5.1	7.3	13.0	8.6	10.4	19.9
2001	12.0	18.5	15.1	6.9	8.1	5.5	6.8	4.4	5.5	15.3	6.8	14.3
2002	17.6	17.8	13.1	6.4	7.7	4.7	5.4	4.7	5.0	5.6	13.5	10.9
2003	15.2	12.8	13.5	9.6	5.0	4.4	4.0	3.6	4.4	6.3	6.5	10.4
2004	11.6	17.7	13.3	10.7	5.7	10.4	8.8	3.9	3.1	7.8	9.6	17.4
média	18.0	19.8	17.0	11.4	8.9	8.7	7.4	6.9	8.6	10.4	10.7	13.2
máxima	45.9	49.0	48.3	26.4	22.8	40.3	19.5	15.4	26.3	26.5	31.1	33.2
mínima	4.6	4.5	3.9	3.3	3.4	3.2	2.9	2.7	3.1	2.9	4.4	3.6

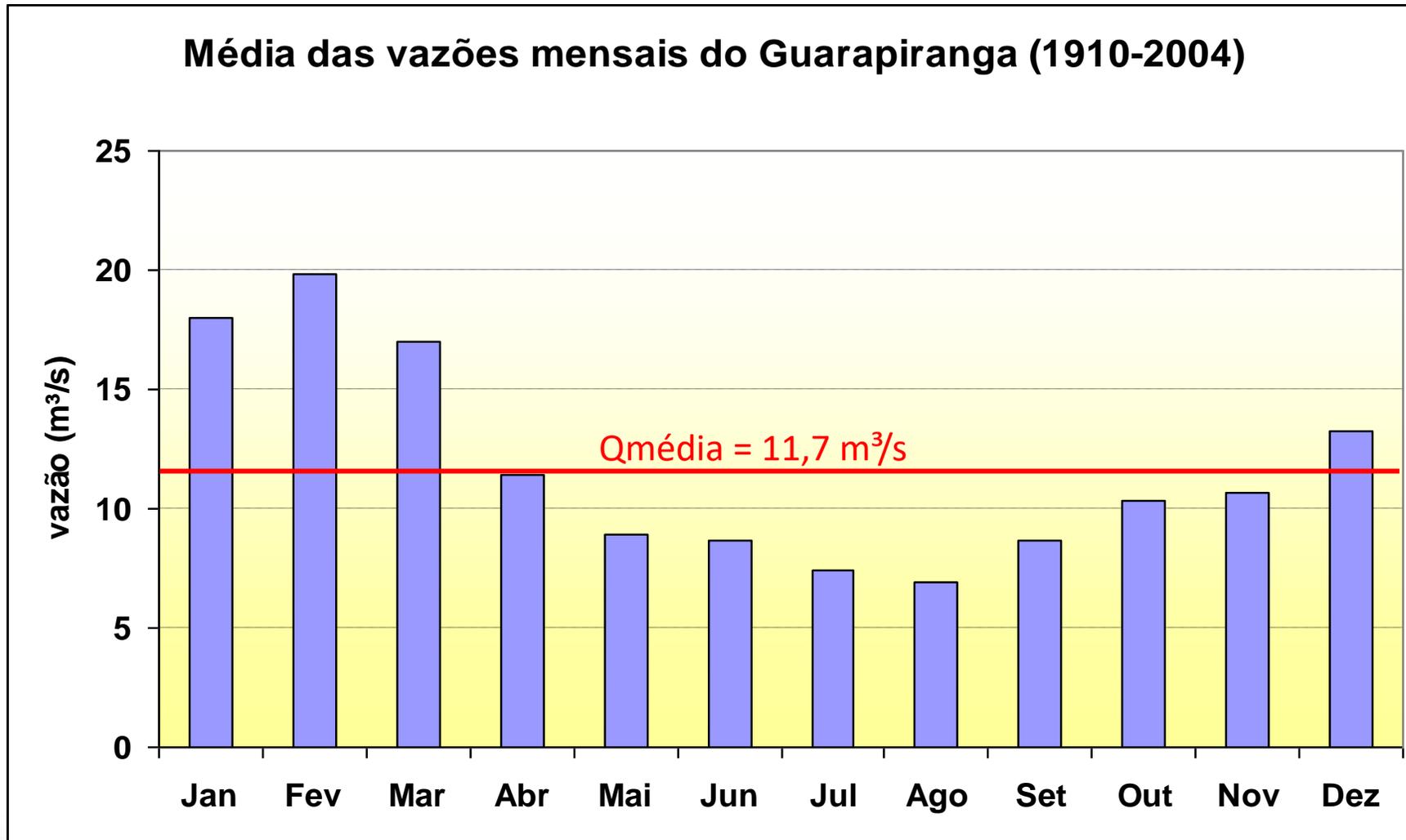
Visualização de Hidrogramas



Visualização de Hidrogramas

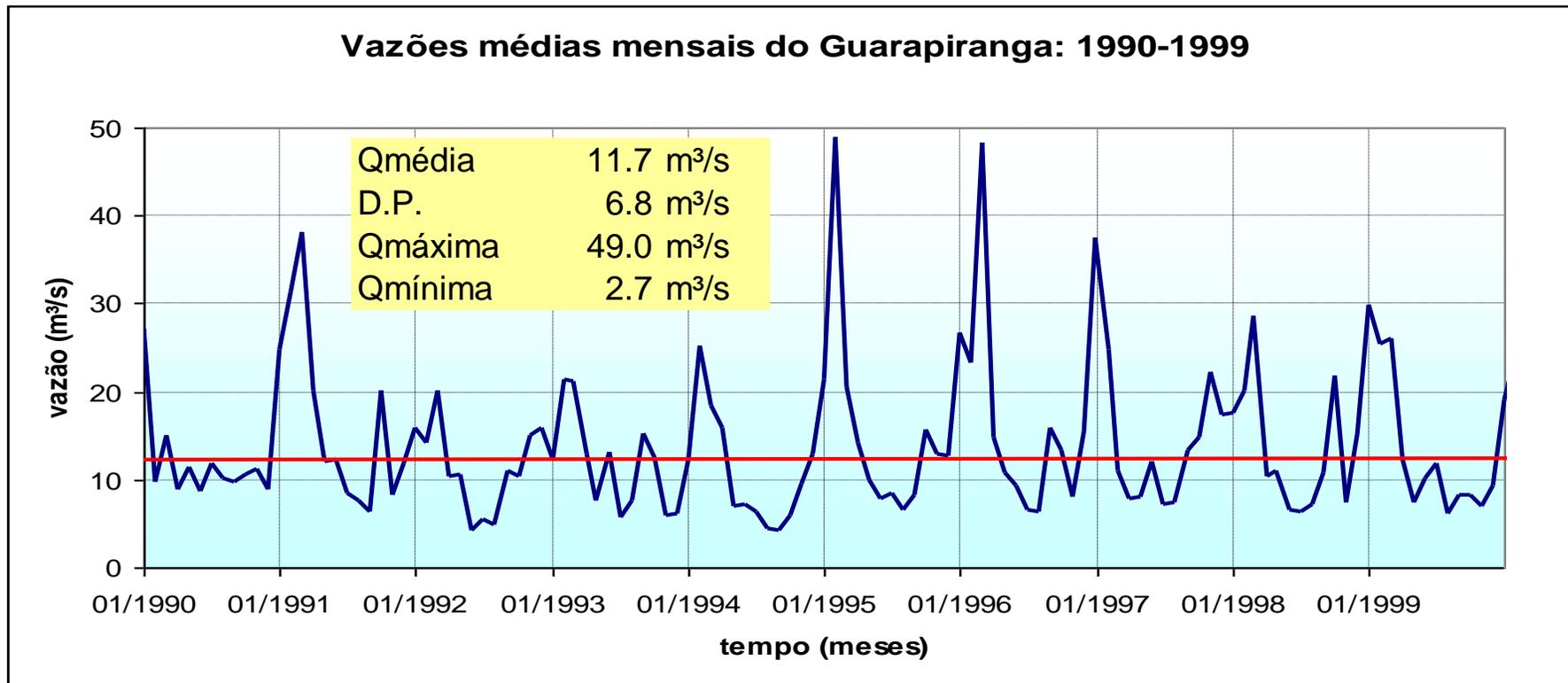




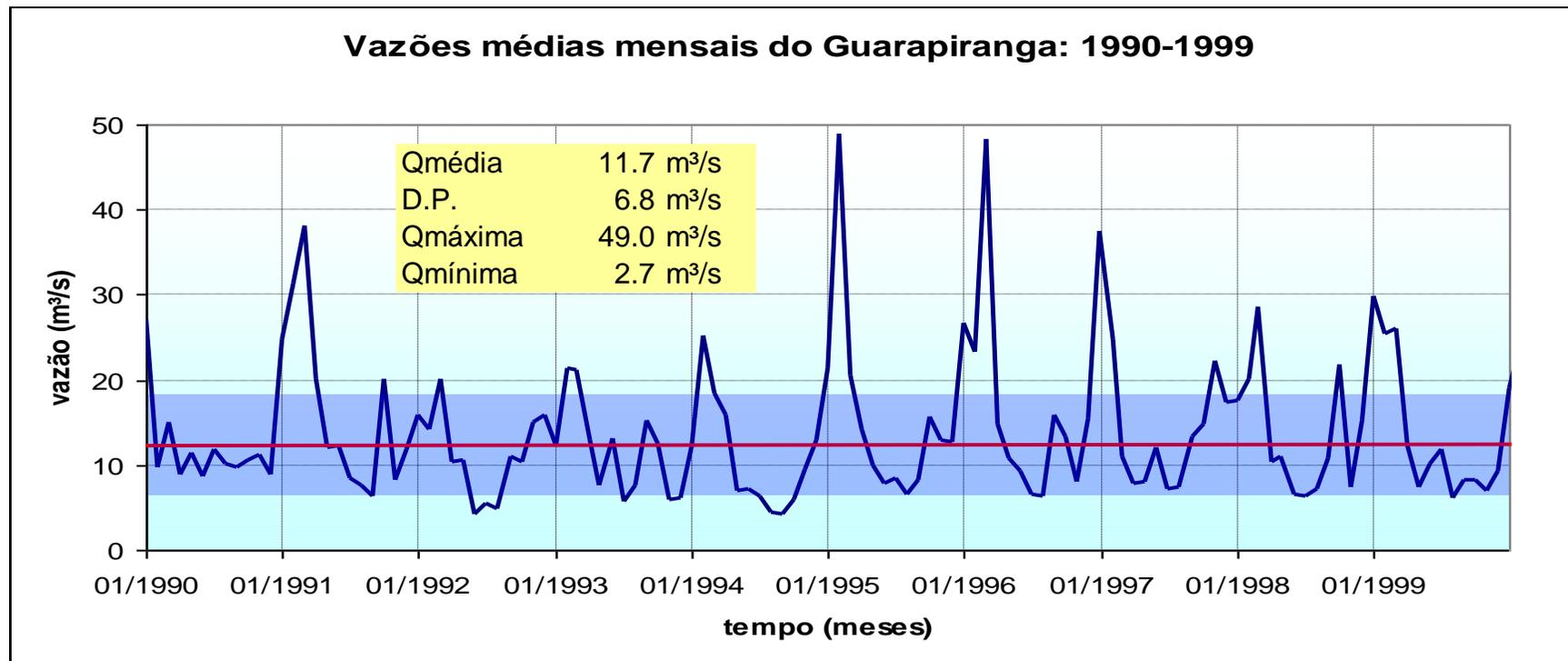


- As vazões são variáveis aleatórias no tempo.
- Sua variação normalmente apresenta alguma sazonalidade, mas os períodos não são fixos ao longo dos anos.
- Da mesma forma ocorre com as chuvas e os níveis d'água

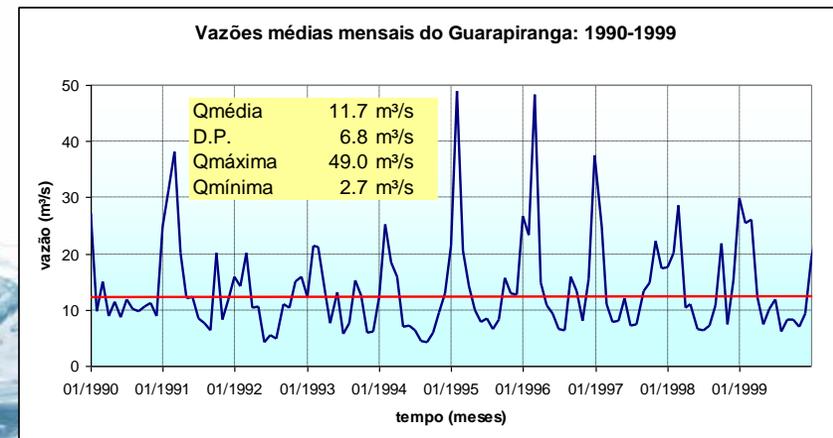
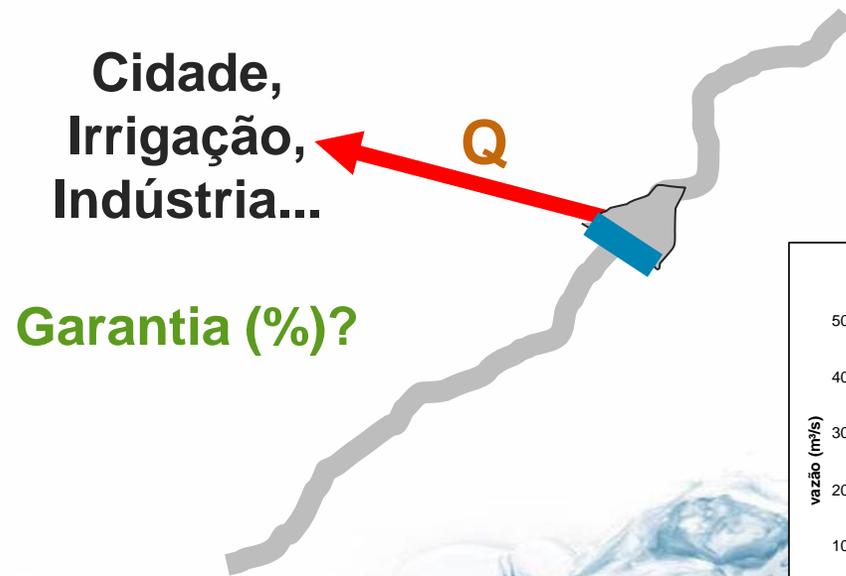
- O rio tem uma vazão aproximadamente constante ou muito variável?



- Qual é a porcentagem do tempo em que o rio apresenta vazões em determinada faixa?

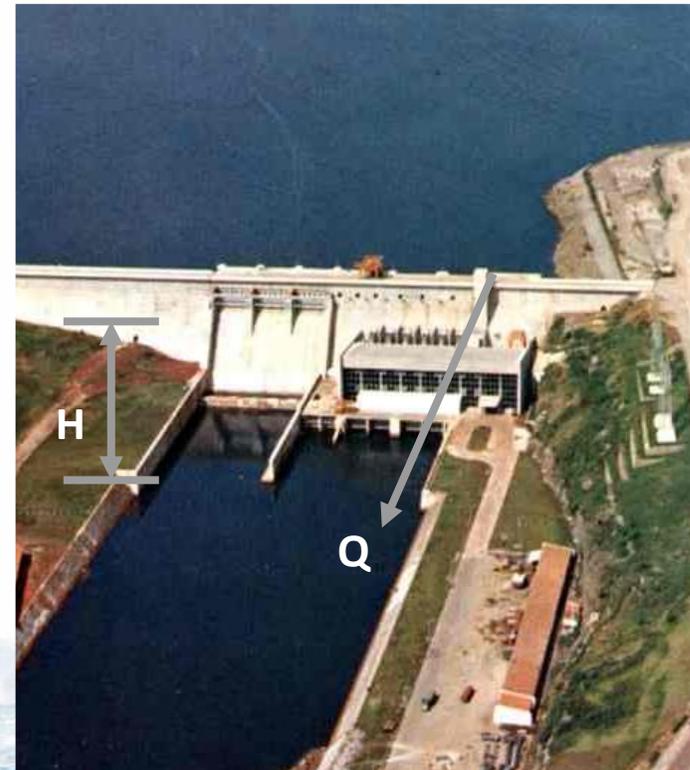


- Qual é a porcentagem do tempo em que um rio tem vazão suficiente para atender determinada demanda?



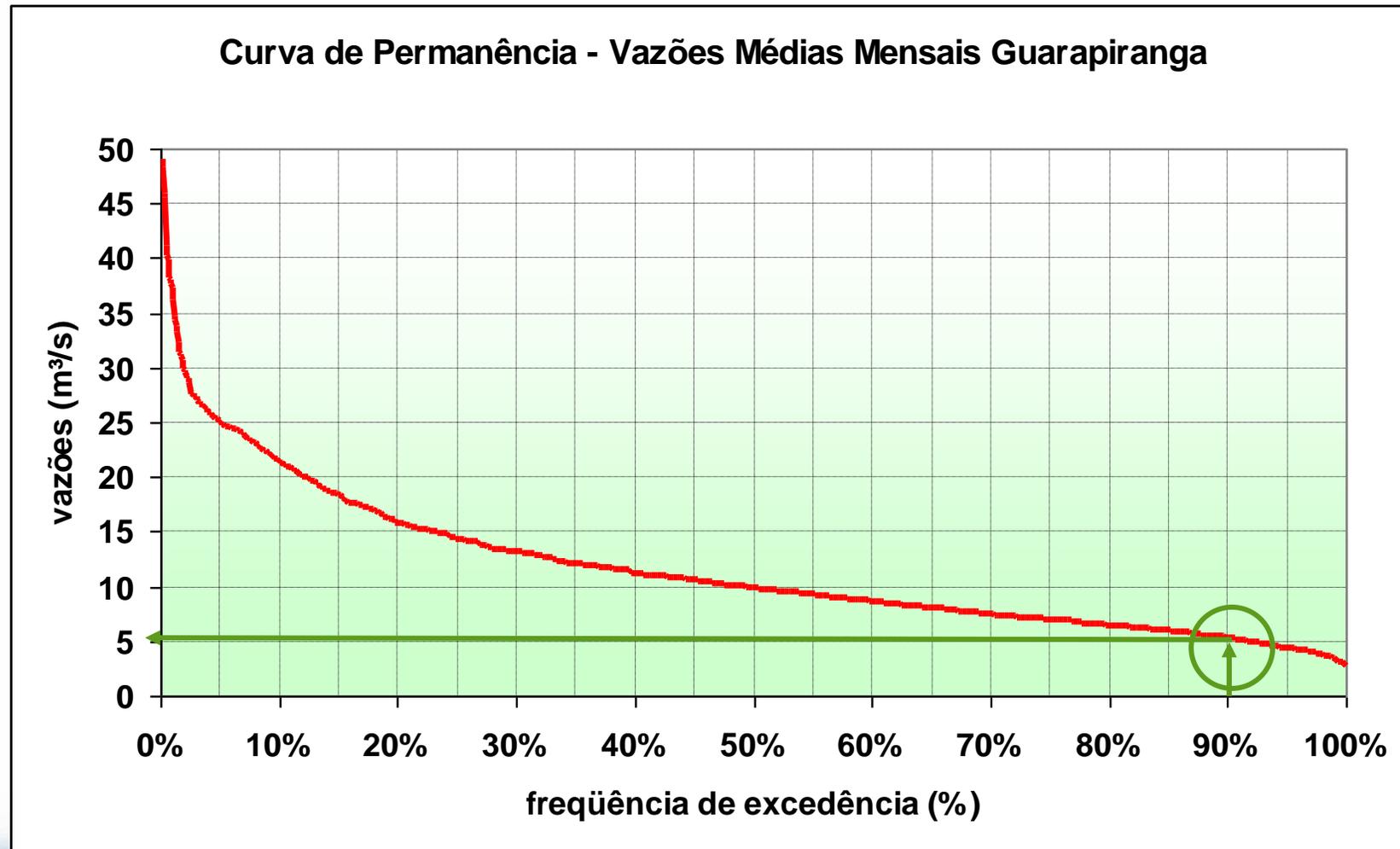
- Quanto de energia pode ser gerada durante uma determinada porcentagem do tempo ou qual é a potência mínima garantida em uma porcentagem do tempo?

Estas questões podem ser respondidas com o uso das **CURVAS DE DURAÇÃO** ou **CURVAS DE PERMANÊNCIA**

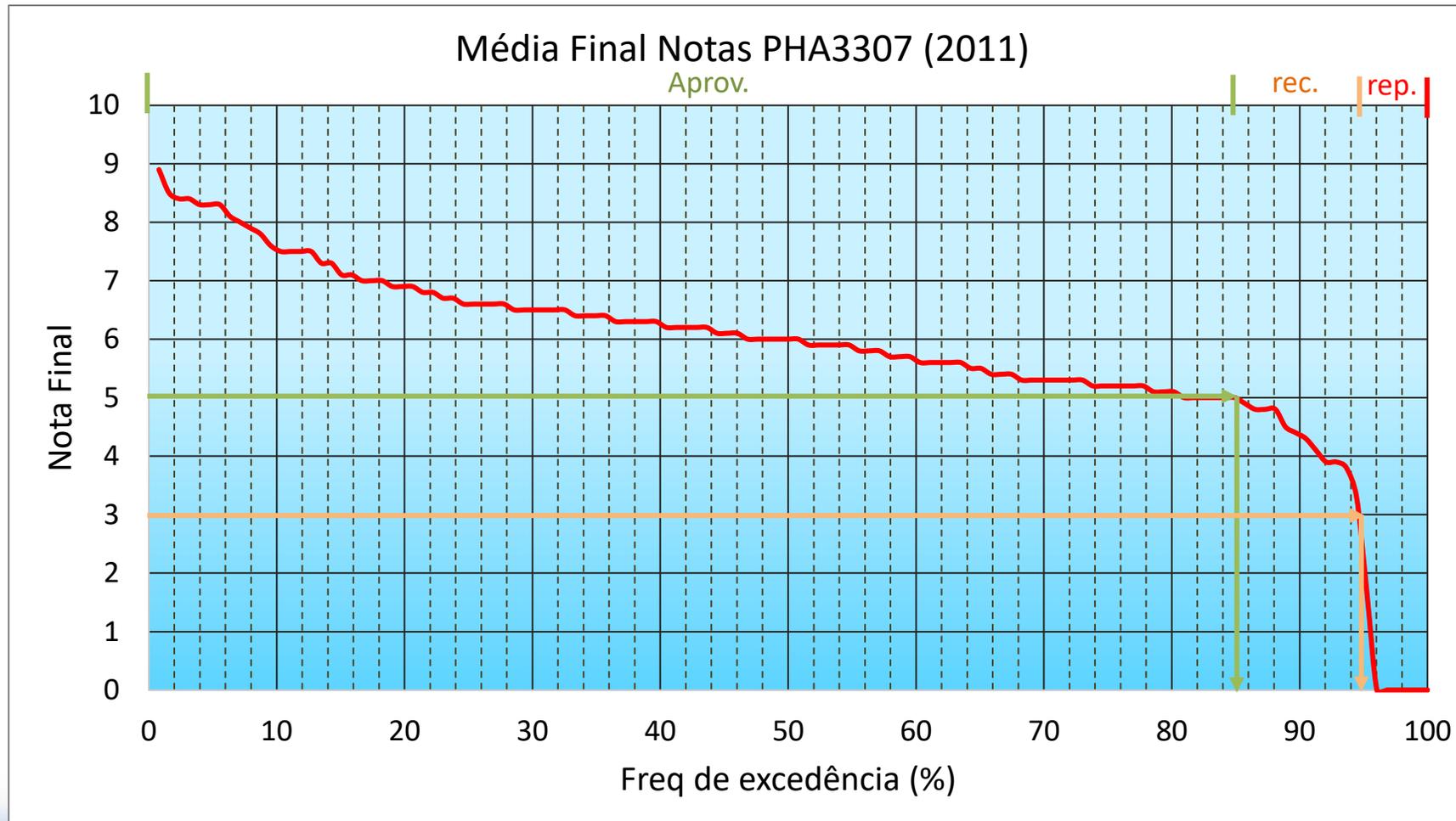


- A curva de permanência expressa a relação entre a vazão e a frequência com que esta vazão é superada ou igualada.
- A curva de permanência pode ser elaborada a partir de dados diários, mensais ou anuais de vazão.
- De forma geral, pode-se construir curvas de duração ou permanência para qualquer outra variável aleatória.

Exemplo: a vazão de 5,4 m³/s é igualada ou superada em 90% dos meses



Curva de Permanência

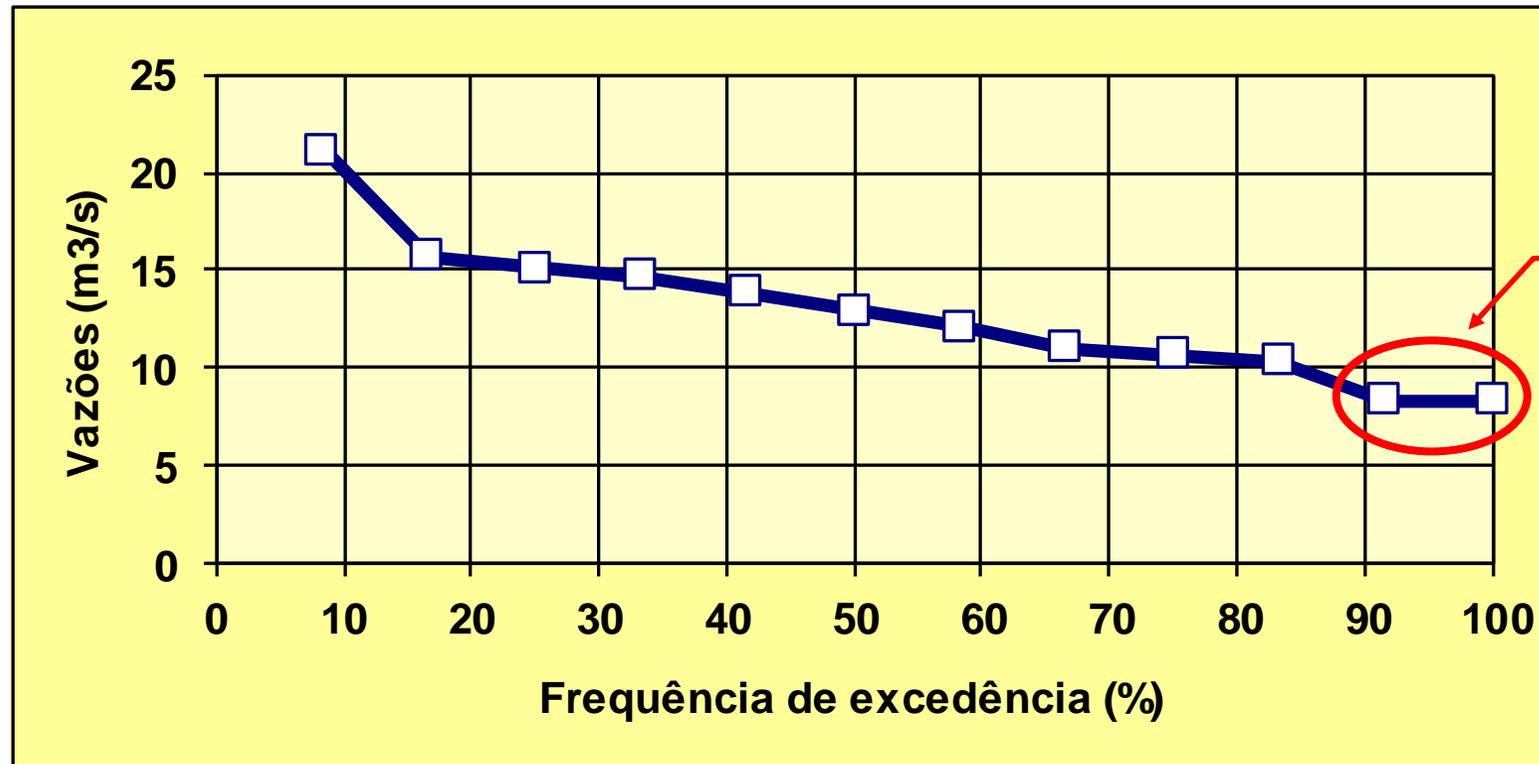


- Assume-se que as vazões sejam variáveis aleatórias contínuas. Assim, a probabilidade de sua ocorrência é igual ao inverso do número de valores da série histórica.
- Por exemplo, seja uma série de vazões médias anuais observadas em um período de N anos. A probabilidade de ocorrer a vazão Q_i observada no ano i é de $1/N$.

- Se a série observada for colocada em ordem decrescente de seus valores, pode-se dizer que a vazão máxima teve uma probabilidade de ser igualada ou superada (neste caso só igualada) de $1/N$.
- Da mesma forma, a segunda maior vazão da série teve uma probabilidade de ser igualada ou superada de $2/N$.
- De forma geral, a i -ésima maior vazão da série teve uma probabilidade de ser igualada ou superada de i/N .

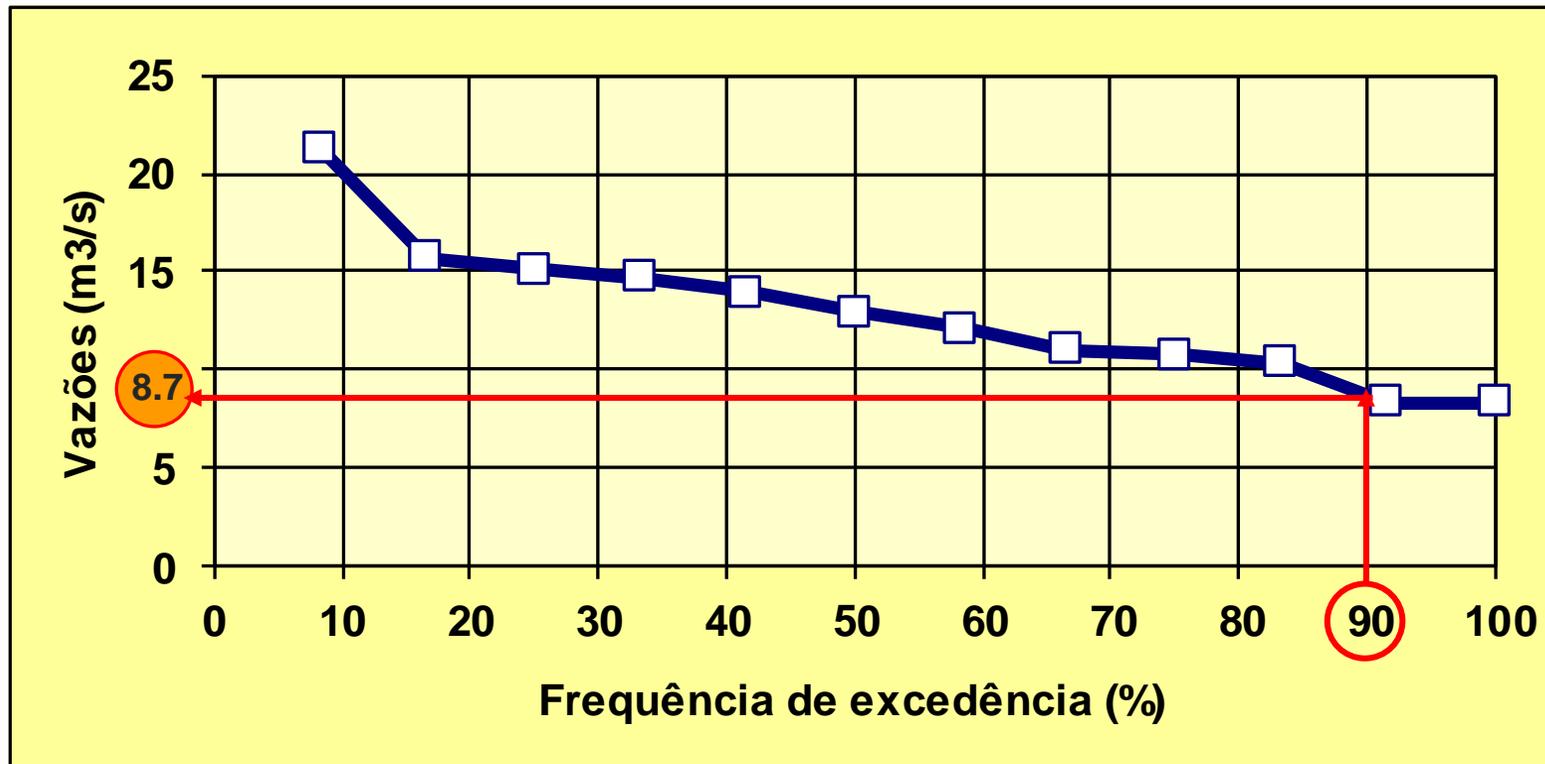
Seja dada uma série com 12 anos de dados de vazões médias anuais:

Ano	Vazão (m ³ /s)		Ordem	Vazão (m ³ /s)	Freq. Excedência (%)
1920	10.7		1	21.2	100/12
1921	10.3		2	15.7	200/12
1922	12.1		3	15.1	300/12
1923	15.7		4	14.7	400/12
1924	8.3		5	13.9	500/12
1925	8.3		6	12.9	600/12
1926	11.0		7	12.1	700/12
1927	13.9		8	11.0	800/12
1928	12.9		9	10.7	900/12
1929	21.2		10	10.3	1000/12
1930	14.7		11	8.3	1100/12
1931	15.1		12	8.3	1200/12

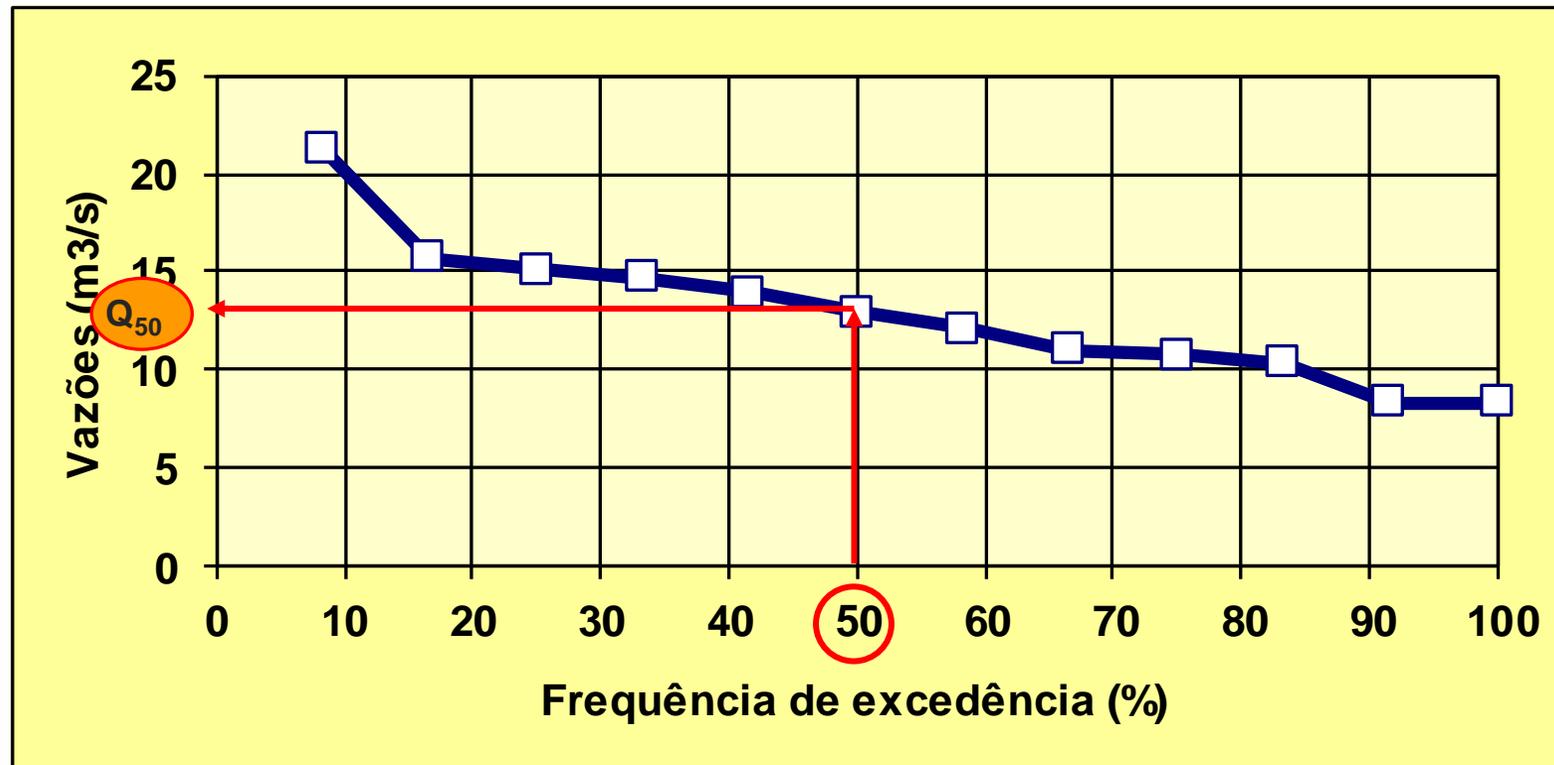


Considerados como dois valores "diferente"





Costuma-se representar a vazão que é igualada ou superada F% do tempo como Q_F . Assim, do gráfico: $Q_{90} = 8.7 \text{ m}^3/\text{s}$.



A vazão Q_{50} é a mediana da distribuição.

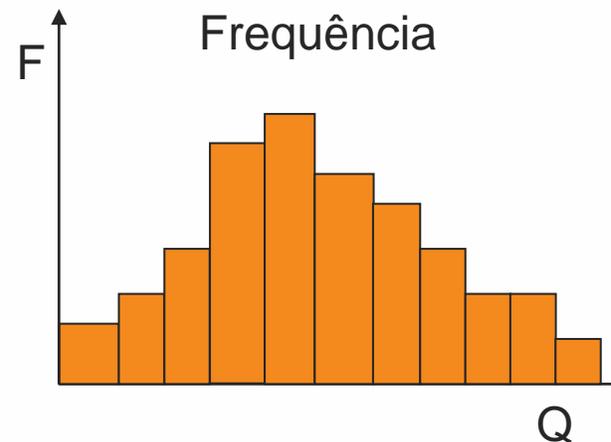
- A curva de permanência é utilizada na maioria dos problemas de recursos hídricos.
- Relaciona a vazão com a sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo.
- Despreza a correlação entre as vazões.
- Geralmente é definida com base em vazões diárias para o período da série histórica.

1. Dispor as vazões observadas no período considerado em ordem decrescente
2. Com a amplitude da variação das vazões, definem-se os intervalos de classe. Chamando de
 - *n*: número de dados de vazões
 - *A*: amplitude da variação das vazões ($Q_{max} - Q_{min}$)
 - *N*: número de intervalo de classe
 - *K*: amplitude do intervalo de classe

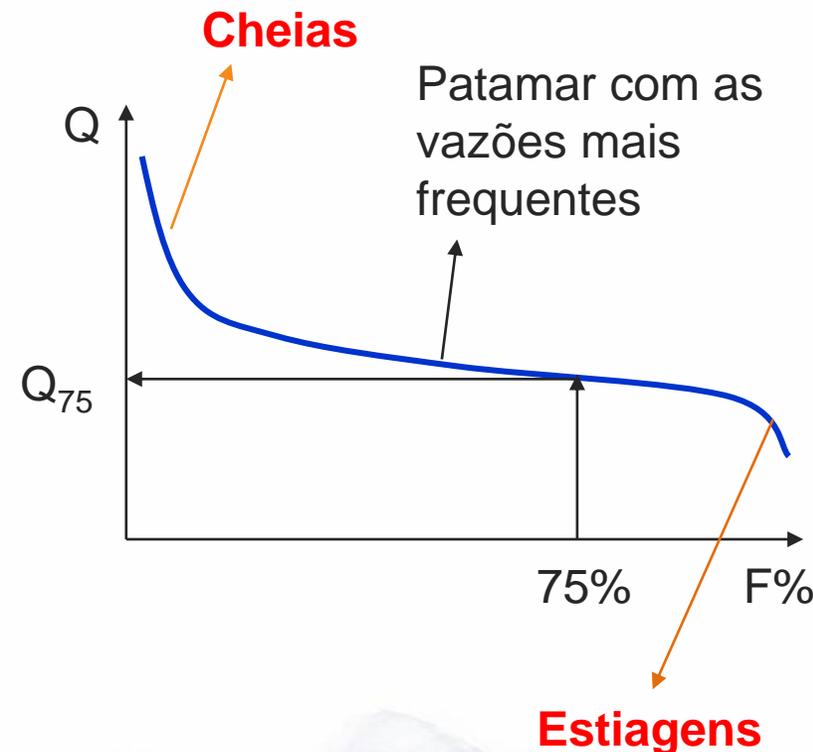
$$N = \sqrt{n}$$

$$K = \frac{A}{N}$$

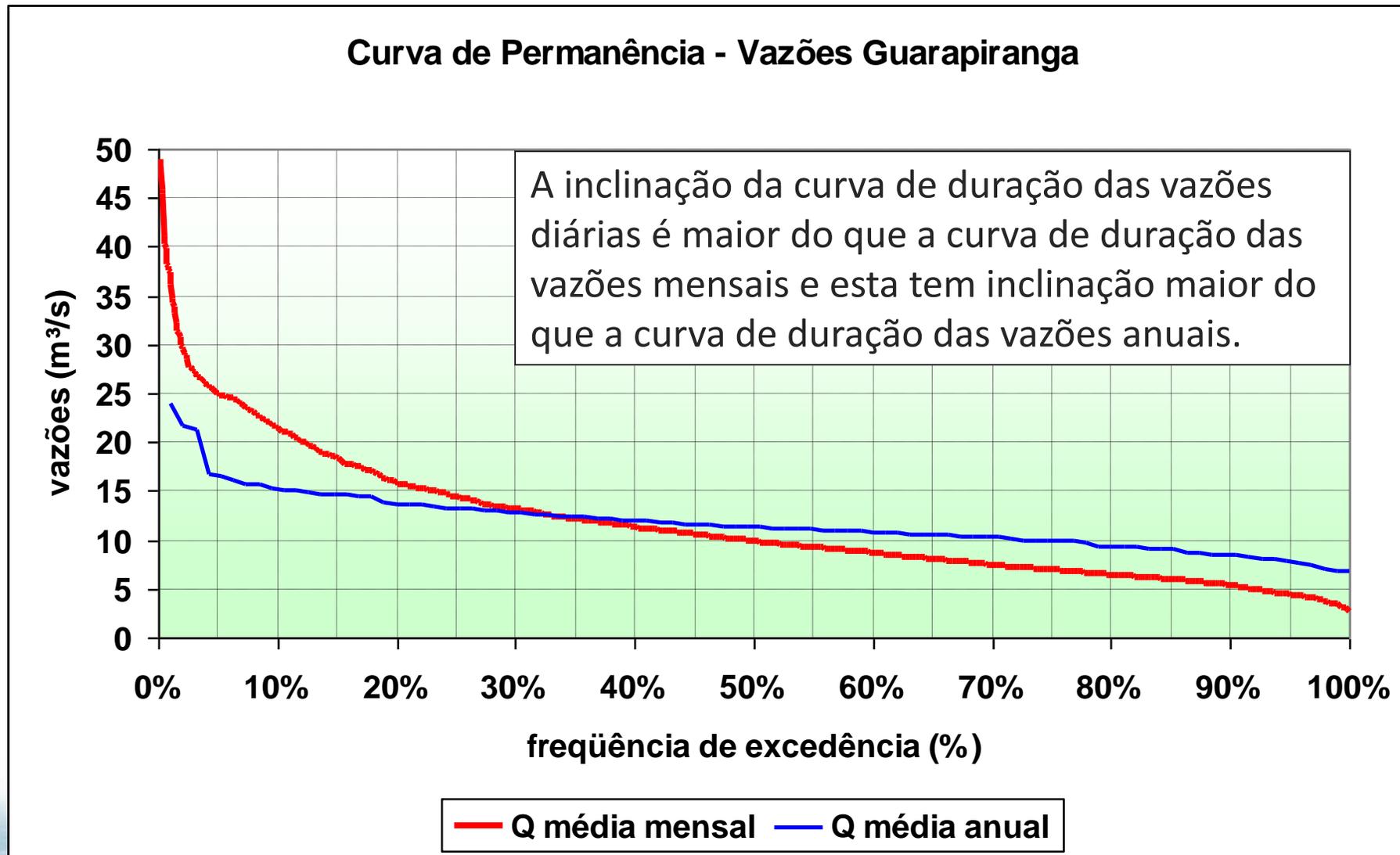
3. Dispor os intervalos em ordem decrescente e verificar o número de eventos ocorridos em cada intervalo à frequência absoluta.
4. Calcular a frequência relativa (frequência absoluta / número de dados) para cada intervalo e acumulá-las seguindo a ordem anterior.
5. Plotar em um gráfico o limite inferior de cada intervalo (ordenada) e a correspondente frequência relativa acumulada (abscissa) e obtém-se a curva de permanência das vazões.

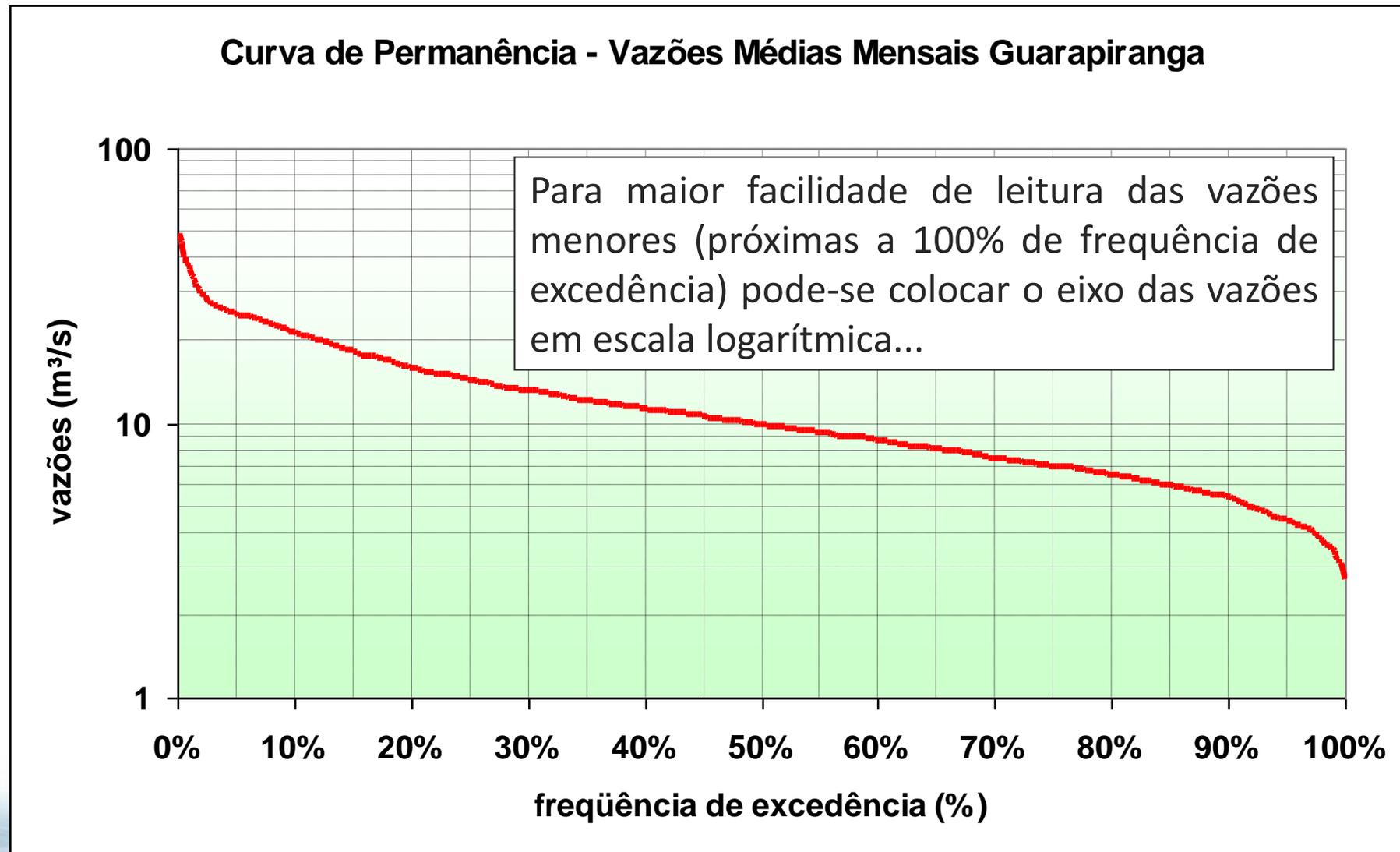


- A vazão de 75% da curva de permanência significa que 75% do tempo as vazões são maiores ou iguais a Q_{75} .
- O período das grandes estiagens geralmente ocorre para probabilidade superior a 95%.
- Esta curva é utilizada para avaliar a distribuição do comportamento da vazão ao longo do tempo e não para valores extremos.

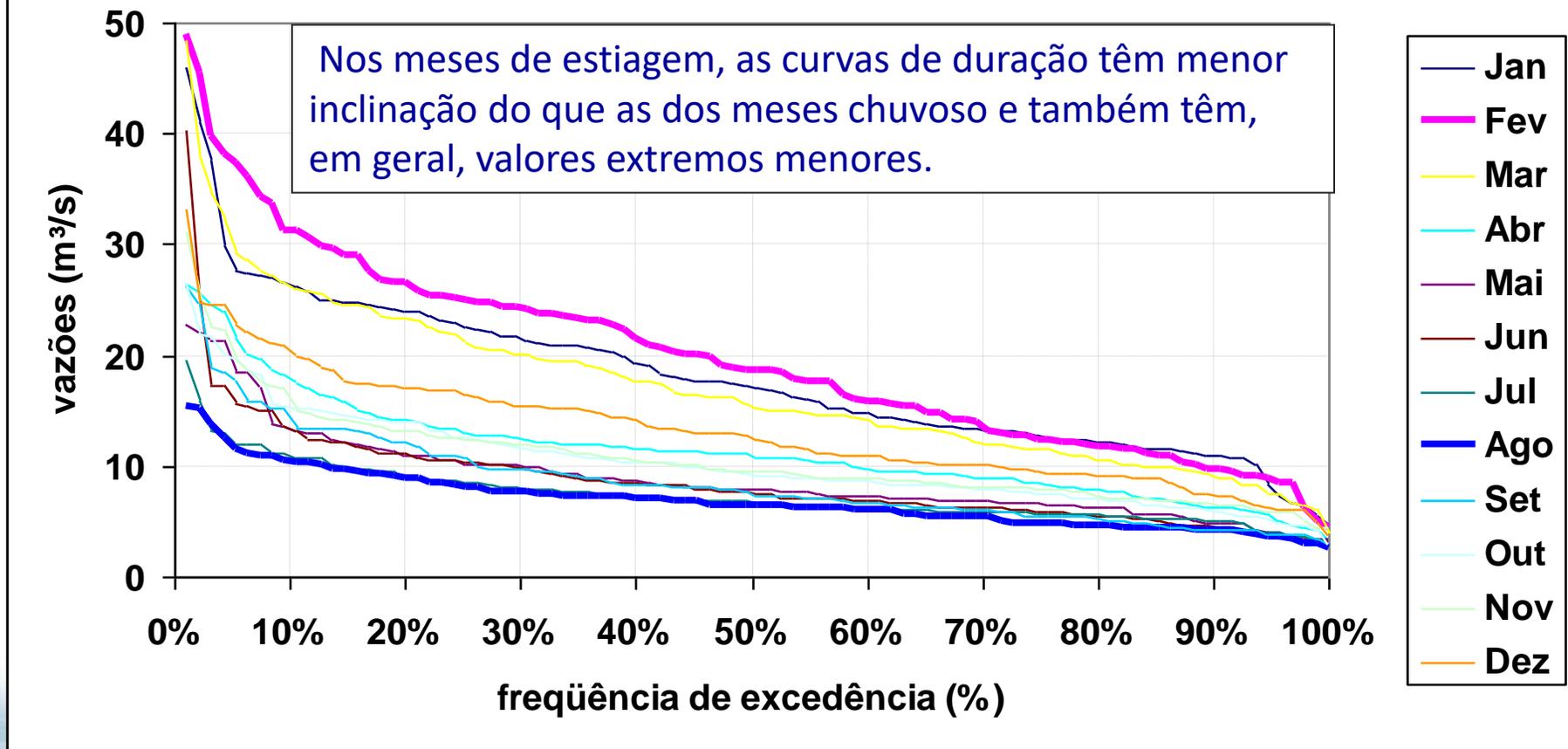


- Q_{95} : vazão de 95%, utilizada como estimador da energia firme.
- Q_{50} : mediana, significa que 50% dos valores estão acima (ou abaixo) deste valor, mas geralmente é menor que a vazão média.
- A curva de permanência é utilizada para avaliação econômica de PCH, a navegação de um rio, as condições de variabilidade ambiental de um rio, entre outras aplicações.

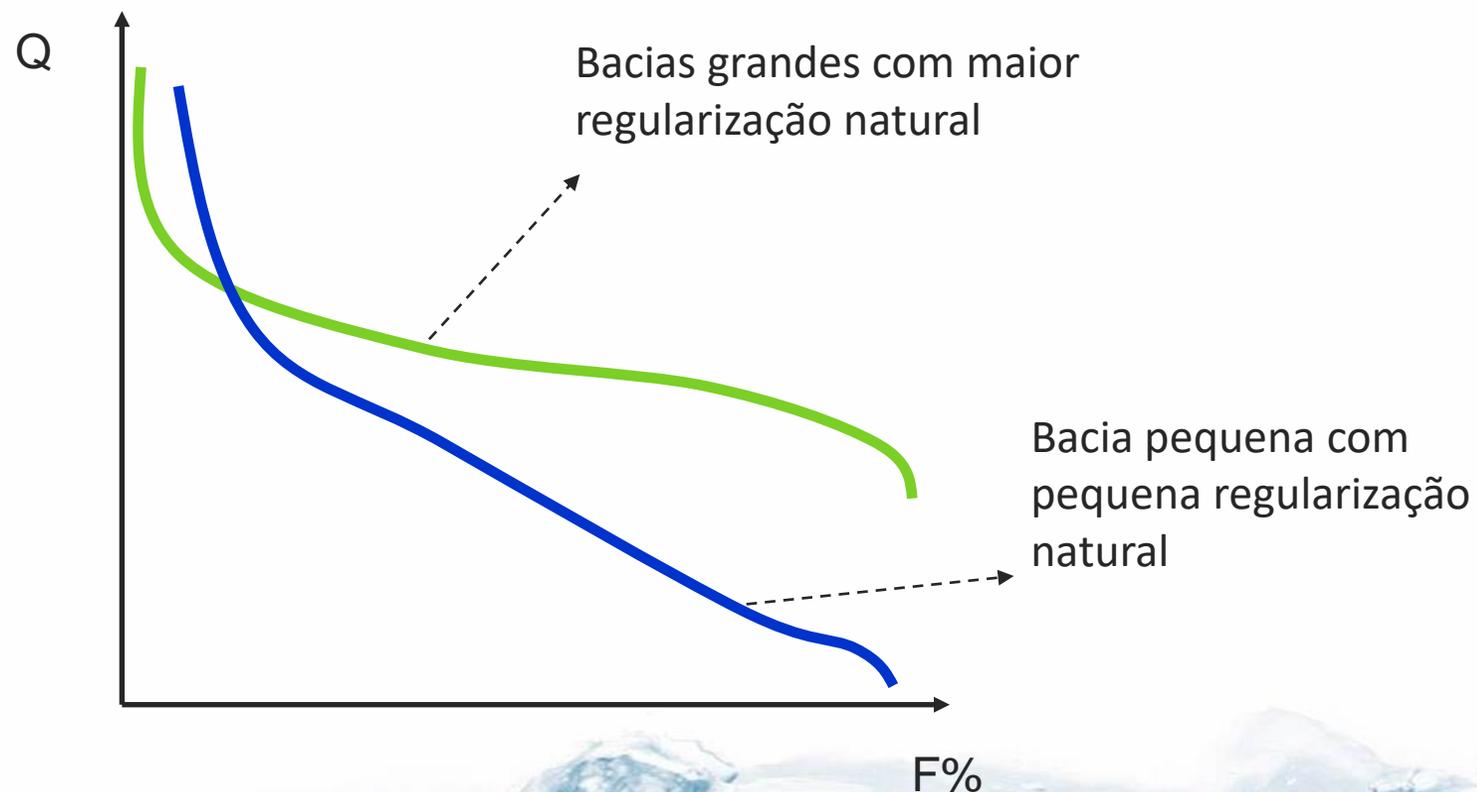




Curva de Permanência - Vazões Médias Mensais Guarapiranga (para cada mês)

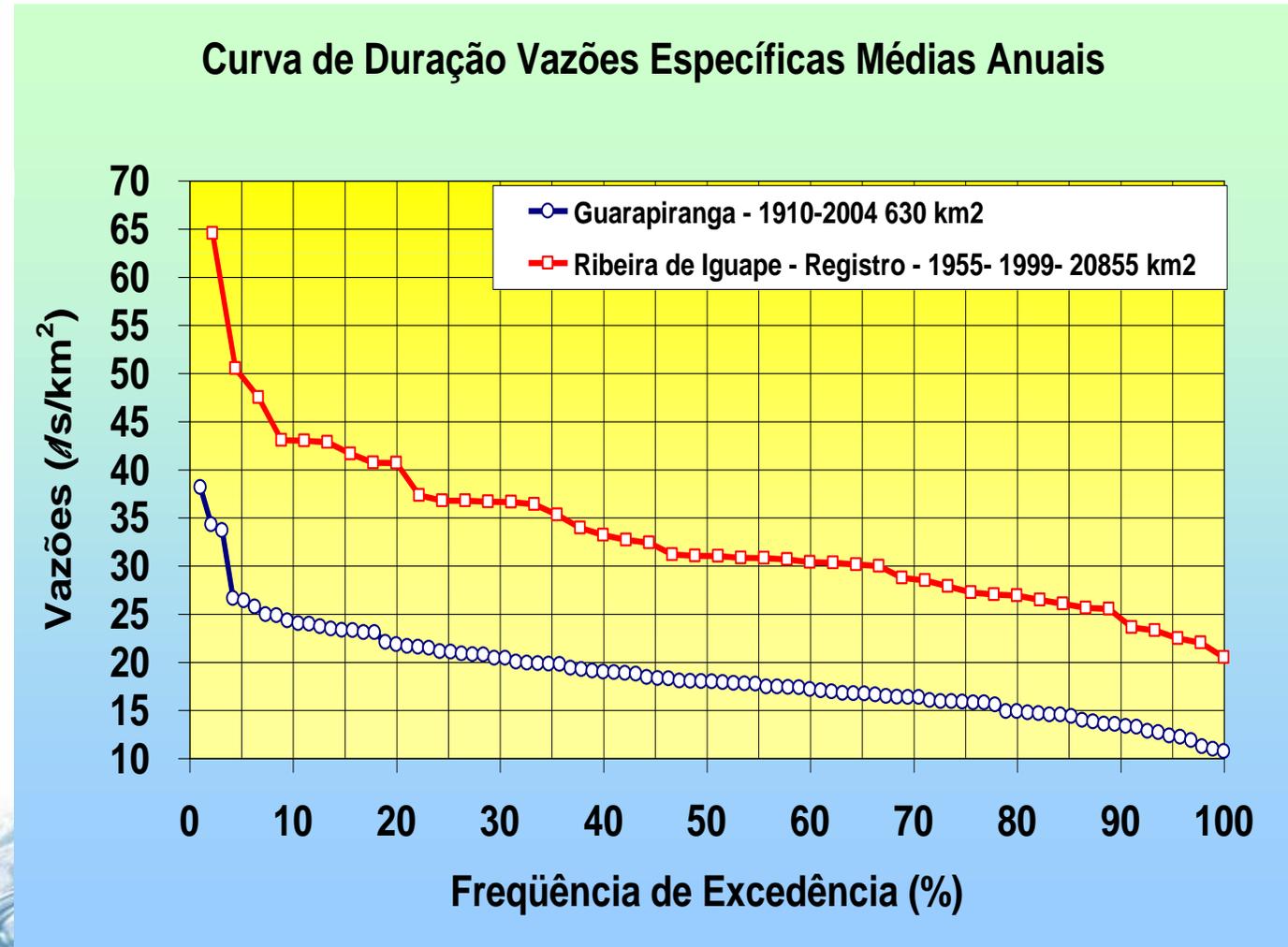


Variação da Forma com as características da bacia

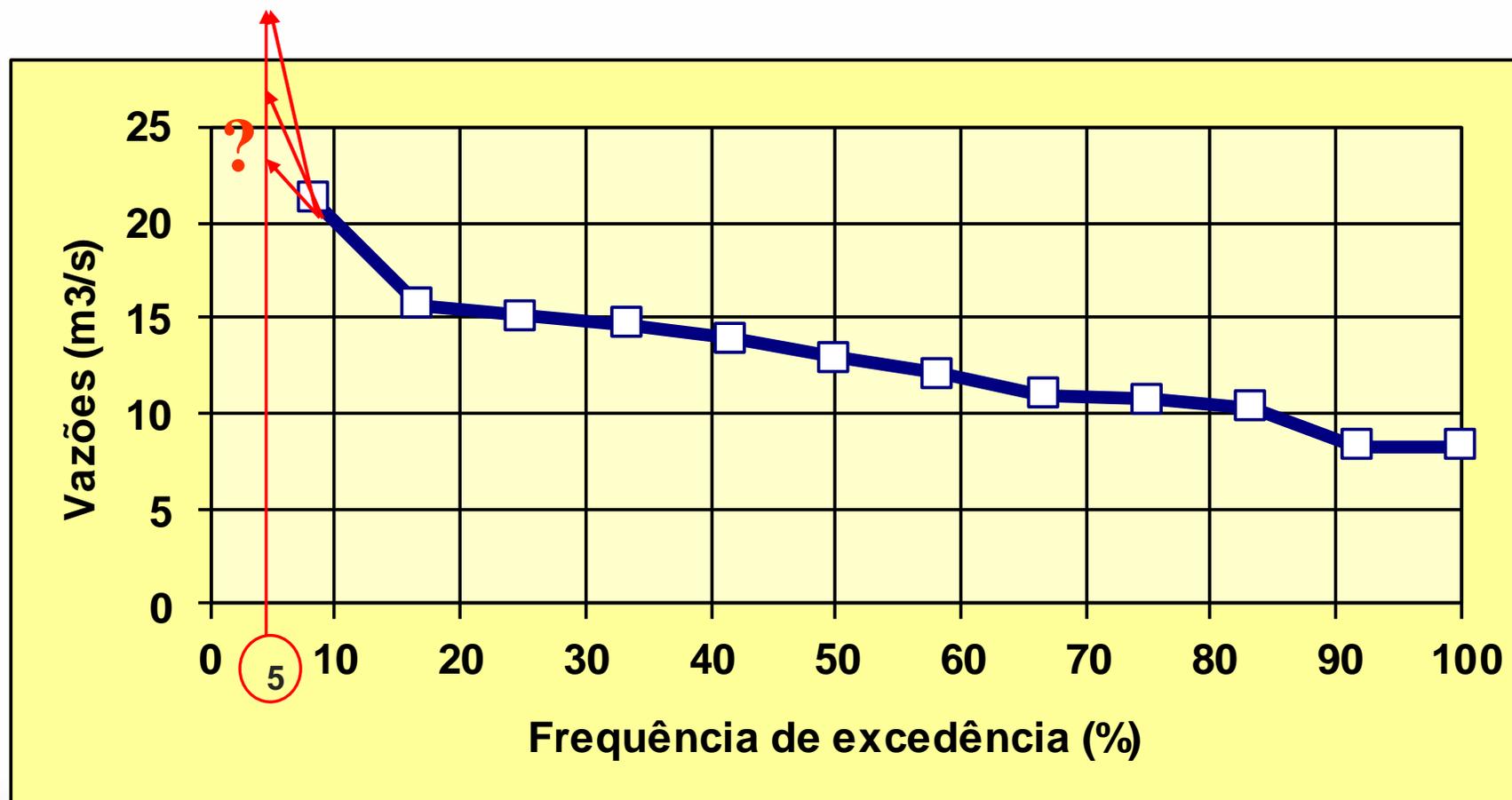


Variação com a área da bacia hidrográfica

Para comparar o regime de sazonalidade das vazões entre bacias hidrográficas de áreas diferentes, costuma-se representar as vazões específicas ($L.s^{-1}.km^{-2}$), para retirar o efeito da área da bacia sobre os valores das vazões



Como se poderia obter a vazão Q_5 neste exemplo? A extrapolação gráfica poderia levar a erros muito grandes



Curva de Permanência

- Data máxima para entrega: 18/04/2011

- Numero de Tentativas com Respostas Incorretas:

1. Com os dados de vazões médias mensais fornecidos na tabela abaixo, desenhe a curva de duração das vazões médias mensais. Não utilize intervalos de classe.

Vazões Médias Mensais (m^3/s) do Rio Turvo - Posto 5B-004, São Benedito, Olímpia - SP (período 1976 a 1985)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	24.24	44.63	39.97	21.34	17.22	16.4	15.33	16.68	17.87	17.11	22.22	28.34
1977	45.97	25.99	18.05	29.4	13.93	14.48	10.7	8.56	11.8	8.17	17.5	53.02
1978	49.31	21.42	20	16.69	18.06	17.36	15.99	11.21	12.88	9.02	19.94	30
1979	62.16	41.72	29.61	17.77	22.44	14.28	12.87	12.59	19.75	12.7	20.45	42.27
1980	49.64	38.35	41.1	33.46	17.15	16.44	14.9	11.76	13.76	13.23	18.85	32.45
1981	44.94	25.87	25.99	14.45	10.28	15.04	9.96	9.96	8.08	17.18	13.84	38.16
1982	46.42	53.54	76.85	28.74	19.94	19.03	15.47	13.47	10.45	21.75	15.92	27.18
1983	75.26	77.97	67.38	44.75	40.14	54.5	30.05	20.54	42	54.9	47.08	48.33
1984	60.28	42.03	35.08	27.29	24.7	15.7	13.49	17.14	14.65	12.81	16.02	22.62
1985	51.72	39.9	37.36	30.94	16.01	13.9	11.83	9.95	8.4	6.12	22.97	19.74

2. Durante quanto tempo a vazão do rio é superior à vazão média ?

Qmédia é excedida (%):

3. Qual é o valor da vazão que é igualada ou superada 50% do tempo ?

Q50% (m^3/s):

4. Os dois valores das questões 2 e 3 são iguais ? Por que ?

5. Qual é o valor da vazão que é igualada ou superada 10%, 90% e 95% do tempo?

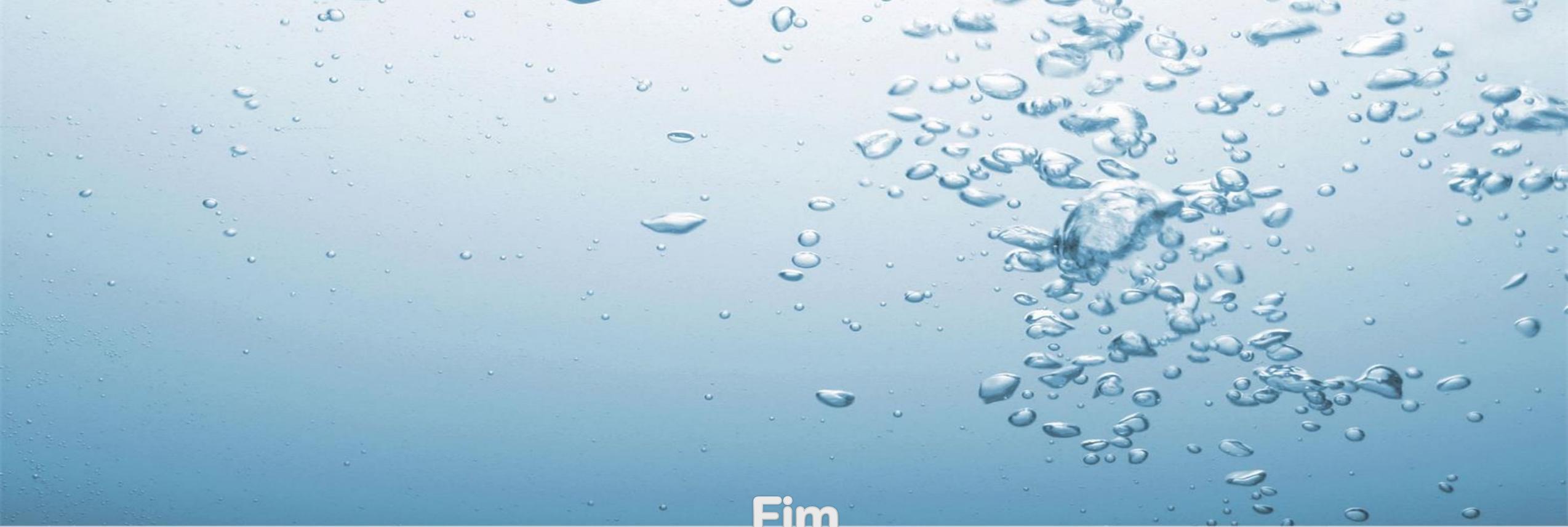
Q10% (m^3/s):

Q90% (m^3/s):

Q95% (m^3/s):

6. Qual é o valor estimado do volume de um reservatório de regularização que possa manter uma vazão de abastecimento constante e igual à vazão de 90% de frequência de excedência ?

7. Qual seria a forma das curvas de duração desse mesmo local , caso fossem utilizadas as vazões médias diárias ou as vazões médias anuais? (Faça um esboço sobre o gráfico da questão 1).



Fim