

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ/USP
LEB 1440 – HIDROLOGIA E DRENAGEM**

Prof. Fernando Campos Mendonça

PRECIPITAÇÕES

1. Importância dos dados de chuva

Exemplos:

- a) Q_{\min} ($Q_{7,10}$; Q_{95} ; Q_{90}) – Precipitações mínimas de um ano hidrológico
 - $Q_{7,10}$ – vazão mínima de 7 dias consecutivos e com período de retorno de 10 anos
 - Q_{95} – vazão disponível em 95% do ano hidrológico
 - Q_{90} – vazão disponível em 90% do ano hidrológico
- b) Balanço hídrico climatológico – Ppts mensais, quinzenais ou decendiais
- c) Irrigação suplementar – Ppts de 5 a 15 dias
- d) Q_{\max} – Ppts intensas e curtas (≤ 24 h)

* Dados necessários:

- (a), (b) e (c): chuva de um dia (pluviômetro)
- (d): chuva instantânea (pluviógrafo)

Pluviômetros: Ville de Paris e “Paulista”

Pluviógrafos:

- de balança
- de boia
- de cubas basculantes

(FIGURAS E FOTOS – PLUVIÔMETROS E PLUVIÓGRAFOS)

2. Precipitações intensas – Caracterização

a) Altura precipitada (h, mm):

$$h = \frac{\text{vol água}}{\text{área boca coletor}}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2$$

b) Duração (t, min ou h)

$$t \begin{cases} \text{Evento como um todo} \\ \text{Período específico de interesse (geralmente uma fração do todo)} \end{cases}$$

Objetivo: calcular o escoamento superficial (enxurrada) a partir de uma chuva.

c) Intensidade média (i, mm/h)

$$i = \frac{h}{t}$$

(PLANILHA Aula 3_Gráficos Ppt)

d) Distribuição temporal

- Diagrama de blocos (geralmente 4 blocos)
- Tipos de chuva: Adiantada, Intermediária e Atrasada

(PLANILHA Aula 3_Gráficos Ppt)

e) Distribuição espacial da chuva

Exemplo: área plana c/ 400 km²

(CADERNO – PÁG. 12 – Isoietas)

- Chuvas em áreas pequenas ($\leq 2 \text{ km}^2$)

- Despreza-se a distribuição espacial da chuva
- Assumir $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}}$

- Chuva em áreas grandes ($> 2 \text{ km}^2$)
 - Considerar a distribuição espacial da chuva
 - $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}} \times K$

(EXEMPLO - CÁLCULO)

K – fator ou fração de abatimento da chuva (determinação gráfica)

$$K = f(A_b, t)$$

(FIGURA – fator K)

f) Probabilidade de excedência (P) e período de retorno (T) (Risco do evento)

- Pressuposições:
 - Clima não está mudando (na escala de tempo considerada)
 - Eventos passados têm mesma probabilidade de ocorrência futura

Período de retorno (T): intervalo de tempo (geralmente em anos) em que se espera que o evento extremo seja igualado ou superado ao menos uma vez.

$$P = \frac{m}{n} \qquad T = \frac{1}{P}$$

P – probabilidade de ocorrência de um evento igual ou superior (\geq)
 m – número de eventos iguais ou inferiores (\leq)
 n – número de dados do evento
 T – período de retorno do evento

(INICIAR COM $P = \frac{m}{n} \rightarrow$ DEPOIS MUDAR $P/P = \frac{m}{n+1}$)

(DEPOIS DE MOSTRAR A TABELA – EXPLICAR CONSTRANGIMENTO HIDROLÓGICO)

Exemplo: obtenção da chuva máxima de 24 h com um período de retorno de 5 anos (T = 5).

Dados (P = m/n)

Anos	$h_{m\acute{a}x}$ (mm)	$h_{m\acute{a}x}$ ord. (decrecente)	Nº ordem	$P = \frac{m}{n}$	$T = \frac{1}{P}$
1960	50	80	1	1/10 = 10%	10/1 = 10
1961	40	70	2	2/10 = 20%	10/2 = 5
1962	30	65	3	30%	3,3
1963	60	60	4	40%	2,5
1964	80	50	5	50%	2
1965	45	45	6	60%	1,7
1966	70	40	7	70%	1,4
1967	20	30	8	80%	1,3
1968	10	20	9	90%	1,1
1969	65	10	10	100%	1

Dados (P = m/n+1)

Anos	$h_{m\acute{a}x}$ (mm)	$h_{m\acute{a}x}$ ord. (decrecente)	Nº ordem	$P = \frac{m+1}{n}$	$T = \frac{1}{P}$
1960	50	80	1	1/11 = 9,1%	11/1 = 11
1961	40	70	2	2/11 = 18,2%	11/2 = 5,5
1962	30	65	3	27,3%	3,7
1963	60	60	4	36,4%	2,8
1964	80	50	5	45,5%	2,2
1965	45	45	6	54,5%	1,8
1966	70	40	7	63,6%	1,6
1967	20	30	8	72,7%	1,4
1968	10	20	9	81,8%	1,2
1969	65	10	10	90,9%	1,1

T = 5 anos → Entre os eventos c/ nº de ordem 2 e 3

Regra de três:

	$\Delta h_{max_1} = 5 \text{ mm}$	$\Delta T_1 = 1,8 \text{ anos}$	$\Delta h_{max_2} = 1,4 \text{ mm}$
	$\Delta h_{max_2} = x$	$\Delta T_2 = 0,5 \text{ ano}$	$h_{max(T=5)} = 68,6 \text{ mm}$

(APOSTILA, pág. 53 e 54 - GRÁFICOS - RELAÇÕES $h \times T$ e $x \times T$)

Exercícios (sala de aula):

- 1) Cálculo de chuva máxima para $T = 5$ anos (Interpolação – Tabela pág. 4)
- 2) Pluviograma $c/h(\text{mm})$ e $i(\text{mm/h})$

3. Cálculo de precipitação para determinado período de retorno $\rightarrow h = f(T)$:

n = número de dados

h = precipitação (mm)

T = período de retorno (anos)

(CADERNO – GRÁFICO $h \times T$ – Interpolação e Extrapolação)

$\rightarrow T \leq n+1 \Rightarrow$ Interpolação linear

$\rightarrow T > n+1 \Rightarrow$ Extrapolação (Ajuste de dados a um modelo matemático)

Como escolher o período de retorno para um projeto:

(CADERNO – GRÁFICO Custo $\times T$ – Ajuste e escolha de T)

Obs.: Este método não é adequado quando há risco à vida humana.

Tabela (Apostila) – Períodos de retorno (T) adotados para dimensionamento de algumas estruturas hidráulicas de controle.

ESTRUTURA	T (anos)
1 – Galeria de águas pluviais	2 a 10
2 – Terraço agrícola	5 a 10
3 – Retificação de rios em zonas rurais	20 a 100
4 – Cota de casa de bombas (irrigação)	25 a 100
5 – Bueiros e vertedores (pequenas barragens)	100
6 – Vertedores de barragens (porte médio)	1.000
7 – Vertedores de grandes barragens	10.000
8 – Vertedores de barragens muito grandes	Ppt. máxima possível (PMP)

Obs.: Período de retorno não implica em ocorrência cíclica de eventos (intervalos fixos de tempo).

Chuvas máximas com $T \leq 24$ h:

- A chuva que gera a máxima vazão para um dado período de retorno tem duração igual à do tempo de concentração da obra.

- Cada obra hidráulica tem características distintas de concentração de água.

Exemplos: BH de um grande rio

Bacia (área) de contribuição de um bueiro de rua

- Conclusão: para dimensionar obras hidráulicas é necessário conhecer as chuvas máximas para diferentes durações (t) e períodos de retorno.

- A obtenção dessas chuvas é trabalhosa (pesquisa → literatura técnica).

4. Fontes de dados de precipitações intensas no Brasil**4.1. Formas de apresentação:**a) Gráficos e Tabelas:

- Pioneiro: Engº Otto Pfafstetter (DNOS- Depto. Nacional de Obras e Saneamento)
- Estudos relativos às chuvas intensas no Brasil
- 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (hoje INMET)
- 14 postos em SP
- Publicações em 1957 (Gráficos) e 1982 (Tabelas)

Exemplo: Alturas de chuvas intensas (h) em função da duração (min ou h) e do período de retorno (anos) (CETESB, 1982)

Duração	Período de retorno (T, anos)					
	2	5	10	25	50	100
	PIRACICABA - SP					
15 min	21	24	27	30	33	35
30 min	30	37	42	48	53	58
1 h	39	48	55	65	73	81
2 h	48	58	66	78	88	98
4 h	57	70	81	96	108	122
8 h	56	83	95	113	128	145
12 h	74	91	104	124	140	168
24 h	87	106	121	144	162	182

b) Equações:

- Otto Pfafstetter:

$$h_{t,T} = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)]$$

$h_{i,T}$ – precipitação (mm) correspondente à duração t e ao período de retorno T

T – período de retorno (T , anos)

t – duração da precipitação (horas)

$a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ - constantes de ajuste da equação para cada local

Obs.: é o modelo que gerou a tabela do item anterior.

- Modelos IDF (Intensidade, Duração e Frequência)

Denardin & Freitas (1982):
$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t+c)^d}$$

i – intensidade da precipitação (mm/h)

t – duração da precipitação (min)

T – período de retorno (anos)

a, b, c, d – constantes de ajuste da equação para cada local

c) Softwares:

- Pruski et al. (2002): PLUVIO 2.1 (<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>)

- Uso de equações IDF

(EXEMPLO – USO DO SOFTWARE)d) Coeficientes de transformação:

$$\mathbf{h_{1 \text{ dia}}} \times 1,14 \rightarrow \mathbf{h_{24 \text{ h}}} \times 0,42 \rightarrow h_{1\text{h}} \times 0,74 \rightarrow h_{30\text{min}} \times 0,54 \rightarrow h_{15 \text{ min}}$$

$$\downarrow \times 0,85$$

$$h_{12\text{h}}$$

(EXEMPLO – Uso de $h_{1\text{dia}}$ p/ cálculos)

5. Análise de dados pluviométricos mensais ou anuais:

5.1. Precipitação de uma bacia (média de vários postos de coleta)

a) Média aritmética simples

(CADERNO – ESQUEMA DE BH COM POSTOS METEOROLÓGICOS)

$$\bar{h} = \frac{80+105+60+50}{4} = 73,8 \text{ mm}$$

- O método negligencia dados fora da BH e não considera a área de abrangência do posto meteorológico.

b) Método de Thiessen:

- Ponderação da média por área de influência
- Determinação da área de influência:
 - Uso de mediatrizes e circuncentros

(ESQUEMA – CADERNO)

- Passo a passo:

- Identificar os postos meteorológicos dentro e no entorno da BH
- Traçar retas pontilhadas entre os postos adjacentes
- Dividir em duas metades as retas entre cada conjunto de dois postos adjacentes
- Traçar mediatrizes entre pontos adjacentes
- Unir as mediatrizes, definir e calcular a área de influência de cada posto

(ESQUEMA E EXEMPLO – CADERNO)

5.2. Tamanho das séries históricas

- Séries históricas curtas “escondem” extremos
- Qual o tamanho mínimo da série histórica?
- Alexander Binnie (1839-1917):
 - Análise de 123 estações com mais de 50 anos de dados
 - Médias móveis (2 dados, 3 dados, ..., 40 dados)

(CADERNO – Erros médios associado ao tamanho da série)

- Dados de chuva:
 - Série ideal: ≥ 30 anos (erro médio $\leq 2\%$)
 - Série aceitável: ≥ 15 anos (erro médio $\leq 5\%$)