

## 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 *sensitivity 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 adota-se 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.**