Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Engenharia Agrícola
Disciplina: Drenagem na Agricultura
Prof. Raimundo Nonato Távora Costa

PREVISÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS

Previsão de eventos hidrológicos

Hidrologia: ciência que estuda os recursos hídricos naturais (superficiais e subterrâneos).

Na caracterização hidrológica de uma bacia hidrográfica, os eventos naturais de maior interesse são as precipitações, o escoamento superficial e o regime dos cursos d'água.

Essência das previsões hidrológicas

Série histórica de dados → Probabilidade

Probabilidade – Conceitos

1. Clássico: $P(x) = m/n$; sendo m, o número de ocorrências observadas e n, o número de variáveis da série.
2. Baseado no ajuste de uma função de distribuição de probabilidade (f.d.p.)

Freqüência (F) e Tempo de Retorno (T)

Freqüência (F) é o número de repetições dentro de um intervalo T em anos e por sua vez, T é o intervalo de tempo médio dentro do qual o evento deve ser igualado ou superado uma vez. F é o inverso de T.

$$T = 1/F \quad \therefore \quad F \text{ ou } P = 1/T$$

No conceito de tempo de retorno, portanto, assume relevância o aspecto econômico e por essa razão em agricultura, o valor recomendado deve ser de 10 (dez) anos, o que implica em assumir certos riscos de falha ou ruptura na estrutura de controle.

Freqüência relativa e freqüência teórica

Considerando-se o conjunto de possíveis valores assumidos pela variável X (aleatória) e o número de vezes em que a mesma se repete, tem-se a freqüência relativa:

X_i (valores)	n_i (repetições)	$f(X_i)$
1	3	0,158
2	2	0,105
3	3	0,158
4	2	0,105
5	4	0,211
6	5	0,263
Total (n)	19	1,000

À medida que se aumenta o valor de n (número de lançamentos), tende a ocorrer uma convergência, ou seja; a freqüência relativa tende para a probabilidade teórica.

A probabilidade assim definida varia de 0 a 1. Se um dado valor da variável nunca ocorreu (nunca foi observado) a sua probabilidade seria P = 0. Se o mesmo valor ocorreu em todas as observações, a sua probabilidade futura seria P = 1.

Essa definição, a rigor, só se aplica a séries infinitas, ou fechadas, ou teóricas. Como em hidrologia não existem séries históricas infinitas porque as observações não puderam registrar todas as ocorrências do passado, a expressão P(x) = m/n deve ser corrigida para séries reais ou curtas.

Proposta de Kimball – Eventos extremos

$$P = [m/(n+1)] \times 100 \ (\%)$$

$$T = (n+1)/m \ (\text{anos})$$

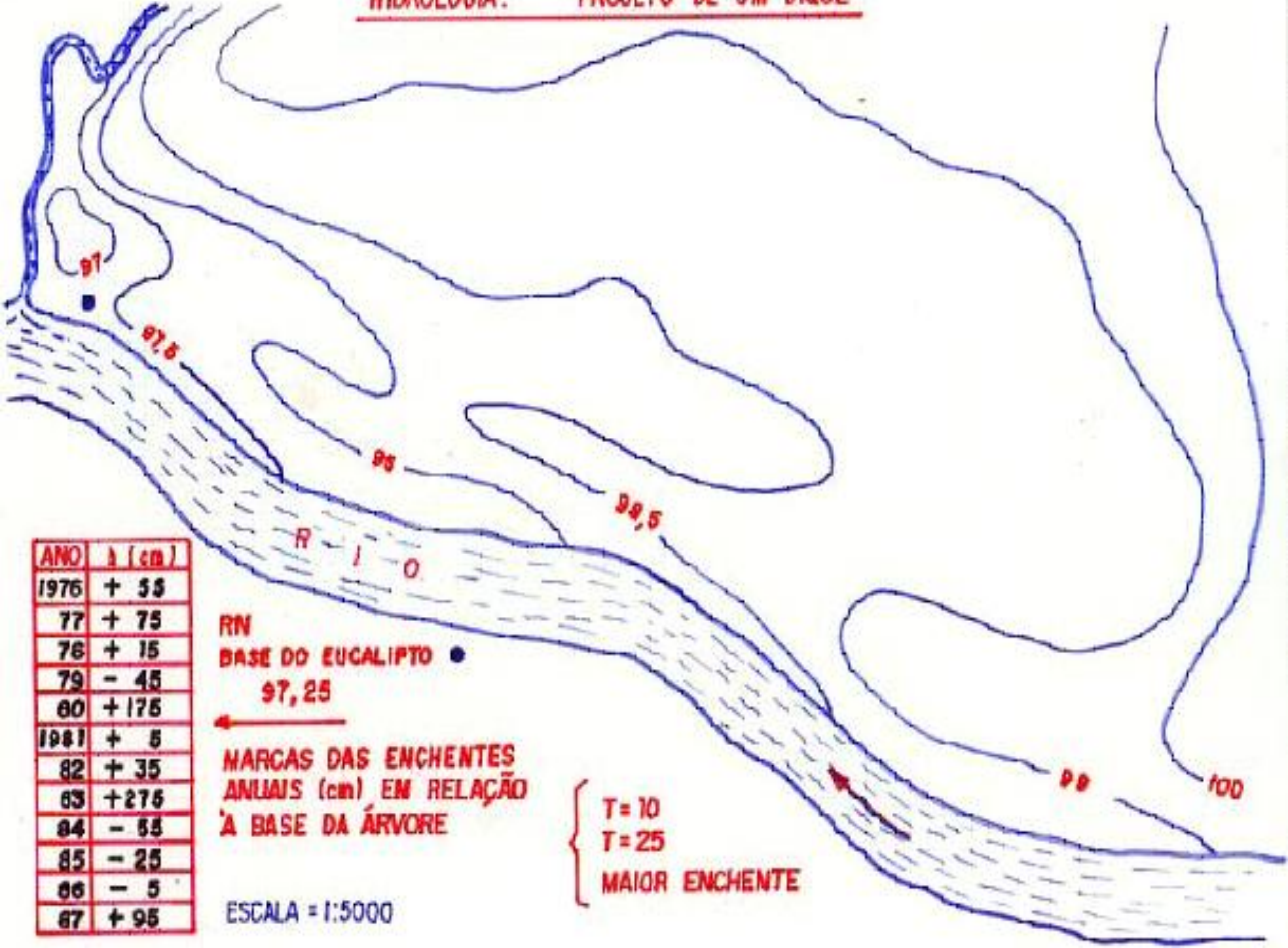
A relação de Kimball dá uma boa idéia do valor real de P, para tempos de retornos menores que **n** (número de anos de observação). Para tempos de retorno muito elevados deve-se usar uma função de distribuição de probabilidade que melhor se ajuste ao evento estudado.

Séries anuais de máximos e de mínimos

Série de máximos: ordenados em sentido decrescente. Tem-se a probabilidade de exceder um dado evento extremo.

Série de mínimos: ordenados em sentido crescente. Tem-se a probabilidade de não exceder um dado evento extremo.

HIDROLOGIA: PROJETO DE UM DIQUE



ANO	h (cm)
1976	+ 55
77	+ 75
78	+ 15
79	− 45
80	+ 175
1981	+ 5
82	+ 35
83	+ 275
84	− 55
85	− 25
86	− 5
87	+ 95

Exemplo: Estimar a altura de um dique a partir de registros de cheias máximas anuais de um rio em relação à cota (RN = 97,25 m) situada na base de uma árvore, localizada na parte mais baixa de uma várzea.

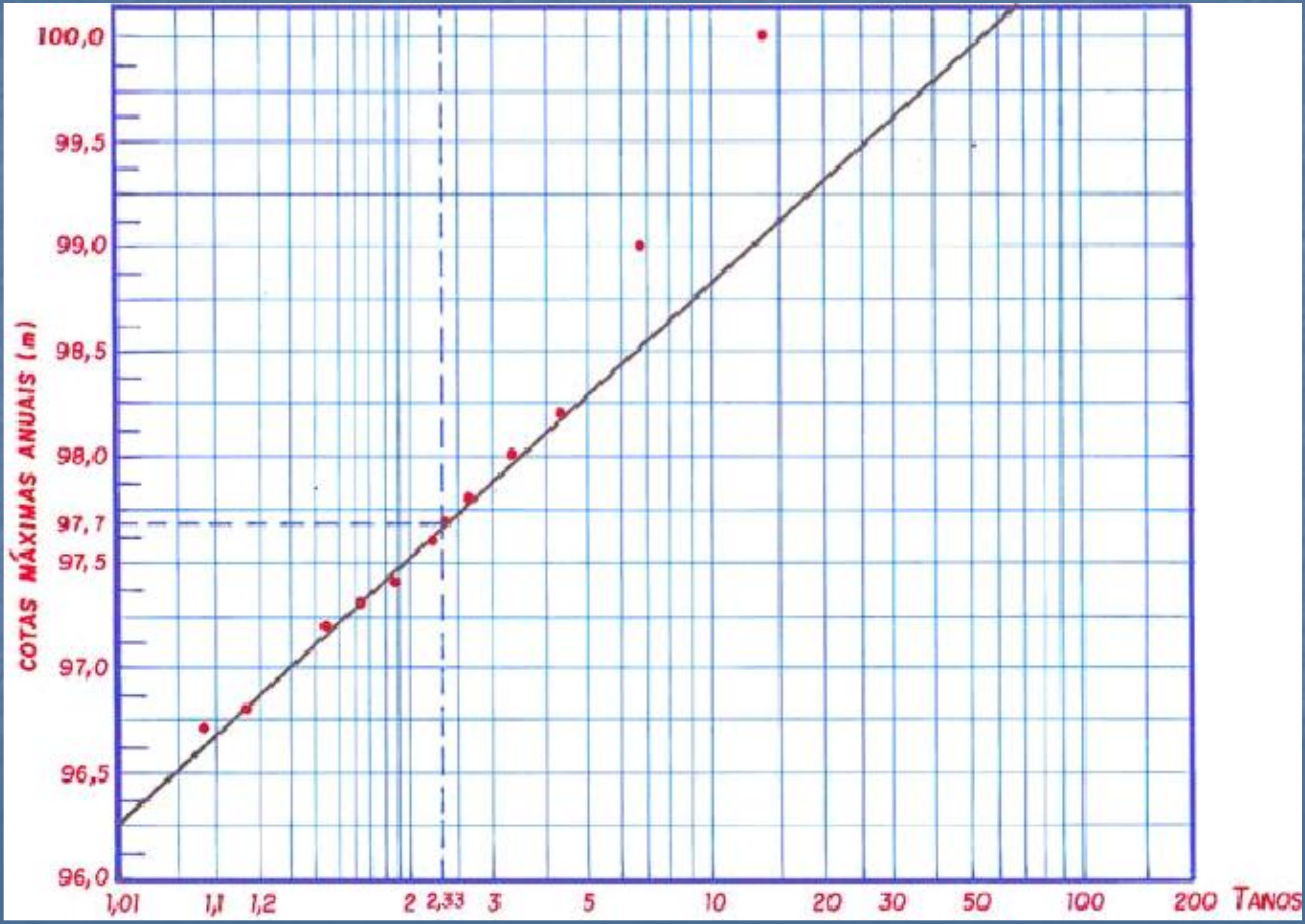
ANO	COTA (m)
1976	97,80
77	98,00
78	97,40
79	96,80
80	99,00
81	97,30
82	97,60
83	100,00
84	96,70
85	97,00
86	97,20
87	98,20

Cálculo da altura de um dique

Série de Máximas anuais – Kimball

Nº de ordem (m)	Cotas Máx. Anuais (m)	T = (n + 1) / m
01	100,00	13,00
02	99,00	6,50
03	98,20	4,33
04	98,00	3,25
05	97,80	2,60
06	97,60	2,17
07	97,40	1,86
08	97,30	1,62
09	97,20	1,44
10	97,00	1,30
11	96,80	1,18
12	96,70	1,08

De acordo com o gráfico de Gumbel, plotando os dados de Kimball, tem-se: T = 10 anos ⇒ Cota ≅ 98,8m :. h = 1,55m.



Relação de Kimball no gráfico de Gumbel

A distribuição de probabilidade mais usual em hidrologia para análise de eventos extremos é a distribuição de Gumbel. Porém, os valores da série anual e seus respectivos períodos de retorno (T), calculados por Kimball, podem ser ajustados no papel de Gumbel. Verifica-se que os primeiros valores da série, até o evento de ordem **m = 3** na maioria dos casos, mostram-se dispersos em relação aos demais. Esse é um fato que sempre ocorre, quando T é calculado por Kimball e se usa o papel de Gumbel. No entanto, com exceção desses pontos, o ajuste apresenta um resultado satisfatório.

A distribuição de Gumbel

$$P = 1 - e^{-e^{-b}}$$ (Probabilidade de um evento da série ocorrer em valor igual ou maior no futuro).

$$P' = e^{-e^{-b}}$$ (Probabilidade de que o evento da série anual não será igualado no futuro).

Tempo de retorno (T) $= \dfrac{1}{P} = \dfrac{1}{1 - e^{-e^{-b}}}$

Ex.: T = 50 anos:. $50 = \dfrac{1}{1 - e^{-e^{-b}}}$

b = 3,9019 (variável reduzida)

A distribuição de Gumbel

Período de retorno T (anos) em função da variável reduzida "b"

b	(*) T	Probabilidade de Exceder	Probabilidade de Não Exceder
0,000	1,58	0,632	0,368
0,367	2,00	0,500	0,500
0,579	2,33	0,429	0,571
1,500	5,00	0,200	0,800
2,250	10,00	0,100	0,900
2,970	20,00	0,050	0,950
3,198	25,00	0,040	0,960
3,395	30,00	0,033	0,967
3,902	50,00	0,020	0,980
4,600	100,00	0,010	0,990
5,296	200,00	0,005	0,995
5,808	300,00	0,003	0,997
6,214	500,00	0,002	0,998
6,907	1000,00	0,001	0,999

A distribuição de Gumbel

Um ponto teórico da distribuição de Gumbel corresponde ao valor da média aritmética da série analisada, ao qual corresponde a variável reduzida b = 0,579 e o período de retorno T = 2,33. Em outras palavras, o T da média da série é de 2,33 anos. Esse ponto é importante e serve de referência para o traçado da reta de distribuição (ajuste).

Cálculo do evento: $$X = \overline{X} + \frac{\sigma_X}{\sigma_N}(b - \overline{Y}_n)$$

sendo:

$\overline{X}$: média da série finita;

σx: desvio padrão da série finita;

σn: desvio padrão reduzido (tabelado);

b : variável reduzida;

$\overline{Y}_n$: média reduzida (tabelado).

A distribuição de Gumbel

Média reduzida ($\bar{Y}_n$) em função de nº de dados (n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									
150	0,5635									
200	0,5672									

A distribuição de Gumbel

Desvio padrão reduzido σ_n em função do número de dados (n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,5065									
150	1,230									
200	1,236									

$\overline{X}$

Cálculo da altura de um dique

Média (X)= 97,7 m

Para T = 10 anos :. b = 2,25

σx = 0,958

σn = 0,9833

Yn = 0,5035

Substituindo em $X = \overline{X} + \frac{\sigma_x}{\sigma_n}(b - \overline{Y}_n)$

tem-se X = 99,4m.