10 – Análise de frequência de cheias

Métodos estatísticos

O estudo de VAZÕES MÁXIMAS pode ser realizado através de DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS DE VARIÁVEIS CONTÍNUAS

Métodos:

- Distribuição de Gumbel
- Distribuição Exponencial de dois Parâmetros
- Distribuição Log-Normal
- Método de Foster: Distribuição de Pearson III
- Método de Füller: Regra de Probabilidades

Aplicação

10

- Disponibilidade de registros de vazões médias diárias em vários anos.
- Definir uma série de máximas anuais
- Análise de consistência dos dados: Investigação da homogeneidade dos dados (se todos os dados se referenciam a anos nos quais não ocorreram interferências importantes nas condições naturais determinantes do regime de cheias na bacia, ou seja, se todos os elementos da amostra provêm de uma única e idêntica população).
  - Visualização gráfica
  - Teste Não-Paramétrico de Mann-Kendall
- Através de uma análise estatística, buscar melhor distribuição (Gumbel, Exponencial, Log-Pearson III, etc).
  - Eletrobrás (1987) recomenda: Assimetria < 1,5 → Gumbel
Assimetria > 1,5 → Exponencial
  - Teste de aderência da distribuição de probabilidades adotada.
    - Ex.: Teste do qui-quadrado.
- Após "descoberta" de uma distribuição estatística apropriada e a definição do tempo de recorrência desejado (Risco associado) → **VAZÃO DE PROJETO**

a) Vazão de projeto

- Vazão utilizada para o dimensionamento de obras hidráulicas
- Envolve diretamente as dimensões da obra e o seu custo
- Normalmente associada a um Tempo de Retorno → risco de falha da obra durante a sua vida útil

Período de retorno (T)

10

Período de retorno = **Tempo de recorrência** = T_r (anos)

Série anual
1 dado por ano

Período de tempo médio em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez [$X \geq Q_p$]

$$T_r = \frac{1}{P\left[X \geq Qp\right]}$$

Considere evento de magnitude Q_p com tempo de recorrência T_r

Por exemplo:
Uma vazão, acima de um determinado valor, provoca enchentes numa cidade.
A probabilidade dessa vazão ser igualada ou superada é de 5%.
O tempo de retorno é de 1/0,05 = 20 anos. Isso significa que:
→ em média, há uma expectativa de ocorrência da enchente ser igualada ou excedida uma vez a cada 20 anos
→ a probabilidade de ocorrer falha de 5%

Vazão de magnitude Q_p com tempo de recorrência Tr

Tabela Tucci et al (1995)

Tipo da obra	Ocupação do solo	T(anos)
	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2-5
	Áreas Comerciais e Artérias de Tráfego	5-10
	Áreas Comerciais e Residenciais	50-100
Macrodrenagem	Áreas de Im	500-

Quanto maior T_r → Maior Q → mais seguras, no entanto, mais caras as obras

Obras hidráulicas	Tempo de retorno
Barragens	1.000 a 10.000 anos
Galerias de águas pluviais	5 a 10 anos
Canais em terra	10 anos
Pontes e bueiros mais importantes, e que dificilmente permitirão ampliações futuras	25 anos
Obras em geral em pequenas bacias urbanas	5 a 50 anos

Obras hidráulicas	Tr
Obras de microdrenagem	2 a 10 anos
Bueiros, canais e galerias	10 a 20 anos
Obras de macrodrenagem	25 a 500 anos
Pontes	50 a 100 anos
Barragens e hidrelétricas	1000 a 10000 anos

b) Análise de Risco

QUAL O RISCO DE FALHAR?

Para as grandes estruturas → o risco deve ser minimizado

(Risco não é só para cheias, mas secas também podem causar grandes danos econômicos)

Considere evento de magnitude Q_p com tempo de recorrência T_r

A probabilidade desse evento ser igualado ou superado em um ano qualquer é:

$$P[X \geq Qp] = \frac{1}{T_r}$$

Se uma dada obra for construída para a vazão de cheia Qp correspondente ao tempo de retorno Tr, para cada ano de funcionamento do sistema, a probabilidade de ocorrer falha (vazão de projeto ser superada) é 1/Tr

Considerando somente duas possibilidades:

Falha ocorre	Probabilidade da falha acontecer: **1/Tr**
Falha não ocorre	Probabilidade da falha não acontecer: **1 – 1/Tr**

Para **n anos** de vida útil da obra ou para n anos de tempo de construção, a probabilidade do sistema **não falhar nenhuma vez nesse período** é chamada de **segurança S**:

$$S = P[x=0] = \underbrace{(1 - 1/T_r)\ (1 - 1/T_r)\ \ldots\ (1 - 1/T_r)}_{\text{n vezes}} = (1 - 1/T_r)^n$$

Consequentemente, numa série de n anos, o **RISCO DE FALHA** será representado pela probabilidade **R** de que ao menos 1 evento iguale ou exceda o evento Q_p de tempo de retorno T_r:

$$\begin{aligned} R = P[x \geq 1] &= 1 - P[x=0] \\ &= 1 - S \\ &= 1 - (1 - 1/T_r)^n \end{aligned}$$

Exercício

Sua construtora está realizando o projeto do barramento de um rio para a formação de um reservatório de usos múltiplos da água. Necessita-se determinar valores de vazões de enchentes para dimensionamento das ensecadeiras (etapas de desvio do rio) e do vertedouro (estrutura extravasora da barragem).
Estima-se o período de construção em 5 anos e a vida útil da obra em 50 anos.
Determinar os valores de projeto a serem adotados sabendo-se que a empresa deseja correr um risco de 10% de inundação do canteiro de obras durante a fase de construção, e um risco de 1% de que a vazão de cheia supere a capacidade do vertedouro.

d) Hidrologia Estatística

Conceitos importantes na Hidrologia Estatística

Estatísticas amostrais

Parâmetros que caracterizam o conjunto de dados da amostra

Média aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = E(X)$$

Desvio padrão amostral (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

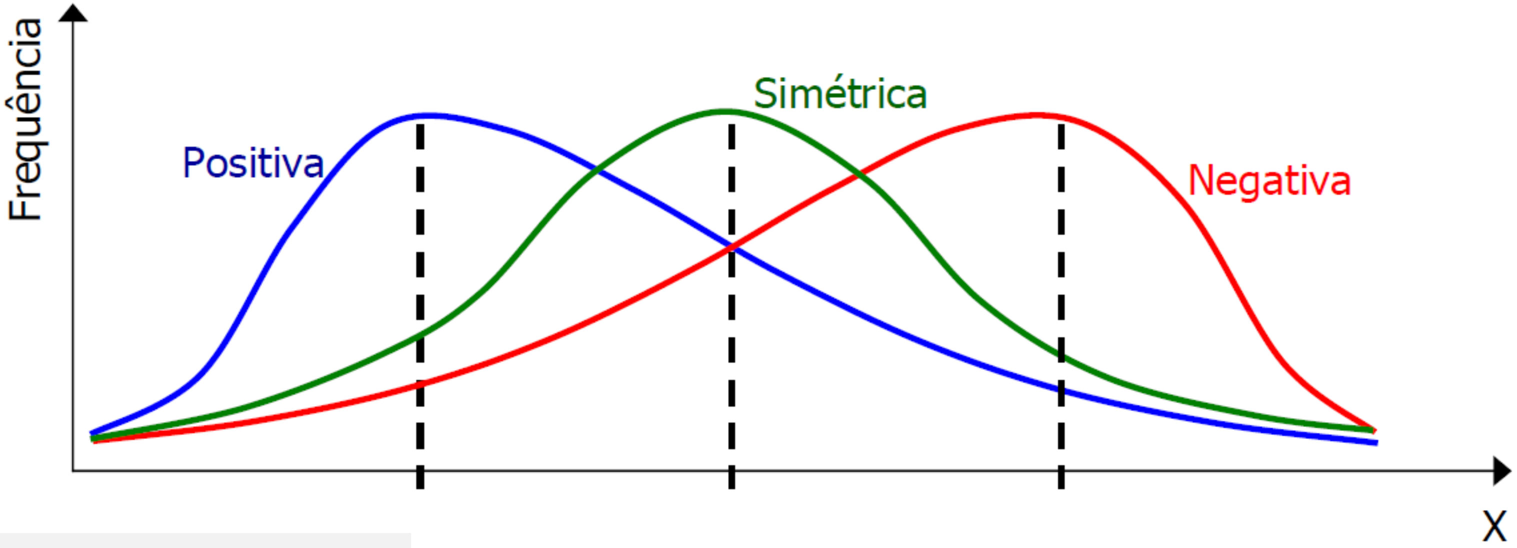
ou

$$Var(X) = s^2 = \frac{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

Assimetria

Representa a tendência de concentração das frequências em relação à média aritmética

Assimetria **positiva**: maior concentração de valores abaixo da média
Assimetria **nula**: distribuição simétrica em relação à média



Coeficiente de assimetria é a assimetria adimensionalizada pelo desvio padrão:

$$\gamma = \frac{1}{S^3 n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3$$ (Tipo comum)

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3$$ (Tipo corrigido)

Seleção da melhor distribuição para ajustes de vazões máximas

ELETROBRAS recomenda que a escolha da distribuição estatística seja feita com base na assimetria da amostra:

Coeficiente de assimetria < 1,5 → Gumbel

Coeficiente de assimetria > 1,5 → Exponencial de dois parâmetros

d.1) Distribuição de Gumbel (máximo)

10

A Distribuição de Gumbel é recomendada para ajustar séries de valores máximos anuais, como chuva e vazão
Distribuição assimétrica – assimetria positiva

Pelo método analítico

$$P[X \leq x] = F(y) = e^{-e^{-y}}$$

Onde: $$y = \frac{x - \beta}{\alpha}$$

Dois parâmetros que definem a distribuição:

$$\alpha = 0{,}7797s$$

$$\beta = \bar{x} - 0{,}45s$$

Exercício

10

Isolem x chegando numa equação de x=f(média, desvio padrão e tempo de retorno).

Resposta:

$$x = \bar{x} - 0{,}45s - 0{,}7797s \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_r}\right)\right]$$

d.2) Distribuição Exponencial de dois Parâmetros

Também recomendada para ajustar séries de valores máximos anuais.
Distribuição assimétrica – assimetria positiva

$$P[X \leq x] = F\ \ (y) = 1 - e^{-y}$$

Onde: $y = \dfrac{x - \beta}{\alpha}$

Parâmetros tem relação direta com a média e o desvio padrão amostral s:

$$\alpha = s$$

$$\beta = \overline{x} - s$$

Exercício

10

Isolem x chegando numa equação de x=f(média, desvio padrão e tempo de retorno).

Resposta:

$$x = \overline{x} - s - s\ln\left(\frac{1}{T_r}\right)$$

Exemplo 3

10

De uma série de vazões máximas anuais de 60 anos de dados de um posto fluviométrico, calculou-se a média de 387 m³/s, desvio padrão de 196,52 m³/s.
Determinar pelos métodos de Gumbel e Exponencial de Dois Parâmetros as vazões máximas com Tr de 10, 20, 50, 100 e 1000 anos.
Faça uma análise das diferenças dos resultados.

Resposta:

Tr (anos)	Gumbel	Exponencial
10	643	643
20	754	779
50	896	959
100	1003	1095
1000	1357	1548

Causas das diferenças?

10

Conceituais:
Considera-se que as vazões seguem distribuições específicas.

Extrapolação de dados:
Há extrapolação de dados, ou seja, estimativas para períodos maiores que o período de monitoramento (dados observados).

Observação:
Método de Gumbel é considerado um dos mais precisos conceitualmente.

Referências bibliográficas

- Pinto et al. 1976. Hidrologia Básica. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.
- Villela & Mattos. 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGrawHill.
- Ramos et al. 1989. Engenharia hidrológica. Rio de Janeiro: ABRH, Editora da UFRJ. Vol.2. Coleção ABRH de Recursos Hídricos.