



Retenção e Detenção

Prof. Dr Joaquin Bonnacarrère

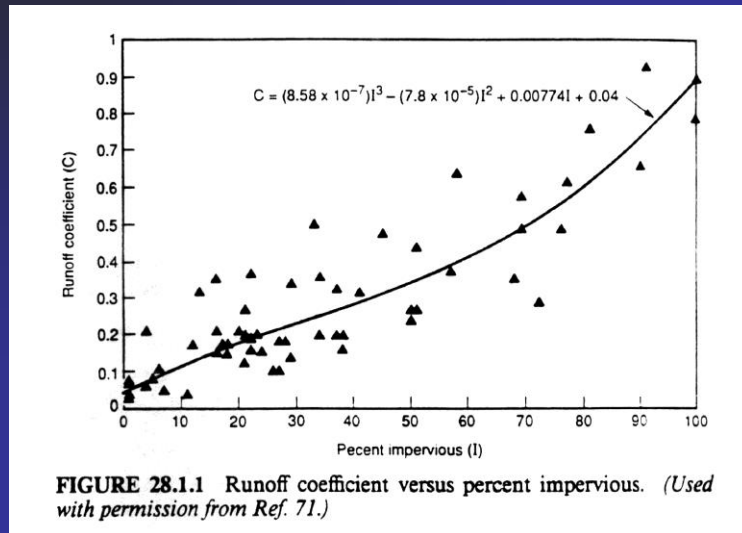
Armazenamento Natural

- Água retida pela vegetação
- Água infiltrada e retida no solo
- Água retida em depressões do terreno
- Água retida em grandes depressões e lagos
- Água armazenada dinamicamente nos rios e várzeas



Consequências da Urbanização

Sobre o Regime Hidrológico



Consequências da Urbanização

Sobre o Regime Hidrológico

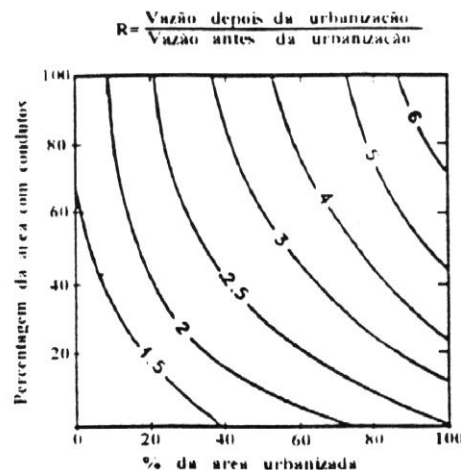
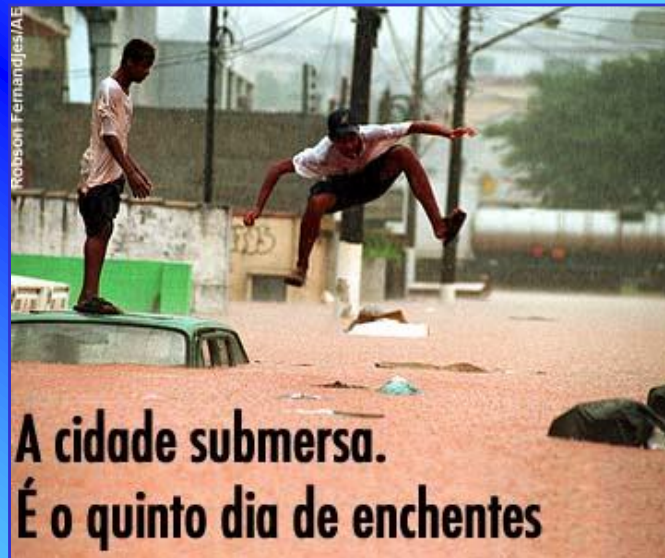


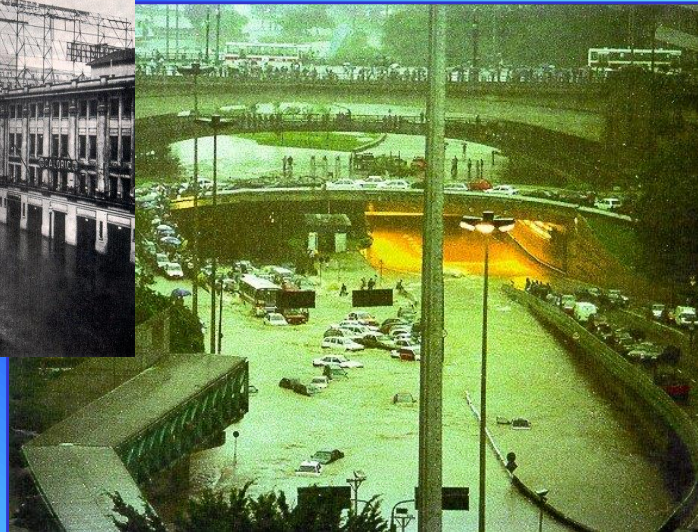
Figura 7.2 Aumento da vazão máxima (Leopold, 1968)



A Cheia de 22.02.1999



**A Inundação
do
Anhangabaú
em 1929**



**A Inundação do Túnel do Anhangabaú
(Centro de São Paulo) em 01.03.1999**

Consequências da Urbanização Sobre a Qualidade das Águas

- Ocupação desordenada das áreas urbanas gera problemas de poluição nos mananciais.
- Em eventos de chuvas intensas, há o carreamento de material da bacia para a drenagem natural ou artificial.
- Fontes : poluição pontual e poluição difusa. Possíveis soluções: na rede de drenagem ou na fonte.



Consequências da Urbanização Sobre o comportamento político e administrativo

- Não se planeja a médio e longo prazos
- Pressões para ocupação do solo
- Preferência por obras de grande visibilidade



Drenagem Urbana

Conjunto de obras e medidas cujos principais objetivos são :

- minimizar prejuízos por inundações em áreas urbanas
- diminuir riscos a que as propriedades estão sujeitas
- possibilitar desenvolvimento urbano harmônico e articulado



Medidas Estruturais e Não-Estruturais

Estruturais:

•Tipos:

- Obras de afastamento de cheias
 - Micro e Macro-drenagem
 - Diques de contenção
 - Reversão de Bacias



Medidas Estruturais e Não-Estruturais

Estruturais:

•Critérios de Projeto:

- Período de Retorno (Condições sociais, econômicas e culturais)
- Produção de sedimentos (galerias x canais)
- Coeficientes de Rugosidade
- Ocupação Máxima da bacia



Medidas Estruturais e Não-Estruturais

Estruturais:

•Precauções:

- Riscos de rompimentos
- Ocupação do leito maior



Medidas Estruturais e Não-Estruturais

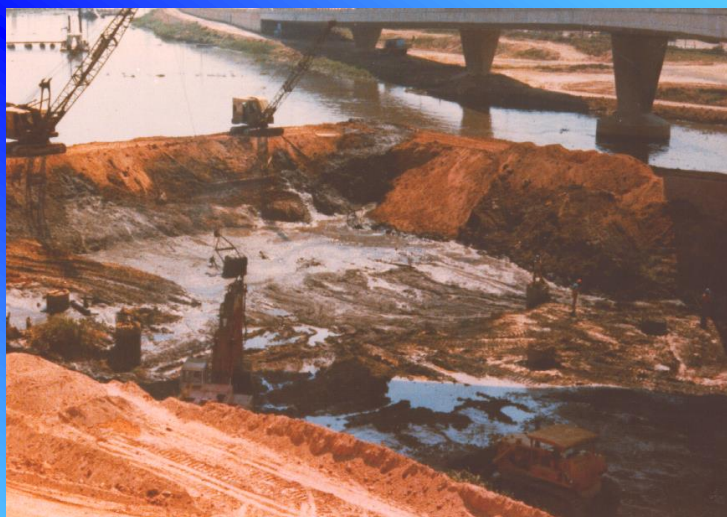
Estruturais:

•Desvantagens:

- Execução de obras
- Intervenção na drenagem natural
- Intervenção no canal
- Efeitos localizados : deslocamento das inundações
- Alto Custo : investimentos concentrados



As Obras de Retificação do rio Tietê na Década de 70



Obras de Aprofundamento na Década de 80

Medidas Estruturais e Não-Estruturais

Estruturais:

•Desvantagens:

- Riscos hidrológicos
- Alteração do comportamento hidrológico da bacia
- Operação e manutenção
- Impactos ambientais





Obras de Desassoreamento - Trabalho Constante

Medidas Estruturais e Não-Estruturais

Não-Estruturais:

•Vantagens:

- Apóiam-se em aspectos de carácter sócio-políticos, como educação da população e participação pública.
- São de custo muito mais baixo, mas nem por isso de aplicação mais fácil.



Armazenamento Artificial

- Objetivo de repor ou aumentar o armazenamento perdido pela alteração do uso e ocupação do solo (urbanização ou agricultura) para retardar a taxa de resposta do escoamento superficial das áreas pavimentadas e do sistema de drenagem artificial (tubos, canais).



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Fonte:

- Armazenamento próximo à formação do escoamento direto:
 - Reservatórios pequenos;
 - Permitem utilização mais eficiente do sistema de drenagem a jusante.



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Categorias de Armazenamentos na Fonte:

- **Disposição local:**
 - infiltração, percolação, pavimento poroso
- **Controle na entrada**
 - armazenamento em telhados, áreas de estacionamento
- **Detenção local :**
 - drenos, lagoas “secas” ou “molhadas”, reservatórios de concreto



**Pavimento
Permeável**

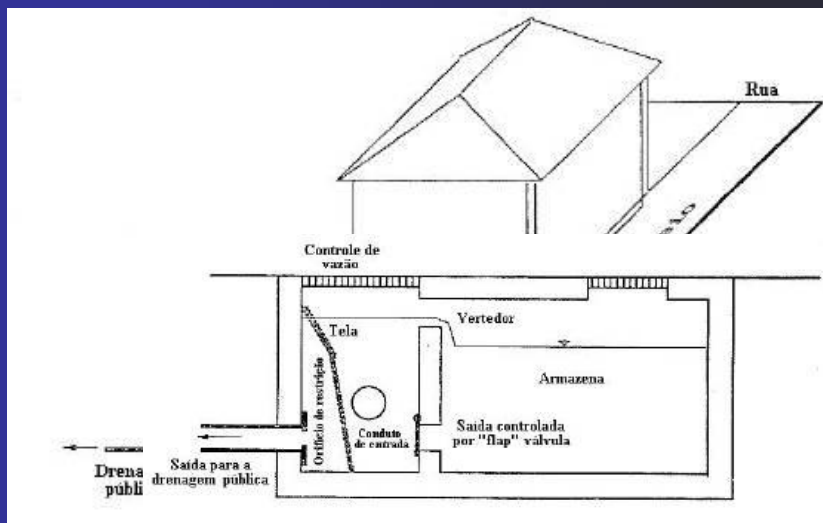
Controle na Fonte: Retenção no lote



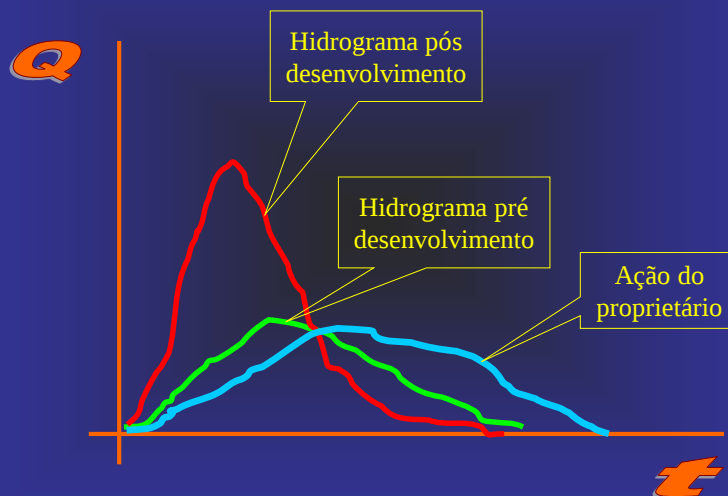
Princípios Fundamentais do Controle no Lote

- O proprietário não tem o direito de provocar inundações para jusante e passar os custos de controle para a sociedade
- As vazões descarregadas não podem ser superiores à condição de pré desenvolvimento
- As ações e custos para manter as condições pré desenvolvimento são de responsabilidade do proprietário

Princípios Fundamentais do Controle no Lote



fonte: Tucci, Carlos E.M., "Elementos para Controle da Drenagem Urbana"



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- ▶ elaborou a lei 13.276, sancionada dia 04 de janeiro de 2002 e;
- ▶ regulamentada pelo Decreto nº 41.814 em 15 de março de 2002
- ▶ também conhecida como a lei das 'piscininhas'
 - ▬ obriga a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m²



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- O volume de armazenamento do reservatório obedece à equação:
$$V = 0,15 \times A_i \times IP \times t, \text{ onde}$$
 - V = volume do reservatório (m³),
 - A_i = área impermeabilizada (m²),
 - IP = índice pluviométrico igual a 0,06 m/h, t = tempo de duração da chuva igual a um hora.
- Os estacionamentos em terrenos autorizados, existentes e futuros, deverão ter 30% (trinta por cento) de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável.



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- A água contida pelo reservatório deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis.



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- ♦ A Lei 13.276 tem função tripla: aumentar a área permeável do solo, diminuir o risco de inundações e reservar água para fins não potáveis nos empreendimentos;
- ♦ A lei paulista apesar de não ser perfeita já é um avanço na legislação pois leva em consideração a possibilidade de uso da água de drenagem.



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- ♦ Toda retenção é válida, pois descongestiona os dutos da cidade, e ajuda a respeitar as vazões de restrição;
- ♦ Com o aumento do número de edifícios com reservatórios, os resultados benéficos da retenção tendem a ser mais significativos;
- ♦ Caso o destino da água seja a infiltração no solo, haverá recarga de aquíferos;



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- ♦ Possibilidade de proliferação de animais transmissores de doenças se não houver regulamentação de mecanismos que impeçam acesso de animais e facilitem a manutenção da limpeza do reservatório;
- ♦ O índice pluviométrico (60 mm/h) usado na Lei 13.276 para o cálculo do volume do reservatório é o de uma chuva bastante intensa (TR = 10 anos);
- ♦ Lei 13.276 não dá diretrizes de execução e mecanismos de fiscalização do escoamento adequado da água;



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Exemplo da Prefeitura de São Paulo

- ♦ Se a rotina de bombeamento não for regulamentada, já que em geral, está a cargo dos zeladores, as bombas podem ser ligadas aleatoriamente, lançando água quando ainda estiver chovendo em áreas críticas;
- ♦ Adição de custos à construção civil;
- ♦ Aumento no consumo de energia;



Controle na Fonte x Controle a Jusante

Jusante

- Redução nos custos de construção, operação e manutenção (efeito de escala)
- Dificuldade em encontrar local adequado
- Grandes barragens ou reservatórios podem encontrar oposição pública



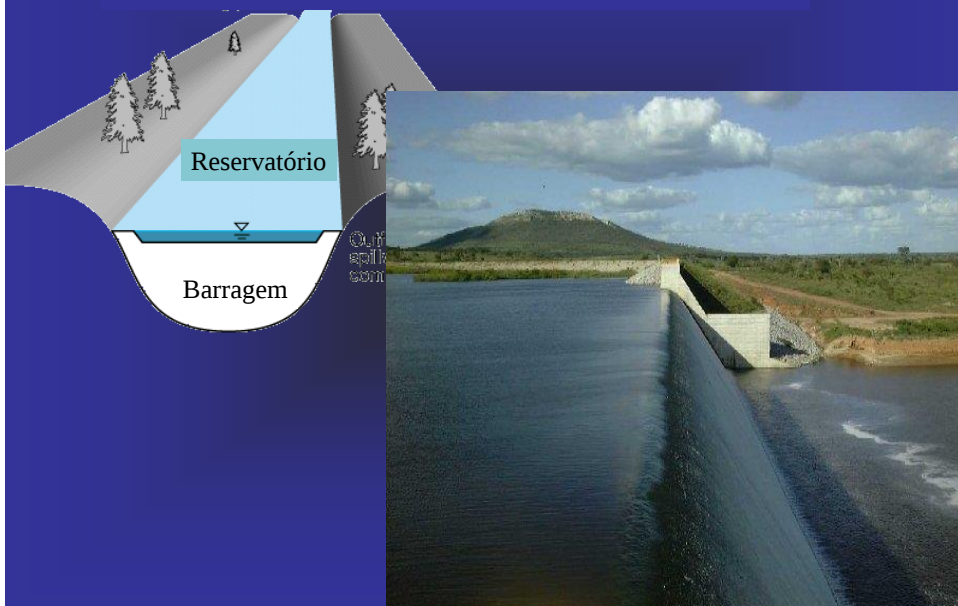
Controle na Fonte x Controle a Jusante

Categorias de Armazenamento a Jusante

- Reservatórios no Rio (“in stream”)
- Reservatórios fora do rio (“off-stream”)



Reservatório “in stream”



Reservatório “in stream”



Reservatório “in stream”



Reservatório “in stream”



“Piscinão do Pacaembu”

Reservatório “in stream”

Durante a
construção

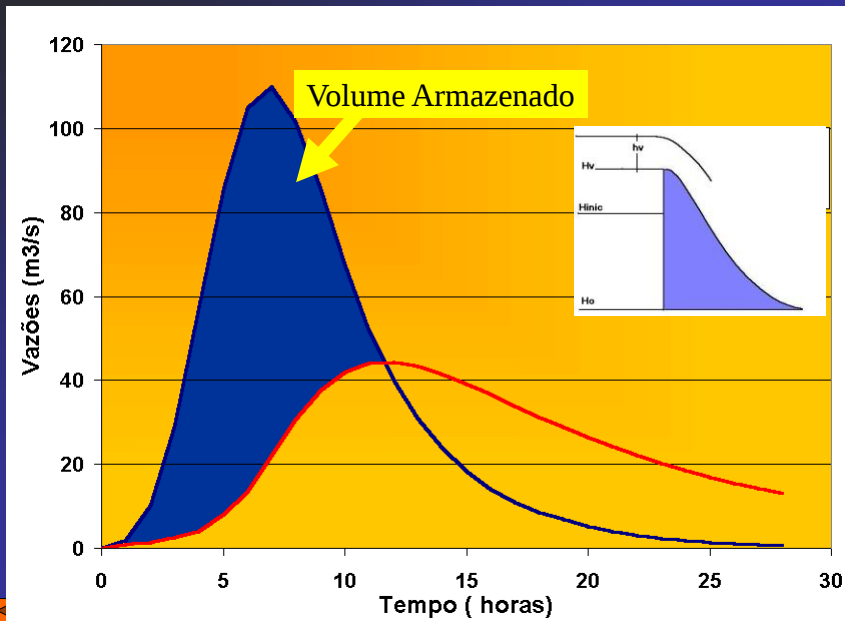


“Piscinão do Pacaembu”



Após a construção

Bacia de Detenção “In stream”



Reservatório “off stream”



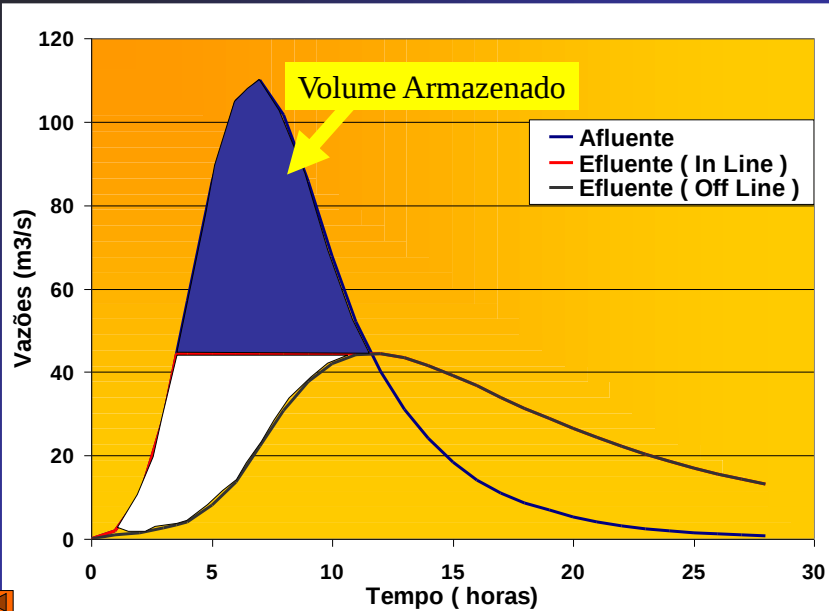
Reservatório “off stream”



Reservatório “off stream”



Bacia de Detenção “Off Line”



Tipos de armazenamento

- Retenção
- Detenção
- Condução

Tipos de Armazenamento

RETENÇÃO :

- O escoamento de um dado evento de cheia é armazenado e NÃO é descarregado no sistema de drenagem a jusante durante o evento.
- A água armazenada pode ser utilizada para irrigação, manutenção de vazão mínima ou para ser evaporada ou infiltrada no solo.
- O reservatório é permanentemente preenchido com água (reservatório “molhado”)



Lago Permanente - Uso Recreacional

Tipos de Armazenamento

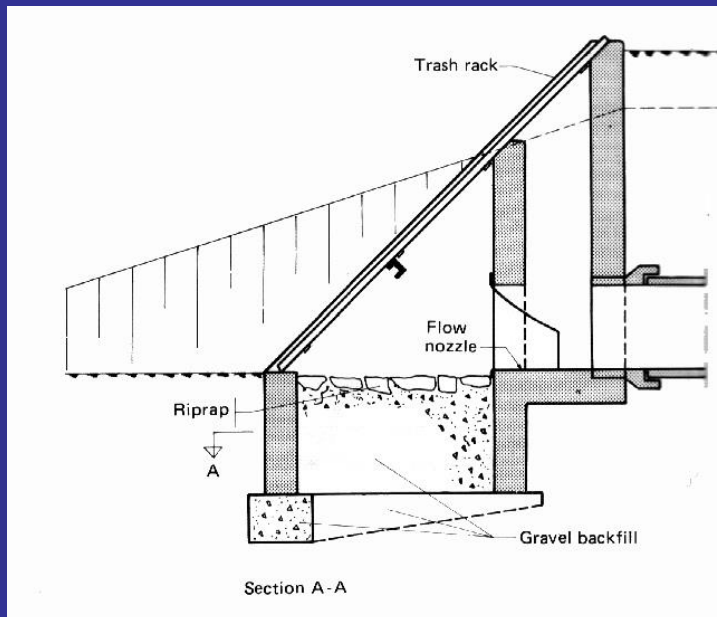
DETENÇÃO :

- O armazenamento é de curto prazo, com atenuação do pico de vazão de saída a um valor inferior ao de entrada.
- O volume de água descarregada é igual ao afluente, apenas distribuído em um tempo maior.
- Usualmente, esvaziam em menos de um dia.
- A área é seca e pode ser utilizada para fins recreacionais.

Lagoas de Detenção em Série



Detalhe de Entrada com Grade



Detalhe de Entrada com Grade

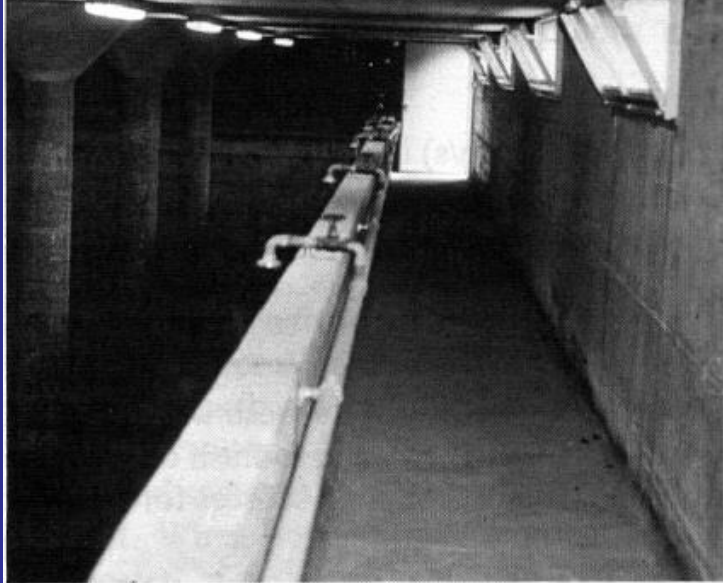


Vertedor de Emergência



**Reservatório de Detenção de
Concreto - Enterrado**

Sistema de Lavagem de Reservatório de Detenção



Escada de Acesso para Manutenção



Problema : Acúmulo de Resíduos



Problema : Acúmulo de Resíduos



Tipos de Armazenamento

CONDUÇÃO :

- O armazenamento é feito de forma transitória, quando os canais, várzeas e drenos conduzem o escoamento superficial.
- Construção de canais de baixa velocidade, com seções transversais largas ajudam nesse armazenamento.



Rio com Calhas Variáveis



soleiras - Aricanduva



Opções de Estruturas de Entrada e Saída

Entrada por Gravidade :

Quando a área do reservatório está abaixo da cota da água a ser armazenada.

Entrada por Bombeamento :

Este tipo só é vantajoso quando há um local privilegiado para o reservatório.



Opções de Estruturas de Entrada e Saída

Saída por Gravidade :

Condição típica de reservatórios criados com barramentos nos cursos d'água

Saída por Bombeamento:

Quando a escavação é feita abaixo do nível do curso d'água. Exige custo de energia e cuidados na operação.



Requisitos Gerais

As obras devem ser coordenadas considerando os cenários futuros de desenvolvimento e uso do solo.

As obras devem ser projetadas considerando toda a bacia hidrográfica e não só a porção imediatamente a jusante. Cuidado com o SINCRONISMO dos hidrogramas



Requisitos Gerais

As obras devem ser avaliadas em relação aos eventos normais ($T = 5$ a 10 anos) e aos eventos menos freqüentes ($T = 100$ anos), para provar que não pioram as condições de inundação a jusante.

As obras devem ser projetadas com base na topografia, solo e geologia do local.



Requisitos Gerais

As obras devem ser projetadas para reduzir o máximo possível as necessidades de operação e manutenção.

As várzeas a jusante não devem ser estimuladas a serem ocupadas nas áreas anteriormente inundáveis.



Benefícios do Armazenamento de Cheias

- Reduz os problemas de enchentes localizadas.
- Reduz os custos das galerias de drenagem.
- Melhora a qualidade da água, desde que haja manutenção.
- Minora a erosão em pequenos tributários pela redução das vazões.
- Cria oportunidade de reúso e recarga de aquíferos.



Eficiência dos Reservatórios de Detenção

- Medida efetiva para pequenos cursos d'água.
- Efeito maior junto ao reservatório; diminui para jusante.
- Pouco efetiva em rios grandes.
- Eficiência maior quando constituem medida preventiva.



Eficiência dos Reservatórios de Detenção

MEDIDA PREVENTIVA :

- Menores custos
- Legalidade pacífica (não agravar situação pré-existente)
- Custos por conta do empreendedor
- Desencoraja desenvolvimentos indevidos



Eficiência dos Reservatórios de Detenção

MEDIDA CORRETIVA :

- Maiores custos
- Legalidade pode ser contestada
- Necessidade de novas leis
- Desgastes políticos
- Desapropriações mais caras e complexas
- Custos por conta do governo



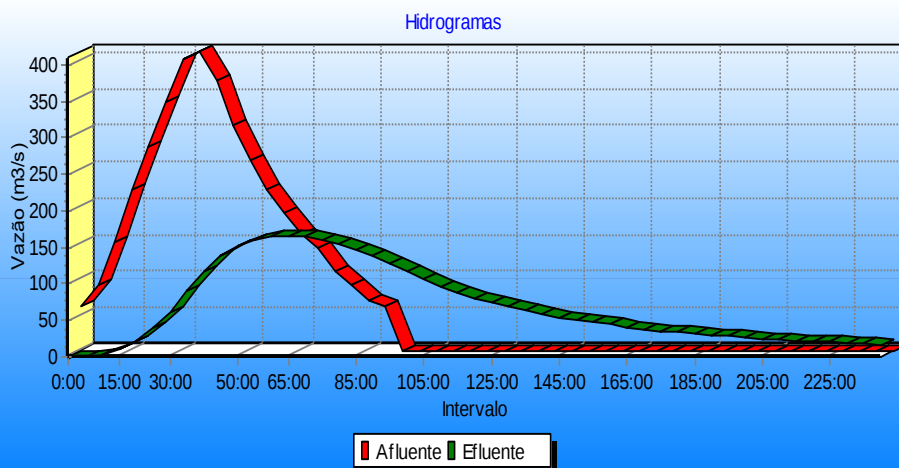
Cálculo do Reservatório

DADOS DE ENTRADA

- Hidrograma afluente ao reservatório
- Curva cota-volume do reservatório
- Equações de descargas dos órgãos de extravasão da barragem

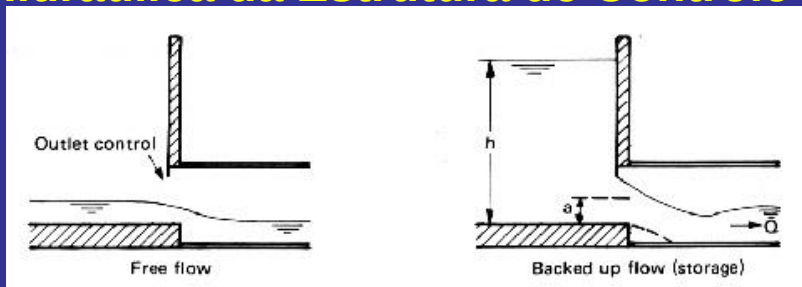


Exemplo de Resultado



FIM

Hidráulica da Estrutura de Controle



$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * (h - a)}$$

Válida para
 $h > 4a$

Q = vazão

Cd= coeficiente de descarga

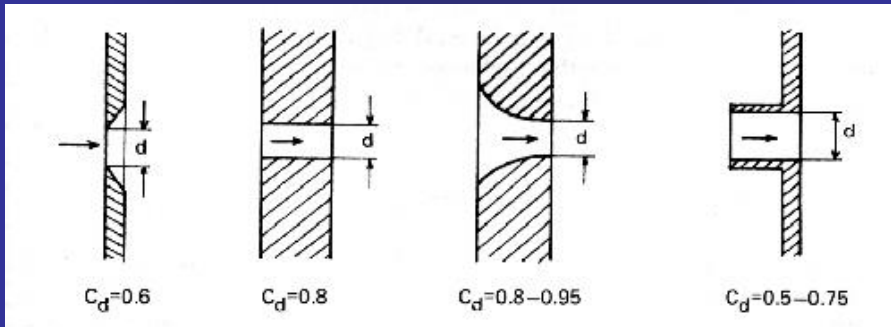
A = área do orifício

g = aceleração da gravidade

h = profundidade da água junto à saída

a = metade da altura do orifício

Coeficientes de Descarga



Tempo de Esvaziamento

$$t = - \frac{1}{C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_{h_1}^{h_2} \frac{A_R}{\sqrt{h}} \cdot dh$$

Quando a área do reservatório A_R é constante :

$$t = \frac{2 \cdot A_R}{C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$$

Curvas de Descarga de Vertedores

$$Q = CLH^{3/2}$$

Vertedor de soleira livre

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} cL \left(H_1^{\frac{3}{2}} - H_2^{\frac{3}{2}} \right)$$

Vertedor com comporta

$$Q = C_0 (2\pi R_s) H^{\frac{3}{2}}$$

Vertedor Tulipa

$$Q = CWD\sqrt{2gH}$$

Bueiro



Curvas de Descarga de Vertedores

Onde:

Q = vazão de descarga;

C = coeficiente de descarga;

L = largura da crista do vertedor;

H₁ = carga total referente à crista do vertedor;

H₂ = carga total referente ao topo da abertura;

C₀ = coeficiente que relaciona H₁ e R_s;

R_s = raio de abertura do vertedor;

D = altura da abertura;

W = largura da embocadura.



Algoritmo de Cálculo

- Equação da continuidade

$$\frac{Q_{e1} + Q_{e2}}{2} * \Delta t + V_1 - \frac{Q_{s1}}{2} * \Delta t = V_2 + \frac{Q_{s2}}{2} * \Delta t$$

- Reordenando-se os termos da equação, obtém-se:

$$Q_{e1} + Q_{e2} + \frac{V_1}{\Delta t/2} - Q_{s1} - Q_{s2} = \frac{V_2}{\Delta t/2}$$



Algoritmo de Cálculo

Int	Q _{e1}	Q _{e2}	V ₁ /(Δt/2)	Q _{s1}	NA ₂	Q _{s2}	V ₂ /(Δt/2)	NA _{2calc}
1	60	84	157778	0.00	200.00	0.00	157922	200.09
					200.09	1.02	157921	200.09
2	84	150	157921	1.02	200.09	1.02	158153	200.24
					200.24	4.43	158150	200.24
3	150	216	158150	4.43	200.24	4.43	158507	200.46
					200.46	11.74	158500	200.46

1. Com o nível inicial NA₁, calculam-se V₁ e Q_{s1} ;
2. Adota-se uma primeira estimativa para NA₂ = NA₁ ;
3. Calcula-se Q_{e2} em função de NA₂ estimado;
4. Somam-se os termos do lado esquerdo da equação e obtém-se V₂ calculado;
5. Com a curva cota-volume obtém-se NA₂ calculado;



Algoritmo de Cálculo

Int	Q _{e1}	Q _{e2}	V ₁ /(Δt/2)	Q _{s1}	NA ₂	Q _{s2}	V ₂ /(Δt/2)	NA _{2calc}
1	60	84	157778	0.00	200.00	0.00	157922	200.09
2	84	150	157921	1.02	200.09	1.02	157921	200.09
3	150	216	158150	4.43	200.09	1.02	158153	200.24
					200.24	4.43	158150	200.24
					200.24	4.43	158507	200.46
					200.46	11.74	158500	200.46

6. Se a diferença entre NA₂ calculado e NA₂ estimado for grande , adota-se um novo NA₂ estimado como sendo igual ao NA₂ calculado ;

7. Se a diferença entre NA₂ calculado e NA₂ estimado for pequena , encerra-se a iteração do período.

8. Atualizam-se os valores iniciais do período seguinte com os valores do final deese período ;

◀ 9. Volta-se ao passo 1.

Referências

- Urbonas, Bem & Stahre, Peter - Stormwater - Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management - PTR Prentice Hall, Inc., 1993, 449 pg.
- Sheaffer, John R. et al. - Urban Storm Drainage Management - Marcel Dekker, Inc. - 1982, 271 pg.
- Tucci, C. E. et al. - Hidrologia : Ciência e Aplicação - Ed. da Universidade - UFRGS/ABRH ,2a ed. 1997, 943 pg.
- Tucci, C. E. - Drenagem Urbana, - Ed. da Universidade - UFRGS/ABRH ,1a ed. 1995, 428 pg.