

## Capítulo 3

### Período de retorno

**Engenharia = matemática + bom senso**  
**Prof. Marmo, curso Anglo-Latino, 1961**

## SUMÁRIO

<b>Ordem</b>	<b>Assunto</b>
3.1	Introdução
3.2	Risco e frequência
3.3	Frequência
3.4	Risco e incerteza segundo USACE
3.5	Seleção do melhor projeto

## Capítulo 3– Período de retorno

### 3.1 Introdução

**Período de retorno (T)** é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. “É um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais, etc” (Righeto, 1998).

Para estabelecer o período de retorno é recomendado:

- a) Bom senso
- b) Custos das obras
- c) Prejuízos finais

Linsley, Franzini et al. (1992) aconselha o uso de período de retorno de 100 anos, conforme lei dos Estados Unidos (*Flood Disaster and Protection Act of 1973*) e exigências de seguro para as inundações.

O professor dr. Kokei Uehara, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, recomenda o uso de período de retorno de 100 anos em piscinões e obras públicas importantes.

O importante no período de retorno de 100 anos, são os benefícios intangíveis, isto é, os que não podem ser transformados em dinheiro.

Zahed e Marcellin, 1995, analisando gráficos da variação da vazão de projeto com o período de retorno e gráficos do período de retorno com o gradiente da vazão, observaram também com muita propriedade, que *nem sempre a escolha de um período de retorno maior, ocasiona uma elevação no custo da obra, como se poderia supor.*

Zahed e Marcellini em *Drenagem Urbana* (1995), afirmam que a escolha da tormenta para os projetos de obras de drenagem urbana deve ser considerada de acordo com a natureza das obras a projetar. Deve-se levar em conta os riscos envolvidos quanto à segurança da população e as perdas materiais.

Para o piscinão do Pacaembu foi adotado período de retorno de 25 anos, porém foi estudado também o período de retorno de 50 anos.

Antigamente se escolhia um período de retorno e se calculava uma obra de macrodrenagem. Atualmente costuma-se verificar outros períodos de retorno.

Porto, 1995, salienta os critérios políticos, sociais e econômicos para a definição do período de retorno. Os fatores sócio-econômico característicos das inundações são: número de perdas humanas (fatalidades e número de evacuações) e danos materiais. Nos países ricos praticamente não há perdas de vida com as enchentes enquanto que nos países em desenvolvimento, as fatalidades e evacuações são enormes. Em abril de 1991 em Bangladesh morreram nas enchentes 140.000 pessoas (Kundzewicz e Kaczmarek, 2000).

A China perdeu em 1996 cerca de 30 bilhões de dólares e em 1998 26,5 bilhões de dólares com as enchentes. No rio Reno na Europa houve duas enchentes no intervalo de 13 meses com chuva de período de retorno de 100 anos.

A famosa enchente dos rios Mississipi e Missouri em 1993 nos Estados Unidos deu-se em período de retorno de 100 anos a 500 anos, atingindo prejuízos de 16 bilhões de dólares.

Os prejuízos anuais médios das enchentes no mundo são da ordem de 16 bilhões de dólares e nos Estados Unidos de 2 bilhões de dólares. O Brasil não possui dados.

Para obras de macrodrenagem a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e a Prefeitura Municipal de São Paulo no estudo denominado Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo, elaborado em 1998, adotou na página 188 o **período de retorno de 100anos**, como o mais recomendado conforme “literatura mais recente disponível sobre o assunto”.

**DICA: adotar período de retorno de 100anos para o projeto de piscinões em áreas urbanas**

**Dica: adotar período de retorno de 25anos na microdrenagem e em pontos especiais onde existem hospitais, etc adotar período de retorno de 50 anos.**

Conforme Chin, 2000 na prática da engenharia se diz “inundação de 100anos” e então há um entendimento errado de que a inundação vai ocorrer uma vez em 100 anos. A ASCE (*American Society Civil Engineer*) recomenda que para divulgação pública deve ser evitado o uso do período de retorno e sim deve ser mencionada a probabilidade anual. Assim de dizer que a obra foi projetada para “inundação de 100 anos”, deve-se dizer que a inundação tem probabilidade de 1% de acontecer em cada ano.

O DAEE para os estudos da bacia do rio Aricanduva usou em 1999 períodos de retorno de : 2 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos. Para o córrego Pirajussara foi usado período de retorno de 10anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos. Para o ribeirão dos Meninos, afluente do rio Tamanduatei foi usado período de retorno de 2 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos. Para o rio Tietê no trecho entre a barragem Edgard de Souza e a barragem da Penha foi usado período de retorno de 100 anos.

**O horizonte do projeto em todos os rios e córregos do Alto Tietê foi de 20 anos.** Tudo isto está no direcionamento do *Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT)* do DAEE.

**Dica: o horizonte de projeto deve ser de 20anos a 25anos.**

### 3.2 Risco e frequência

A probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico de uma observação é o inverso do período de retorno (Mays, 2001 p. 317).

$$P = 1/T$$

Como exemplo, para período de retorno de 100 anos a probabilidade é  $P = 1/100 = 0,01$

A probabilidade de ocorrer em um ano, uma chuva de período de retorno de 100anos é de 1% (0,01). A probabilidade de não ocorrer é  $1 - 0,01$ , ou seja, 0,99 (99%).

Matematicamente teremos:

$$P = 1 - 1/T$$

Como cada evento hidrológico é considerado independente, a probabilidade de não ocorrer para “n” anos é:

$$P = (1 - 1/T)^n$$

A probabilidade complementar de exceder uma vez em “n” anos será:

$$P = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Então o valor de P é considerado um **risco hidrológico de falha**, usando a letra R ao invés da letra P.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Conforme Righetto, 1998, a *probabilidade de ocorrência* de um evento que ponha em risco a obra e todo o sistema fluvial a jusante de uma barragem ao longo de um período de “n” anos de utilização das instalações ou vida útil, é definida como *risco “R”* é expressa por:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n \quad \text{(Equação 3.1)}$$

Sendo:

T= período de retorno (anos);

n= número de anos de utilização das instalações ou vida útil;

R= risco (entre zero e 1).

**Tabela 3.1- Risco em função da vida útil e do período de retorno**

T (anos)	Vida útil da obra (anos)				
	2	5	25	50	100
2	75%	97%	99,9%	99,9%	99,9%
5	36%	67%	99,9%	99,9%	99,9%
10	19%	41%	93%	99%	99,9%
25	25%	18%	64%	87%	98%
50	40%	10%	40%	64%	87%
100	2%	5%	22%	39%	63%
500	0,4%	1%	5%	9%	18%

Fonte: Porto, Rubem, *Escoamento Superficial Direto in Drenagem Urbana*, 1995 ABRH.

**Exemplo 3.1 de aplicação da Tabela (3.5) do risco em função da vida útil e do período de retorno**

Uma obra com duração de 50 anos e período de retorno de 100 anos. Qual o risco de a mesma vir a falhar pelo uma vez, durante sua vida útil? Verificando-se a Tabela (3.2) entrando com o período de retorno de 100 anos e vida útil da obra de 50 anos, há 63% de risco da obra vir a falhar durante os 50 anos de vida útil.

**Exemplo 3.2 da aplicação de  $R = 1 - (1 - 1/T)^n$**

Qual é o risco de ocorrer chuva superior à crítica, nos próximos 5 anos sendo que foi considerado o período de retorno de 2 anos?

Portanto n=5 anos e fazendo-se as contas temos:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n = 1 - (1 - 1/2)^5 = 0,97$$

ou seja, há um risco de 0,97, ou seja, 97% de ocorrer uma chuva superior à crítica nos próximos 5 anos.

### Exemplo 3.3 do piscinão do Pacaembu

Qual o risco de ocorrer uma chuva superior à crítica em um ano, com período de retorno adotado de 25 anos.

Portanto  $n=1$  anos e fazendo-se as contas temos:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n = 1 - (1 - 1/25)^1 = 0,04$$

ou seja, há um risco de 0,04, ou seja, 4% de ocorrer uma chuva superior á crítica em um ano.

### Exemplo 3.4 de aplicação do risco:

Qual o período de retorno para um risco de 50% em 5 anos?

Da fórmula do risco tirando o valor de  $T$  temos:

$$T = 1 / (1 - (1 - R)^{1/n}) \quad (\text{Equação 3.2})$$

Sendo  $R=0,50$  temos:

Usando a Equação (3.2) temos:

$$T = 1 / [1 - (1 - 0,5)^{1/n}] = 1 / [1 - (1 - 0,5)^{1/5}] = 8 \text{ anos}$$

### Exemplo 3.5 de aplicação do risco:

Qual o risco que a canalização do rio Tamanduatei na capital de São Paulo, falhe uma ou mais vezes considerando que o projeto foi efetuado para período de retorno de 500 anos e a vida útil da obra é de 50 anos? (EPUSP)

Sendo  $T=500$  e  $n=50$  substituindo na fórmula abaixo teremos:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n = 1 - (1 - 1/500)^{50} = 0,095 \text{ ou seja } 9,5\%$$

### 3.3 Freqüência (F)

Define-se freqüência (F) como sendo o inverso do período de retorno, ou seja,

$$F = 1/T \quad (\text{Equação 3.3})$$

### 3.4 Risco e Incerteza segundo USACE

#### Melhor estimativa

O *United States Army Corps of Engineer* (USACE) há tempos usa para os projetos e planificação dos recursos hídricos, da *best estimate*, ou seja, a melhor estimativa para a avaliação da chuva de enchente.

### Análise de sensibilidade

Depois começaram a usar a *sensivity analysis*, ou seja, a análise de sensibilidade que investigava as incertezas dos parâmetros. Mas esta tentativa falhou devido ao número muito grande de incerteza e como elas se interagem. Depois de 1994 a USACE passou a quantificar dos riscos e das incertezas como a melhor alternativa. Foi então estabelecida nova metodologia pela USACE baseada no risco e incerteza.

### Riscos e Incertezas

Vamos exemplificar de que maneira a USACE interpreta os riscos e a incerteza.

1. **Risco hidrológico:** a descarga  $Q$  é associada com a probabilidade esperada  $p$ . Nos Estados Unidos é muito usada *log-Person Tipo III*, que foi padronizada pelo *U.S. Water Resources Council* em 1981 (Mays, 2001 p. 321). Isto não foi devidamente justificado, pois, pode-se usar para a distribuição de freqüências a distribuição log-normal, Gumbel (Valores extremos Tipo I), por exemplo.
2. **Incerteza hidrológica:** a variabilidade na estimativa dos momentos da distribuição de  $Q$  e a precisão das curvas de freqüência. Na maioria dos estudos hidrológicos, a estimativa dos parâmetros é determinada por uma quantidade limitada de série de dados. Trata-se de amostra usada na estatística.
3. **Incerteza da vazão de saída:** a descarga  $Q$  não é perfeitamente determinada devido a problemas do conhecimento perfeito da geometria, rugosidade, regime de escoamento, sujeiras e imprecisões técnicas analíticas. A curva cota-descarga nem sempre é perfeita, ainda mais quando associada a outras estruturas. As estimativas de vazões devido aos vertedores, por exemplo, apresentam resultados as vezes bem diferentes do esperado. Poderão ser feitas análise de incerteza de primeira ordem, como (*Mays e Tung, 1992*) fizeram para a fórmula de Manning.
4. **Performance dos diques:** há uma grande incerteza em estabelecer os níveis em que um dique falha devido a inúmeras variáveis inclusive sobre a fundação do dique
5. **Incerteza dos prejuízos da inundação:** os danos de uma inundação e a definição da área a ser inundada nunca são precisos. As estimativas de danos às áreas residenciais e comerciais são bastantes vagas, pois, dependem do tipo de edifício, do andar em que estão os prejuízos. Na prática tem havido grandes erros de estimativa dos prejuízos da inundação.

Segundo a USACE, 1992 in *Flood Risk Management and the American River Basin, 1995* as definições de risco e incerteza são:

**Risco:** o potencial para realização do não esperado, com conseqüências adversas. A estimativa do risco é usualmente baseada na expectativa dos resultados de uma condição de probabilidade da ocorrência do evento multiplicado pela conseqüência do evento, dado que isto ocorreu.

**Incerteza:** situações incertas são aquelas em que os resultados não podem ser previstos por probabilidade de distribuição conhecida e os resultados são indeterminados.

Como se pode ver os riscos dão uma idéia de:

1. perigo
2. de perdas esperadas ou risco relativo ao projeto
3. que a probabilidade de que um dique será ultrapassado pelas águas

O risco dá uma idéia de situação adversa de eventos não esperados.

A incerteza tem tido muitos significados. Na literatura a incerteza é usada muitas vezes quando não possuímos a probabilidade. Por outro lado, incerteza é usada para definir situações de que não temos certeza. A informação de incerteza que significa simplesmente a falta de certeza, não é adequada. Quando não temos informações ou elas são imprecisas, isto é incerteza.

### **3.5 Seleção do melhor projeto:**

As perguntas fundamentais para avaliação de um projeto para combater a inundação são:

*Qual a probabilidade da área ser inundada?*

*Os parâmetros econômicos justificam o projeto?*

*São confiáveis as análises das alternativas econômica dos projetos?*

Para cada alternativa escolhida deve ser sempre seguida a seguinte ordem:

1. Escolher a melhor estimativa da probabilidade dos eventos hidrológicos. É o mais importante, pois a região beneficiada está primeiramente interessada na sua segurança do que no custo da obra.
2. Elaborar estudos de benefícios/custos baseado nos danos anuais. Não esquecer os problemas ambientais, sociais e os impactos causados pelos mesmos.
3. Medir as incertezas e falta de precisão dos itens 1 e 2
4. Estudar medidas de confiança do sistema a ser implantado para entendimento do público.

### **3.6 Escolha do período de retorno**

A escolha do período de retorno é um dos grandes problemas da hidrologia, motivo pelo qual há muita discussão sobre o assunto. Não devemos esquecer que em primeiro lugar devemos adotar um modelo hidrológico adequado que produza menos erros.



Palos e Thadeu em trabalho publicado no XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos usando período de retorno de 50anos calculou o córrego Rincão usando três métodos.

Para o método de Ven Te Chow achou-se a vazão de  $80\text{m}^3/\text{s}$  e para o método de I-PAI Wu achou-se  $140\text{m}^3/\text{s}$ , enquanto para o método SCS achou-se  $235\text{m}^3/\text{s}$ , que é a vazão correta.

Daí se pode perceber que *a escolha do período de retorno adequado deve ser aliada ao modelo adequado.*

Os métodos de Ven Te Chow e I-PAI WU ainda são mais usados por vários órgãos públicos no Estado de São Paulo, embora estejam em desuso.

Um grande problema que ocorre em áreas urbanizadas e inteiramente consolidadas como algumas áreas da região metropolitana de São Paulo é a escolha de período de retorno de 100 anos, cujas obras são praticamente impossíveis de serem realizadas devido a espaço físico e custos. Não podemos fugir desta realidade, motivo pelo qual se adota período de retorno de 25anos como prática geral.

Para obras específicas poderá ser determinado período de retorno maiores que 25 anos, dependendo dos prejuízos que a enchente causará.

**Dica: escolha o modelo hidrológico e a período de retorno o melhor possível.**

**Dica: períodos de retorno que recomendamos:**

**Microdrenagem: 25 anos**

**Macrodrenagem: 100 anos**

**Bueiros: 100 anos**