

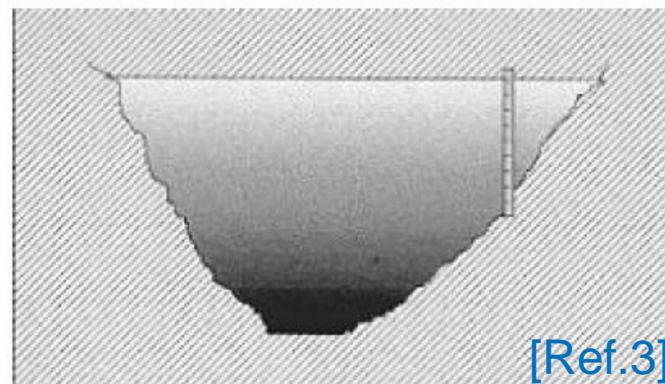
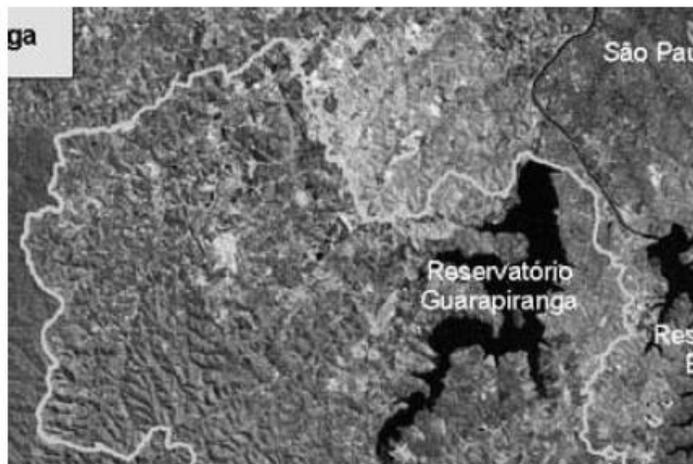
9 – Curva de permanência

- Manipular dados fluviométricos
- Construir a curva de permanência

Manipulação de dados de vazão

Série histórica de vazões:

Banco de dados HIDROWEB – ANA (Agência Nacional de Águas)



[Ref.3]

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

Introdução

9

Manipulação de grande
quantidade de dados

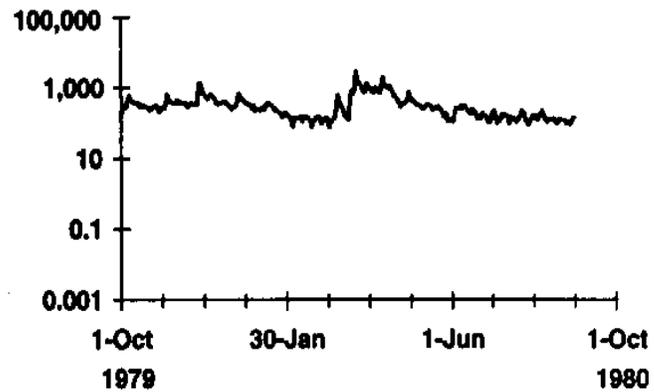
Apresentação
gráfica

**REGIME
DOS CURSOS DE ÁGUA**

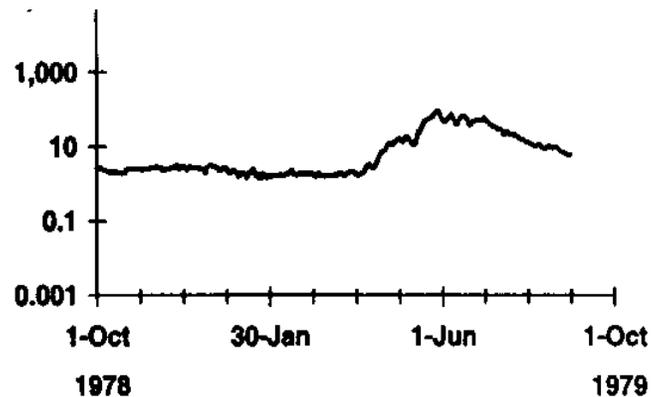
- Hidrograma
- Hidrograma médio
- Diagrama de frequência
- Curva de permanência ou Curva acumulativa de frequência

Vazão - Distribuição espacial e temporal

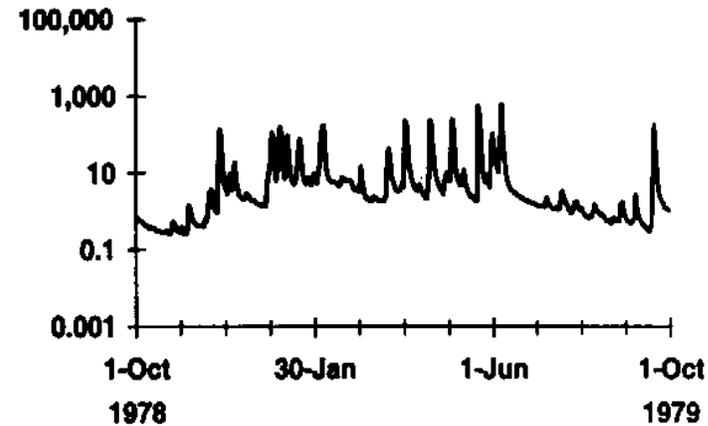
9



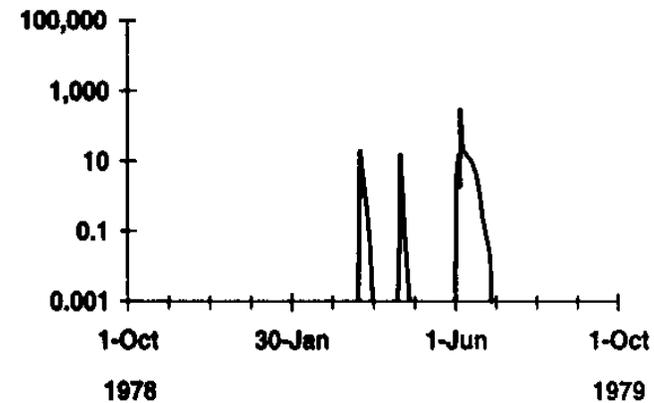
(a) Hudson River at Green Island, New York
(watershed area = 20,950 km²)



(c) East River at Altmont, Colorado
(watershed area = 748 km²)



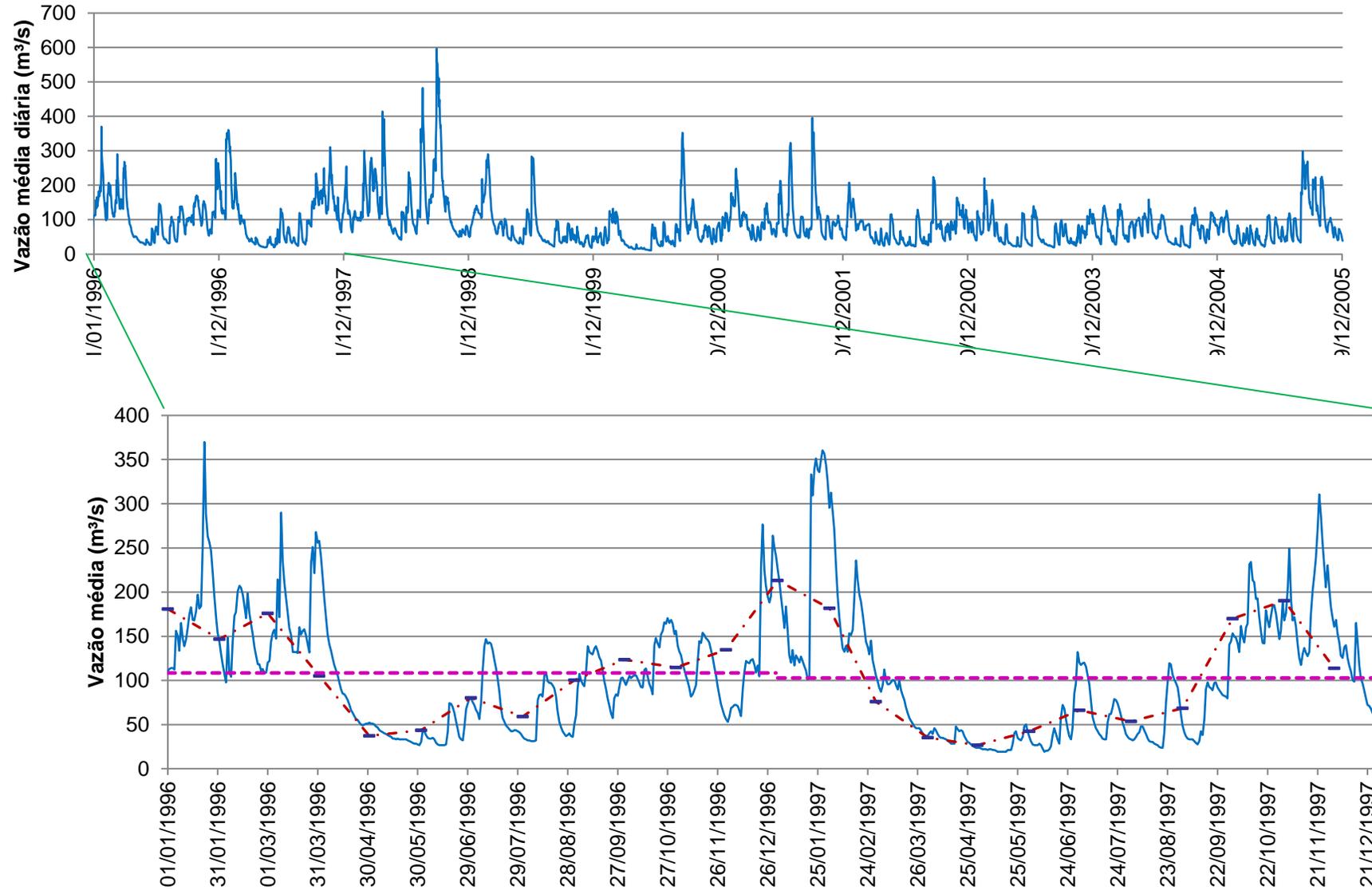
(b) Mill Creek near Belville, Texas
(watershed area = 974 km²)



(d) Frio River near Uvalde, Texas
(watershed area = 1712 km²)

Flow (m³ s⁻¹)

A- Fluviograma



B - Fluviograma médio

Caracterização do regime anual

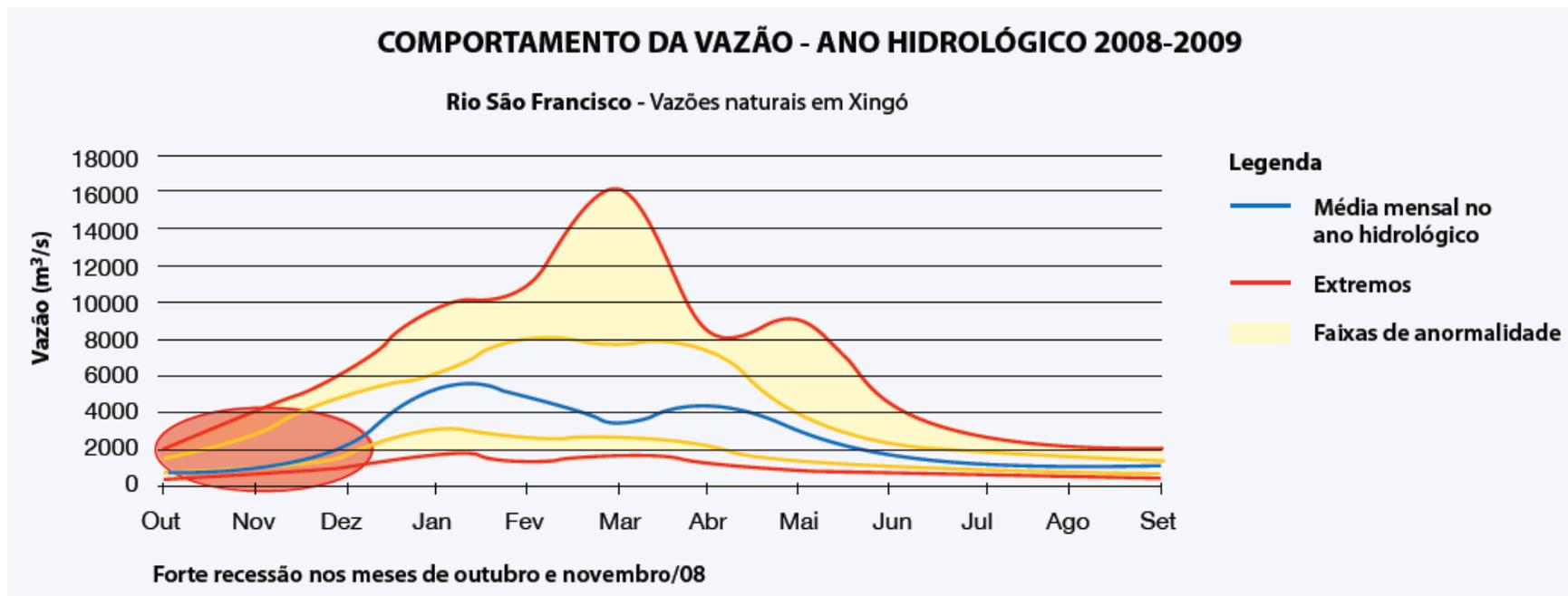


Figura 3– Efeito das chuvas nas vazões naturais em Xingó (rio São Francisco).

ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2010

Vazões mensais:

Média das vazões observadas no mês respectivo, ao longo do período considerado

Ano Hidrológico

Um período de 12 meses compreendido entre o início de duas estações de chuva consecutivas.

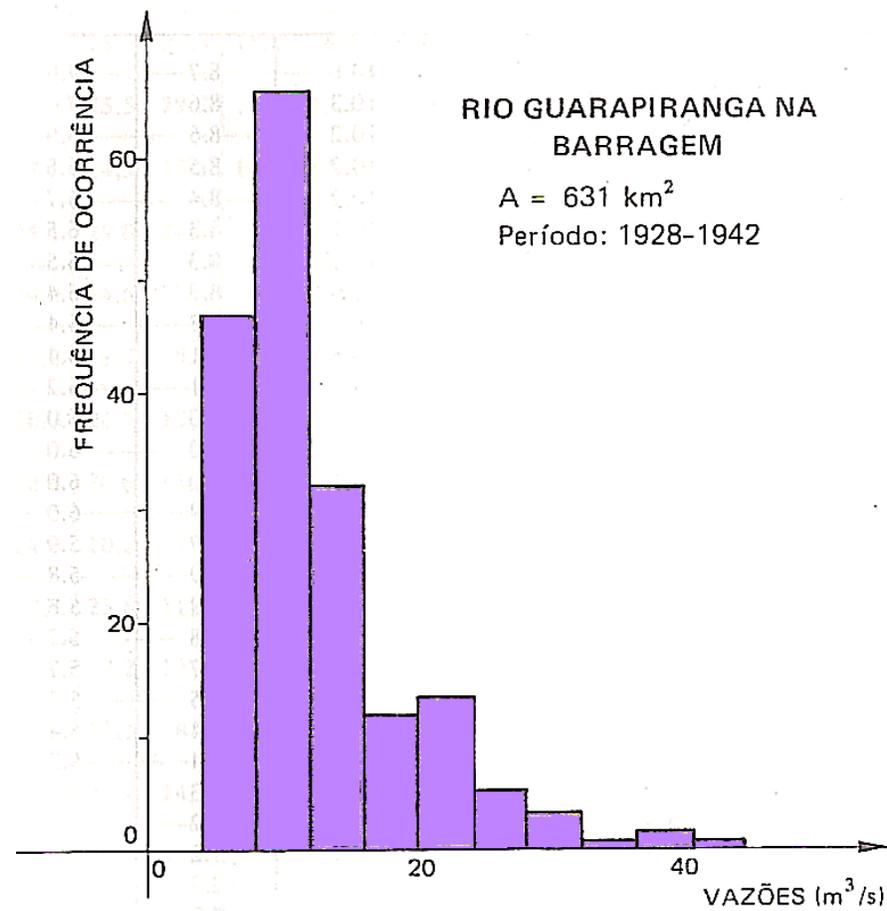
Para a região Sudeste, consiste na divisão em períodos de chuvas (outubro a março) e estiagem (abril a setembro)

1º Outubro - início do ano hidrológico para a região Sudeste

C – Diagrama de frequência

Classe	Intervalo de Q		Frequência
	Mínimo	Máximo	
1	41,33	45,50	1
2	37,16	41,33	2
3	32,99	37,16	1
4	28,82	32,99	3
5	24,65	28,82	6
6	20,48	24,65	13
7	16,31	20,48	11
8	12,14	16,31	32
9	7,97	12,14	65
10	3,80	7,97	46
		Total	180

[Ref.2]



CURVA DE PERMANÊNCIA

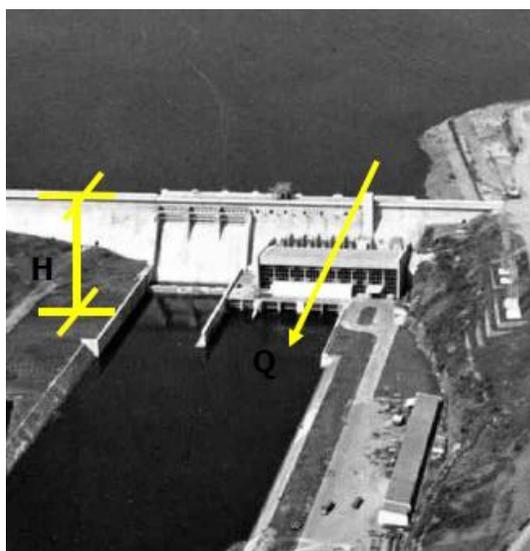
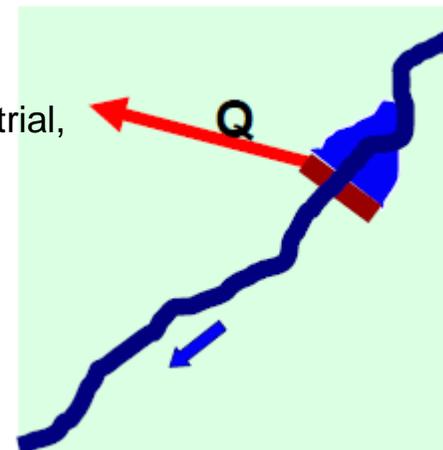
Perguntas típicas

[Adaptado de Ref.3]

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

Garantia (%) ????

Abastecimento público e industrial, irrigação, etc.

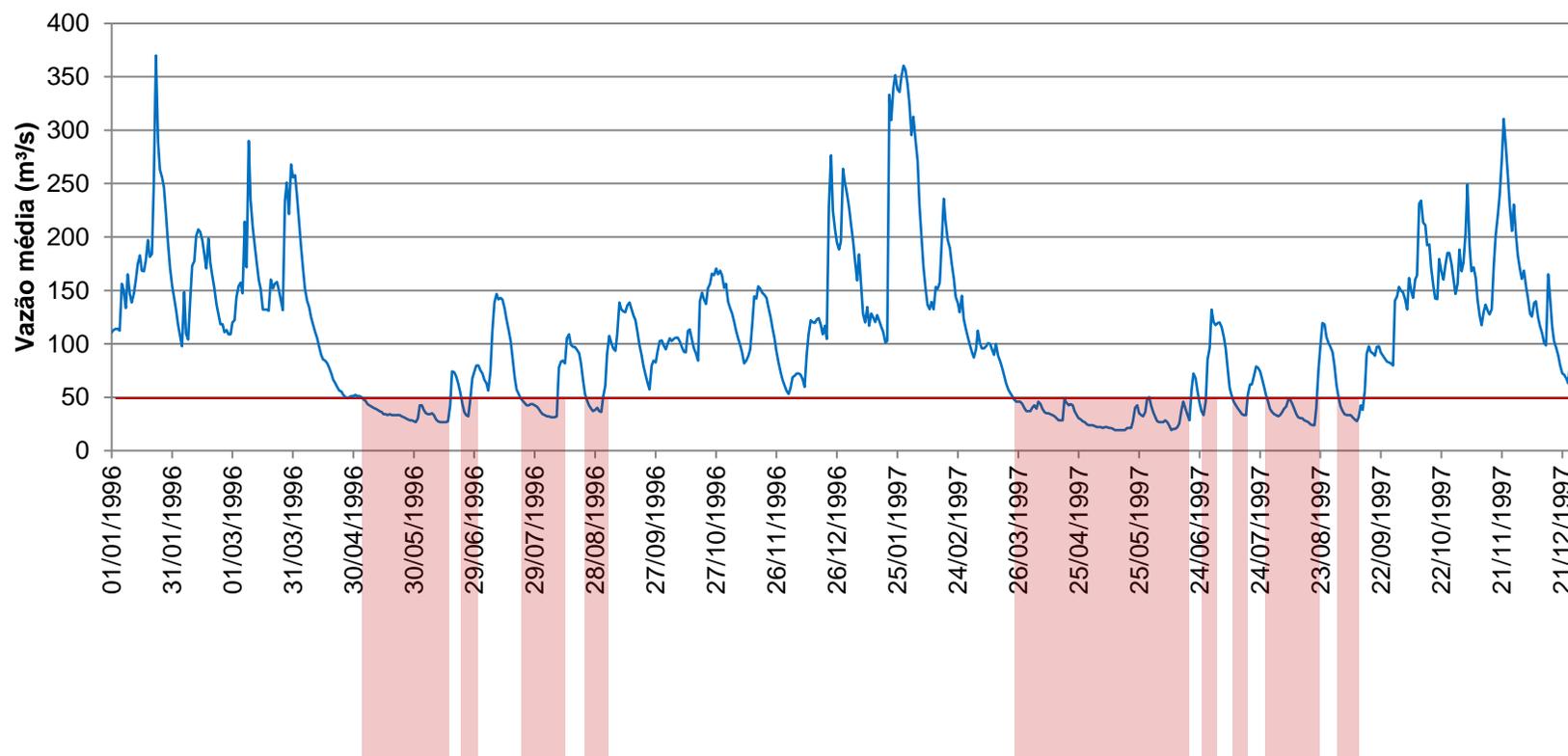


Quanto de energia pode ser gerada durante uma determinada porcentagem do tempo?

ou

Qual é a potência mínima garantida em uma porcentagem do tempo?

Supondo demanda de 50 m³/s:



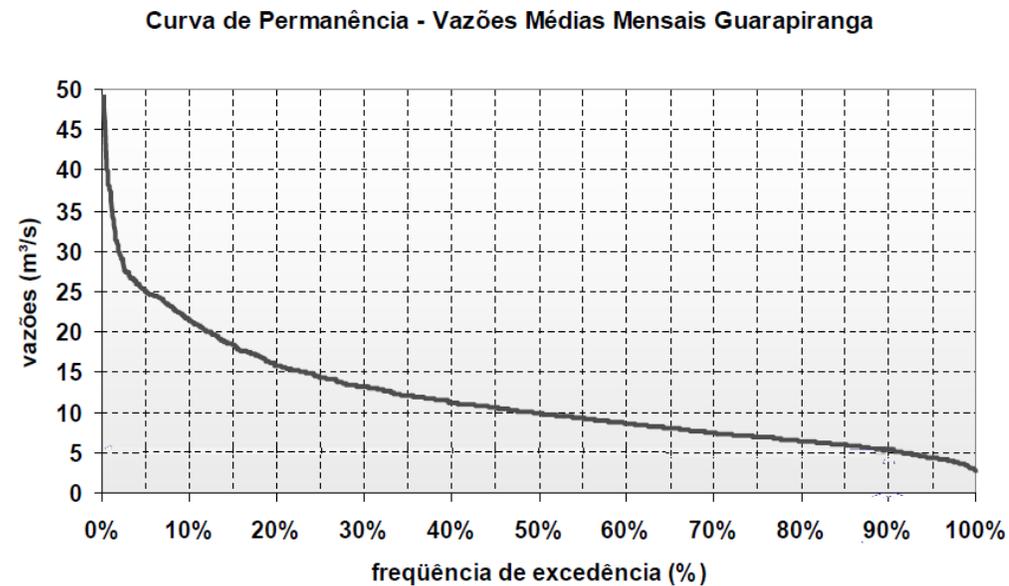
Período em que vazão está menor que a demanda.

D - Curva de permanência

[Ref.1, 3]

Curva de duração Curva acumulativa de frequência

- Grau de permanência das vazões.
- Frequência que a vazão de dada magnitude foi igualada ou excedida durante o período de observação
- Percentual de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observação.
- Curva de distribuição das frequências acumuladas de ocorrência das vazões em um curso de água



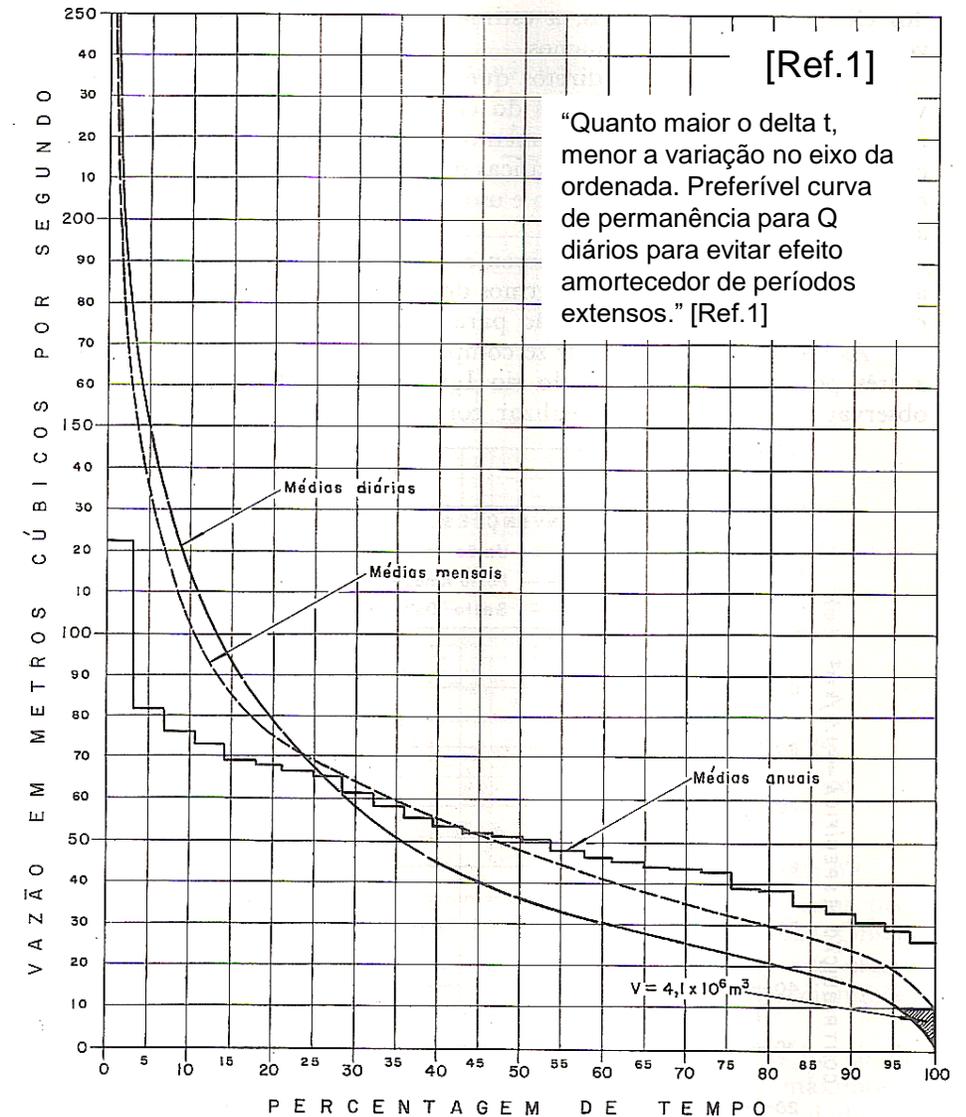
Construção da curva de permanência

Organizar os valores de vazão segundo uma distribuição de frequência

Base de dados:

- Registros das vazões em uma estação fluviométrica.
- A curva pode ser para as vazões médias diárias, vazões médias mensais ou ainda vazões médias anuais.

Para destacar mais a faixa de vazões mais baixas, a curva de permanência pode ser apresentada com eixo vertical logarítmico

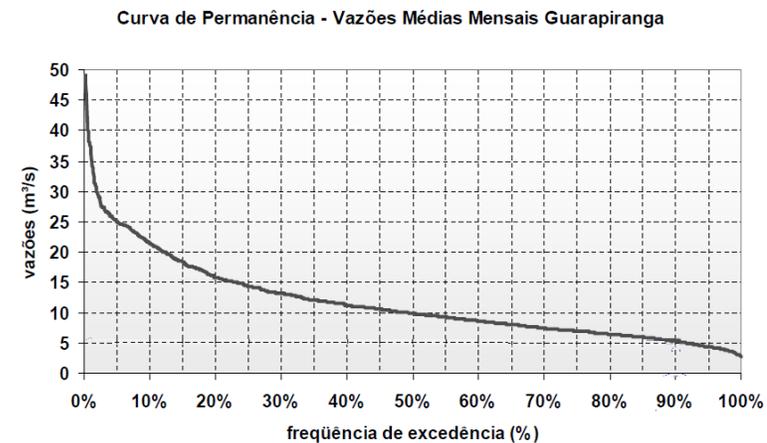


Alternativa 1



Q (ordem decrescente)	Ordem (m)	Frequência de excedência (m/n)100 (%)
Q máx	1	(1/n)100
	2	(2/n)100
	3	(3/n)100
	4	(4/n)100
	.	.
	.	.
	.	.
	n-2	[(n-2)/n]100
	n-1	[(n-1)/n]100
Q mín	n	100%

1. Organizar os dados em ordem decrescente
 2. Ordem decrescente dos dados [m]
 3. Frequência de ocorrência
 $F(\%) = 100m/n$
- m=ordem; n=total de dados



Alternativa 2

Construção da curva de permanência

9

Eixo y

Eixo x

1. Definir intervalos de classe em função da amplitude das vazões:
 - Intervalo de classe = $(Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}) / \text{número de classes}$
Em geral, dez ou mais classes são requeridas para um traçado adequado (depende muito do tamanho da série de registros).
 - Faixas de classes dispostas em ordem decrescente.
2. Registrar o número de dados que situam nos respectivos intervalos de classe.
3. Acumular as frequências das classes sucessivas
4. Lançar no gráfico em correspondência aos limites inferiores dos respectivos intervalos de classe.

Classe	Intervalo de Q		Frequência	Frequência acumulada	Frequência acumulada (%)
	Mínimo	Máximo			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
...					

Alternativa 3

Construção da curva de permanência

Os **percentis** é uma técnica da estatística descritiva. São medidas que dividem a amostra (por ordem crescente dos dados) em 100 partes, cada uma com uma percentagem de dados aproximadamente igual. O k -ésimo percentil P_k é o valor x (x_k) que corresponde à frequência cumulativa de $N \cdot k/100$, onde N é o tamanho amostral.

Percentil	Vazão	Função
1%	Q_{99}	=percentil(matriz;0.01)
90%	Q_{10}	=percentil(matriz;0.90)

Matriz: dados observados de Q

Percentil	Frequência de excedência (%)	Q
0	100	=percentil(matriz;0)
0,05	95	=percentil(matriz;0,05)
0,1	90	=percentil(matriz;0,1)
...		=percentil(matriz;percentil)
0,9	10	=percentil(matriz;0,9)
0,95	5	=percentil(matriz;0,95)
1	0	=percentil(matriz;1)

Eixo x

Eixo y

Qual seria esse valor da matriz de dados?

Qual seria esse valor da matriz de dados?

Estatística descritiva
aplica várias técnicas para descrever, organizar e sumarizar um conjunto de dados, ao invés de usar os dados em aprendizado sobre a população.

Exemplo:
O 1º percentil determina o 1% menor dos dados.
O 25% percentil é o primeiro quartil

Exercício

9

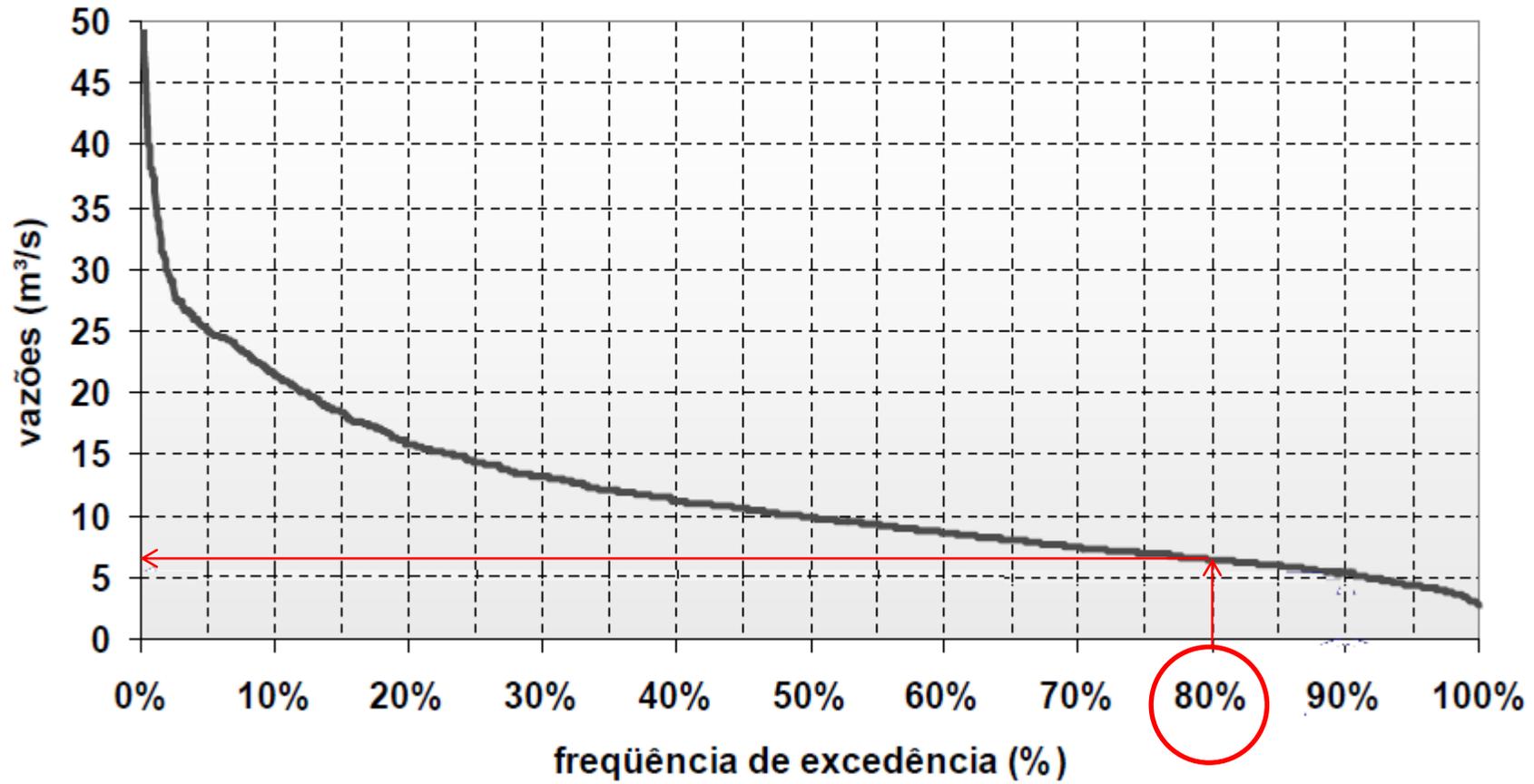
Analise o comportamento temporal da vazão no local onde está localizado o Posto Fluviométrico Descoberto – Chácara 89 (60435000).

Sabendo que a demanda no local é de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, o local teria disponibilidade para suprir essa demanda em 100% do tempo? Se não, quanto tempo a vazão ficaria abaixo?

Passos:

1. Ir na Hidroweb baixar os dados da estação
2. Para análise do comportamento temporal, plotar fluviograma Qxt
3. Construir a curva de permanência
4. Para a vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, determinar o percentual de tempo de não excedência

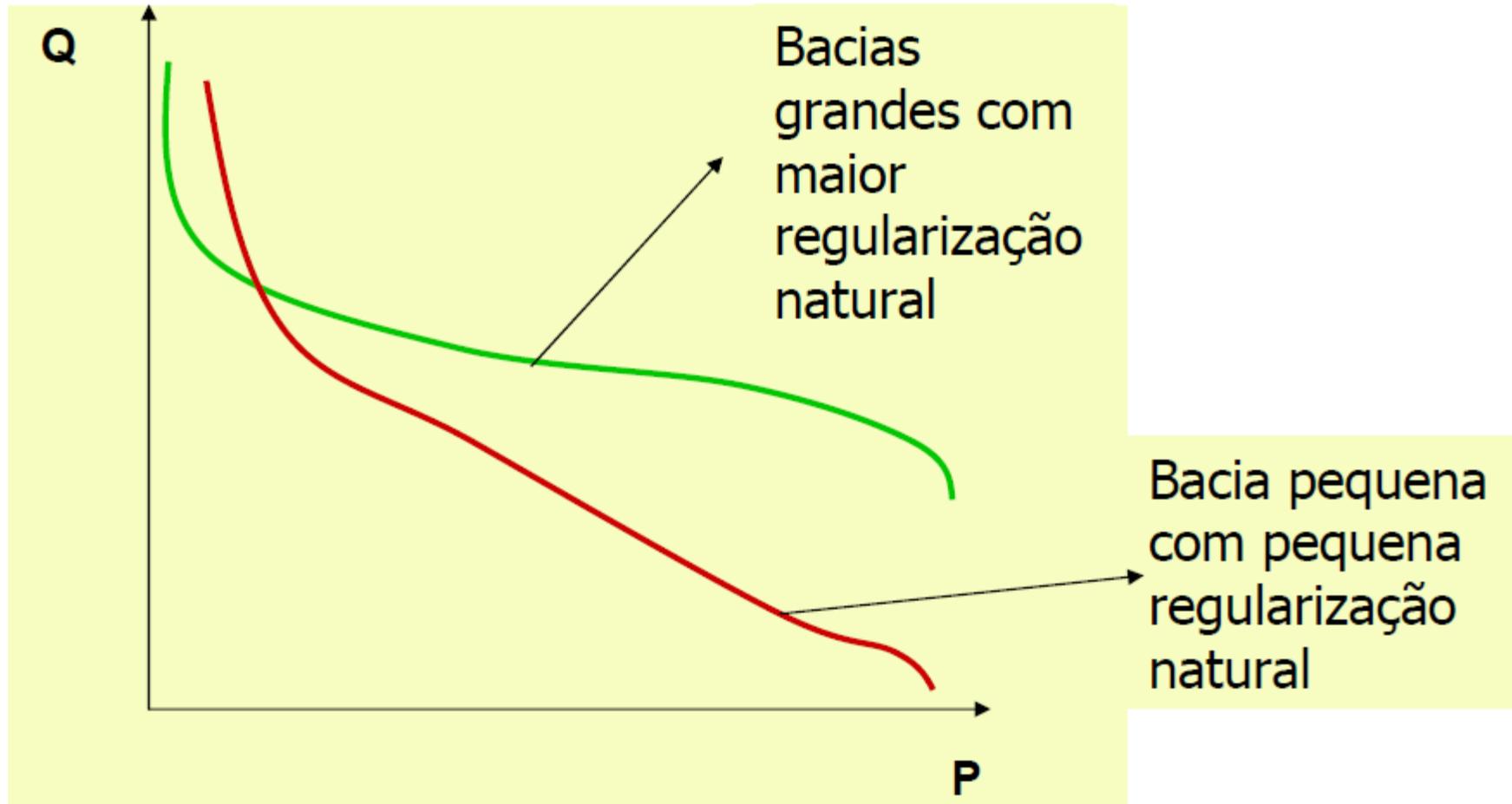
Curva de Permanência - Vazões Médias Mensais Guarapiranga

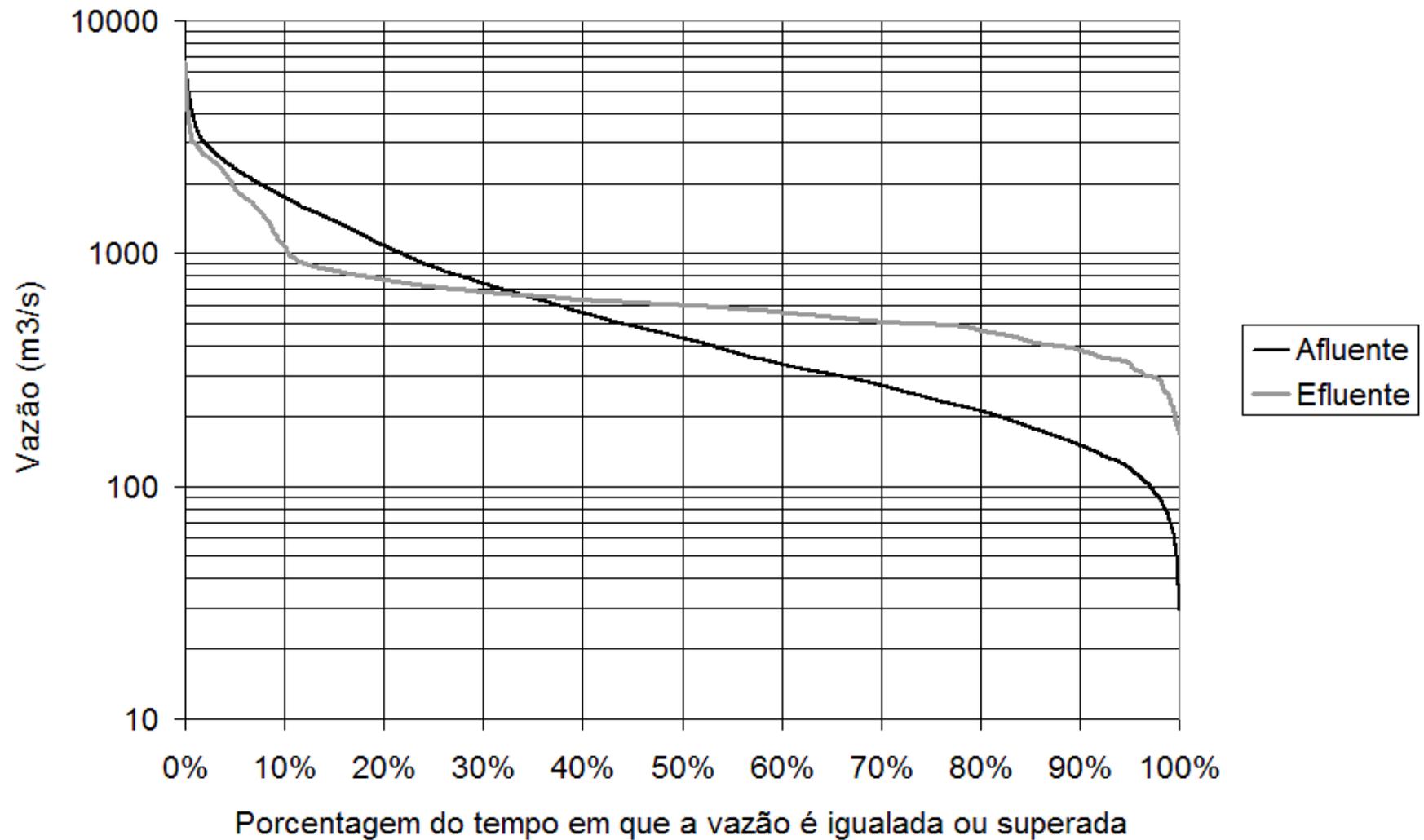


Declividade da curva \rightarrow característica

[Ref.3]

9





Curvas de permanência de vazões afluente e efluente do reservatório de Três Marias, no rio São Francisco (MG).

Confronto entre diferentes bacias

[Ref.1]

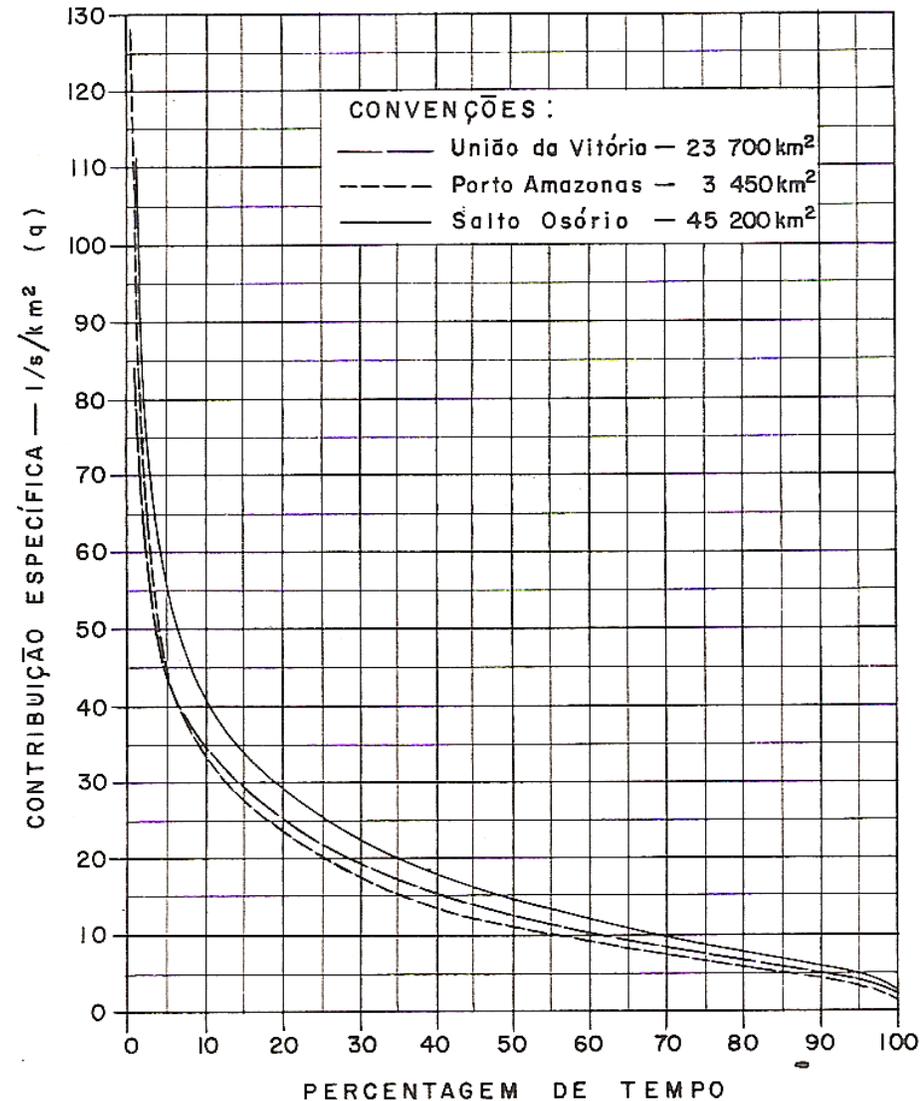
9

Curva em termos de:

→ descargas específicas:

$L/s/km^2$

→ $Q/Q_{m\u00e9dia}$



Importância para geração de energia

9

$$P = \gamma Q H e$$

P - Potência (W)

γ – Peso específico da água (N/m³)

Q – Vazão (m³/s)

H – Queda líquida (m)

e – eficiência da conversão de energia hidráulica em elétrica (depende da turbina, do gerador e do sistema de adução). Faixa $0,76 < e < 0,87$

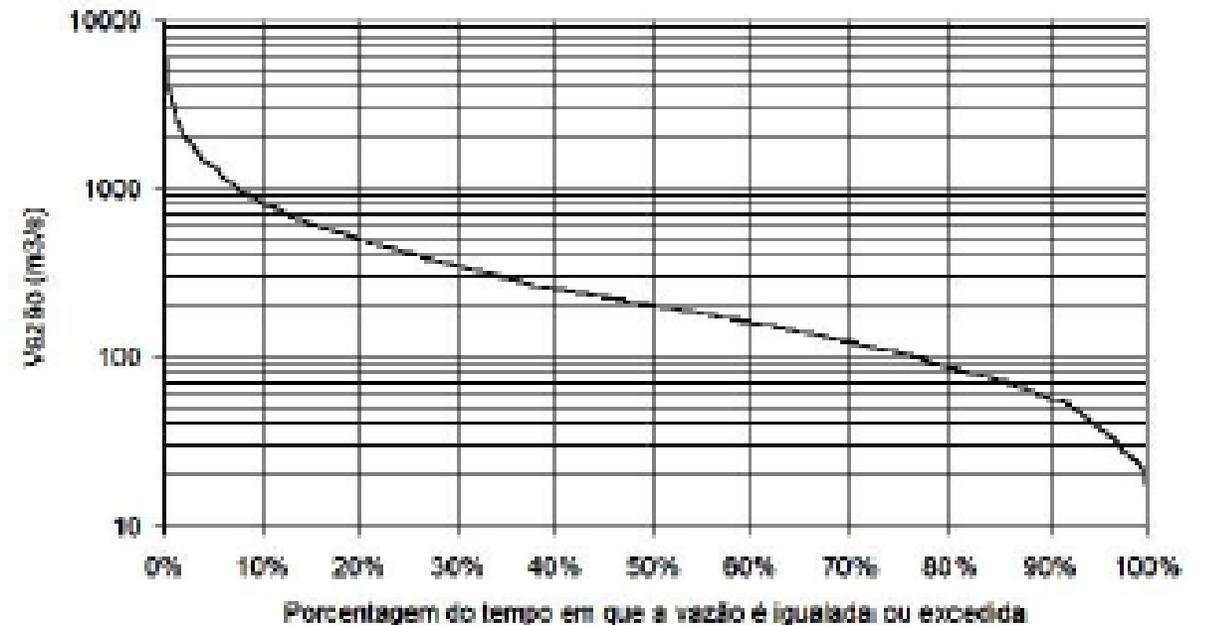
Energia Assegurada

- É a energia que pode ser suprida por uma usina com um risco de 5% de não ser atendida, ou seja, com uma garantia de 95% de atendimento.
- Usina pequena com reservatório pequeno, a energia assegurada é definida pela **Q₉₅**.
- A empresa de energia é remunerada pela energia assegurada.

Exercício

9

Uma usina hidrelétrica será construída em um rio com a curva de permanência apresentada. O projeto de barragem prevê uma queda livre de 30 metros. A eficiência da conversão de energia será de 80%. Qual é a energia assegurada desta usina?

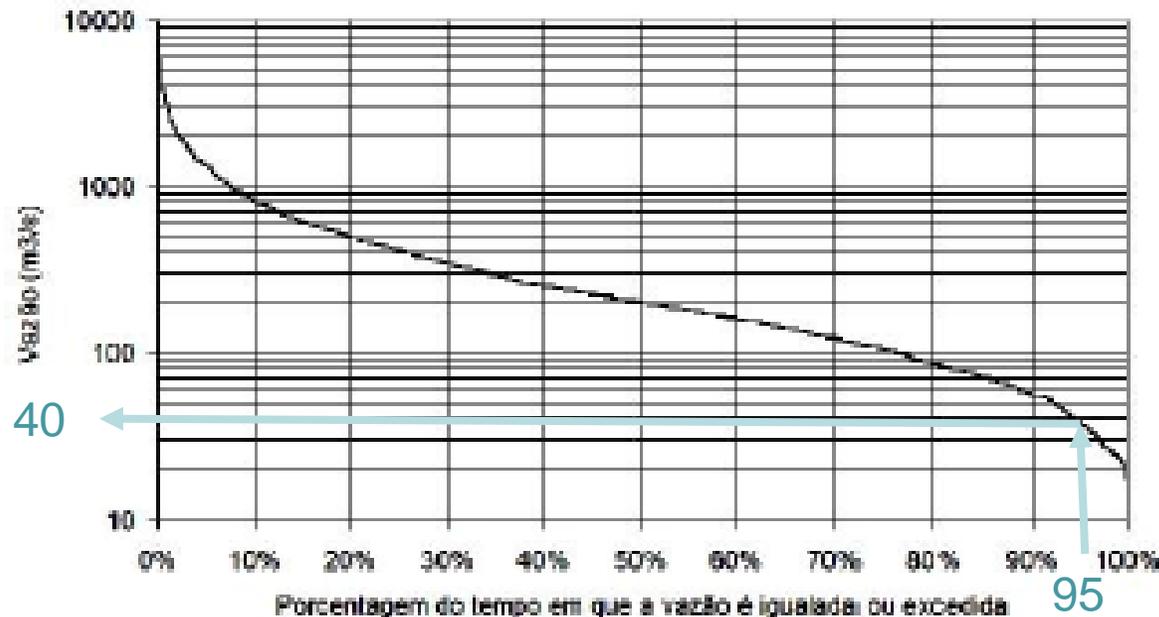


Exercício - Solução

9

Uma usina hidrelétrica será construída em um rio com a curva de permanência apresentada. O projeto de barragem prevê uma queda livre de 30 metros. A eficiência da conversão de energia será de 80%. Qual será a energia assegurada desta usina?

Energia assegurada:



$$P = \gamma Q H e$$

γ – Peso específico da água (9810 N/m³)

Q – Vazão (~40 m³/s)

H – Queda líquida (30 m)

e – eficiência da conversão de energia hidráulica em elétrica (e = 0,80)

$$P \approx 9810 \times 40 \times 30 \times 0,80$$

$$P \approx 9.417.600 \text{ W}$$

$$P \approx 9 \text{ MW}$$

Vazão por região



A **disponibilidade hídrica** equivale à vazão com permanência de 95% (Q95) e, no caso da presença de reservatórios, à vazão regularizada acrescida do incremental de Q95.

Tabela 2 – Disponibilidade hídrica, vazões médias e de estiagem¹²

Região Hidrográfica	Vazão média (m ³ /s)	Disponibilidade hídrica (m ³ /s)	Estiagem - Q ₉₅ (m ³ /s)
Amazônica	132.145	73.748	73.748
Tocantins-Araguaia	13.799	5.447	2.696
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320	320
Parnaíba	767	379	294
Atlântico Nordeste Oriental	774	91	32
São Francisco	2.846	1.886	852
Atlântico Leste	1.484	305	252
Atlântico Sudeste	3.162	1109	986
Atlântico Sul	4.055	647	647
Paraná	11.414	5.792	3.901
Uruguai	4.103	565	394
Paraguai	2.359	782	782
Brasil	179.516	91.071	84.904

Vazão média e população



Região hidrográfica	População (10 ⁶ hab)	Vazão média	
		(m ³ /s)	(m ³ /hab/ano)
Amazônica	8	131.947	533.096
Tocantins/Araguaia	7	13.624	59.858
Atlântico Nordeste Ocidental	5	2.683	15.958
Parnaíba	4	763	6.456
Atlântico Nordeste Oriental	21	779	1.145
São Francisco	13	2.850	7.025
Atlântico Leste	14	1.492	3.362
Atlântico Sudeste	25	3.179	3.972
Atlântico Sul	12	4.174	11.316
Uruguai	4	4.121	33.893
Paraná	55	11.453	6.607
Paraguai	2	2.368	39.559
Brasil	170	179.433	33.376

ANA. 2005. Caderno de Recursos Hídricos – Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil.

Vazão de alguns rios brasileiros

Rio	Vazão (m ³ /s)
Rio Amazonas (Rio Amazonas)	209000
Rio Solimões (Rio Amazonas)	103000
Rio Madeira (Rio Amazonas)	31200
Rio Negro (Rio Amazonas)	28400
Rio Japurá (Rio Amazonas)	18620
Rio Tapajós (Rio Amazonas)	13500
Rio Purus (Rio Amazonas)	11000
Rio Tocantins (Rio Tocantins)	11000
Rio Paraná (Rio Paraná)	11000
Rio Xingu (Rio Amazonas)	9700
Rio Içá (Rio Amazonas)	8800
Rio Juruá (Rio Amazonas)	8440
Rio Araguaia (Rio Tocantins)	5500
Rio Uruguai (Rio Uruguai)	4150
Rio S. Francisco (Rio S. Francisco)	2850
Rio Paraguai (Rio Paraná)	1290

Fonte: Portal Amazônia

Sub-bacia	Área (km ²)	Vazão (m ³ /s)		
		Q _{95%}	Q _{60%}	Q _{38%}
Rio Iraí	164	0,48	1,82	3,16
Rio Piraquara	102	0,30	1,14	1,97
Rio Atuba	14	0,04	0,15	0,27
Rio Palmital	29	0,09	0,33	0,57
Rio Barigui	64	0,19	0,71	1,23
Alto Iguaçu	1285	2,82	10,68	18,49

Fonte: Plano da Bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Ribeira

Referências bibliográficas

- [Ref.1] Pinto et al. 1976. Hidrologia Básica. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.
- [Ref.2] Villela & Mattos. 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGrawHill.
- [Ref.3] Porto et al. 2010. Slides da disciplina PHD2307 – Hidrologia Aplicada.
- [Ref.4] Hidrologia aplicada.
<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~carlooseduardo/1Curva%20de%20Permanencia.pdf>