

**Capítulo 52-**

**Método LCCA para avaliação de custos de BMPs**

## SUMÁRIO

Ordem	Assunto
	<b>Capítulo 52- Custo de drenagem e das BMPs</b>
52.1	Introdução
52.2	Fósforo
52.3	Definição das BMPs
52.4	Escolha da BMP adequada e vida útil
52.5	Inflação e taxa de juros
52.6	Valor presente simples
52.7	Recuperação de capital
52.8	Valor presente do custo de manutenção e operação
52.9	Manutenção e operação
52.10	Valorização do imóvel com reservatório de retenção
52.11	Método Simples de Schueler
52.12	Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv
52.13	Remoção média dos poluentes nas BMPs
52.14	Fração do runoff tratado
52.15	Area ocupada pela BMP
52.16	Exemplo modela para o reservatório de retenção (wet pond)
52.17	Exemplo modela para o reservatório de detenção estendido (ED)
52.18	Medidas que podem ser feitas para melhorar os índices de remoção
52.19	Verificação de fósforo e nitrogênio pelo método simplificado de Vollenweider
52.20	Exemplo modela para o reservatório de retenção (wet pond) com mais DETALHES
52.21	Método de Vollenweider para análise simplificada de eutrofização um lago para fósforo e nitrogênio para o reservatório de retenção
52.22	Balanço hídrico para o reservatório de retenção
52.23	Remoção de sedimentos TSS em bacias de detenção estendida conforme Papa, 1999.
52.24	Concentrações irreduzíveis
52.25	Método de Vetter
52.26	Bibliografia e livros consultados

## Capítulo 52- Método LCCA para avaliação de custos de BMPs

### 52.1 Introdução

Uma das grandes dificuldades é avaliar os benefícios e custos de uma BMP, quer ela seja um reservatório de retenção, reservatório de detenção estendido, trincheira de infiltração, reservatório de infiltração, etc.

Um dos métodos que achamos mais viável é o uso da Análise da vida útil (LCCA) no prazo de 20 anos de cada BMP e ver qual das duas tem menor custo, desde que sejam atendidas as *performances* pelo investidor e que cada alternativa seja mutuamente excludente, isto é, totalmente independente uma da outra.

A *performance* pode ser somente a redução de TSS ou somente do fósforo total ou somente do nitrogênio total. Pode também ser a combinação do TSS com o fósforo total e combinação de TSS com nitrogênio total e combinação total TSS+TP+TN.

### 52.2 Fósforo

A deposição de 80% de TSS resultará na melhoria da qualidade das águas pluviais, pois as partículas ao se sedimentar arrastam para o fundo os poluidores.

O fósforo é um nutriente importante e se apresenta nas águas pluviais de duas maneiras básicas: **fósforo particulado** e **fósforo dissolvido**. Define-se **fósforo dissolvido** aquele que passa por um filtro de 0,45µm e o material retido é o fósforo particulado. Em média temos 0,3mg/L de fósforo total, sendo 0,10mg/L de fósforo dissolvido e 0,20mg/L de fósforo particulado.

É importante salientar que a quantidade de fósforo varia de lugar para lugar e de tempo em tempo. Assim conforme o período de verão e inverno teremos para o mesmo lugar quantidades diferentes de fósforo.

O fósforo através da sedimentação e da filtração retém o fósforo particulado, enquanto que parte do fósforo dissolvido é convertido por meios químicos ou adsorção para fósforo particulado e então se deposita.

Minnesota, 2005 salienta que as **BMPs funcionam automaticamente** e não possuem partes mecânicas como a que existem em tratamento de água ou esgoto.

A adição de calcário em uma BMP pode facilitar a remoção do fósforo por precipitação e adsorção.

### 52.3 Definição das BMPs

As BMPs (*Best Management Practices*) são destinadas a melhoria da qualidade das águas pluviais e as básicas são:

- a) **Reservatório de detenção seco:** detém somente a enchente
- b) **Reservatório de detenção estendido:** detém a enchente, mas a água fica 24h armazenada com escoamento lento.
- c) **Reservatório de retenção:** existe um volume permanente de água pluvial e um volume temporário ambos com volume WQv. Pode ser construído para deter enchente, bem como água para irrigação ou abastecimento de água. O reservatório temporário deverá ser esvaziado em 24h.
- d) **Wetlands:** detém enchente e há vegetação para a filtração da água. Há um volume permanente com volume igual ou maior que WQv. Poderá haver detenção de enchente e escoamento de volume temporário em 24 horas da mesma maneira que o reservatório de retenção.
- e) **Bacia de infiltração:** as águas pluviais são encaminhadas a uma superfície grande e infiltradas no solo, desde que haja grande condutibilidade hidráulica do solo.
- f) **Trincheira de infiltração:** são valas de areia onde as águas pluviais são filtradas e infiltradas no solo desde que haja grande condutibilidade hidráulica do solo.

g) **Filtro de Bioretenção:** é uma depressão preenchida com areia ou solo com vegetação nativa na paisagem onde as águas pluviais são depositadas, armazenadas e infiltrada. Geralmente estão próximas das áreas impermeáveis e são instaladas em estacionamentos, áreas isoladas e áreas de jardins.

h) **Filtro de areia:** há a filtração das águas pluviais e a água pluvial filtrada é lançada no córrego mais próximo e é ótimo para lugares onde queremos melhorar a qualidade das águas pluviais e não podemos ter infiltração,

i) **Canal gramado:** serve para conduzir o escoamento de águas pluviais e filtra as águas pluviais.

j) **Faixa de filtro gramado:** são faixas ao longo de rios, córregos, lagos e estradas com objetivo de filtrar as águas pluviais para melhorar a qualidade.

#### 52.4 Escolha da BMP adequada e vida útil

É muito difícil a escolha da BMP adequada, pois conforme se pode ver na Tabela (52.1) as BMPs têm a sua limitação de áreas, de solo, local de execução (*on line* ou *off line*) e vida útil estimada.

Para efeito de cálculos **usaremos a vida útil das BMPs em 20anos.** O SUDs conforme CIRIA, 2007 adota vida útil de 25anos a 30anos

**Tabela 52.1 - Considerações sobre o tipo de BMP estrutural escolhida**

BMP	Área mínima da bacia da BMP	Área máxima bacia	Solo	Configuração	Vida útil estimada
	(ha)	(ha)			(anos)
Trincheira de infiltração		4	Dependente	Off-line/on-line	10 a 15
Bacia de infiltração	2	20	dependente	Off line	5 a 10
Bacia de detenção estendida	4	10	independente	On-line	20 a 50
Wetlands artificiais	10	100	dependente	Off-line / on-line	20 a 50
Reservatório Enterrado	0,4	0,8	dependente	Off-line	50 a 100
Filtro de areia enterrado		0,4	Independente	Off-line	5 a 20
Filtro de areia superficial	0,4	4	Independente	Off-line	5 a 20
Canal gramado		4	dependente	On-line	5 a 20
Faixa de filtro gramado		2	dependente	On-line	20 a 50
Separador de óleos e graxas		0,4	Independente	On-line	50 a 100
Bacia de detenção alagada	4	100	dependente	Off-line / on-line	
Pavimento poroso	0,1	4	dependente		
Pavimento modular		2	dependente		
Mini-wetland artificial	4		dependente	Off-line / on-line	

Fonte: adaptado de FHWA, 2004

### 52.5 Inflação e taxa de juros

Vamos trabalhar com a **taxa de juro real anual**.

Temos a taxa anual de inflação I, a taxa anual de juro nominal D e a taxa de juro real d pode ser calculado pela equação:

$$d = [(1+D)/(1+I)] - 1$$

#### Exemplo 52.1

Calcular a taxa de juro real d para taxa de inflação anual de 4,5% e taxa de juro nominal de 8,5%

$$I = 4,55\% = 0,045$$

$$D = 8,5\% = 0,085$$

$$d = [(1+D)/(1+I)] - 1$$

$$d = [(1+0,085)/(1+0,045)] - 1 = 0,0383 \quad (3,83\%)$$

Portanto, a taxa de juros real anual é 3,83%, ou seja, 0,0383.

### 52.6 Valor presente simples

Pela equação do valor presente simples podemos trazer qualquer valor distante no tempo t para o presente usando a taxa de juro real.

$$SPV = F \times 1 / (1+d)^t$$

Sendo:

SPV = valor presente simples em US\$

F = valor a ser pago em US\$ no tempo t

d = taxa de juro real (fração)

t = tempo (anos)

#### Exemplo 52.2

Calcular o valor presente de uma bomba que custa US\$ 900 e que será aplicada daqui a 10anos.

$$SPV = F \times 1 / (1+d)^t$$

$$SPV = F \times 1 / (1+0,0383)^{10}$$

$$SPV = F \times 0,69$$

$$SPV = 900 \times 0,69 = \text{US\$ } 618$$

Portanto, aquele US\$ 900 que seria aplicado a 10anos, hoje ele seria US\$ 618.

### 52.7 Recuperação do capital

Considerando o período de 20 anos para recuperar o capital do investimento feito a taxa de juros mensais “i” conforme Mays e Tung, 1992.

$$\text{Amortização} = \text{Capital} \times \frac{d \times (1+d)^n}{(1+d)^n - 1}$$

Sendo:

n=20anos

d = taxa de juros real anual = 0,0383

Capital (US\$)

Amortização anual (US\$)

**Exemplo 52.1-** Como calcular a amortização mensal.

---

Sendo o custo do reservatório de US\$ 31.511 e considerando taxa de juro real anual de 0,0383 e período de 20 anos, o fator anual de recuperação do capital será (*Mays e Tung*, 1992 p.25).

$$\text{Amortização} = \text{Capital} \times \frac{d \times (1 + d)^n}{(1+d)^n - 1}$$

$$\text{Amortização} = \text{Capital} \times \frac{0,0383 \times (1 + 0,0383)^{20}}{(1+0,0383)^{20} - 1}$$

$$\text{Amortização} = \text{capital} \times 0,072$$

$$\text{Capital} = \text{US\$ } 31511$$

$$\text{Amortização} = 31511 \times 0,072 = \text{US\$ } 2.269/\text{ano}$$

### 52.8 Valor presente do custo de manutenção e operação

Conforme CIRIA, 2007 o valor presente é:

$$\text{UPV} = \text{Ao} \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$$

Sendo:

UPV= valor presente uniforme

d= taxa de juro real anual em fração

n= número de anos

Ao= custo da manutenção e operação anual (US\$)

#### Exemplo 52.3

Calcular o valor presente uniforme de manutenção anual de US\$ 2.000 durante n=20 anos sendo a taxa de juro real d=0,0383.

$$\text{UPV} = \text{Ao} \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$$

$$\text{UPV} = \text{Ao} \cdot [(1+0,0383)^{20} - 1] / [0,383 \cdot (1+0,0383)^{20}]$$

$$\text{UPV} = \text{Ao} \times 13,80$$

$$\text{UPV} = 2000 \times 13,80 = \text{US\$ } 27.600$$

### 52.9 Manutenção e Operação

Em Santo André, cidade localizada na Região Metropolitana de São Paulo o Serviço de Saneamento Ambiental de Santo André (SEMASA) opera alguns reservatórios de detenção desde 1999.

O reservatório de detenção do ribeirão dos Meninos, denominado AM3 tem área de 510ha, volume de 120.000m<sup>3</sup> e até setembro de 2002, o volume de sedimentos retirados foi de 6,7 m<sup>3</sup>/ ha/ano.

O custo para limpeza a cada três meses das grades e da retirada de sedimentos, principalmente nos meses de abril e outubro é de 1US\$/m<sup>3</sup>, não estando incluso: pessoal de vigilância do reservatório e custo no aterro sanitário. Estima-se o custo global de US\$ 4/m<sup>3</sup> que é aproximadamente 10% do custo por m<sup>3</sup> do reservatório de detenção.

Quanto ao lixo das ruas que vai para os córregos, rios e reservatórios de detenção, são da ordem de 5% do total coletado, conforme Tucci, 2001.

**Tabela 52.2- Custo de manutenção anual das BMPs**

Tipo de BMP	Custo manutenção anual (%)	
	ASCE, 1998	Minnesota, 2005
Bacia de retenção e <i>Wetland</i>	3 a 6%	---
Bacia de detenção	<1%	1,8% a 14,1%
Trincheira de infiltração	5 a 20	5,1% a 126%
Bacia de infiltração (Livingston, 1997)	1 a 3%	
Bacia de infiltração (Schueler, 1987)	5 a 10%	2,8% a 4,9%
Filtro de areia	11 a 13%	0,9% a 9,5%
Bio-retenção	5 a 7%	0,7% a 10,9%
Vala gramada	5 a 7%	
Faixa de filtro gramada ( <i>filter strip</i> )	US\$ 800/ha	---
Bacia de retenção	-----	1,9% a 10,2%

#### 52.10 Custos de construção das BMPs

Os custos de construção das BMPs estão na Tabela (52.3) e (52.6) e **não incluem o custo do pré-tratamento e custo das terras.**

**Tabela 52.3- Custo típico de construção das BMPs**

Tipo de BMP	Custo Típico US\$ /m <sup>3</sup>
Reservatório de detenção seca, estendido ou retenção	<b>18 a 35</b>
Bacia de infiltração	<b>46</b>
Bioretenção	<b>187</b>
Faixa de filtro gramada ( <i>filter strip</i> )	<b>0 a 46</b>
Filtro de areia	<b>106 a 212</b>
Trincheira de infiltração	<b>141</b>
Vala gramada	<b>18</b>
<i>Wetland</i> (alagadiço)	<b>21 a 44</b>

Fonte: ASCE, 1998 com data base de 1997

**Tabela 52.4- Faixa de preços de BMPs do SUDS de 2004 em dólares americanos CIRIA, 2007**

BMP ↓	Variação de custo		Unidade
	US\$	US\$	
Filtro dreno	150	210	US\$/m3 de volume armazenado
Trincheira de infiltração	83	98	US\$/m3 de volume armazenado
<i>Soakaway</i> (infiltração de água de chuva de telhado em trincheira de Infiltração)		>150	US\$/m3 de volume armazenado
Pavimento permeável	45	60	US\$/m2 superfície permeável
Bacia de infiltração	15	23	US\$/m3 de volume detido
Bacia de detenção	23	30	US\$/m3 de volume detido
<i>Wetland</i>	38	45	US\$/m3 de volume tratado
Bacia de retenção	23	38	US\$/m3 de volume tratado
Vala gramado	15	23	US\$/m2 de área da vala gramada
Faixa de filtro gramado	3	6	US\$/m2 de área da faixa de filtro gramado

Fonte: CIRIA, 2007 1Libra=1,5 US\$

**Tabela 52.5- Faixa de custo de manutenção e operação de BMPs do SUDS de 2004 em dólares americanos**

BMP	Variação de custo		Unidade
	US\$	US\$	
Filtro dreno/ trincheira de infiltração	0,3	1,5	US\$/m2 de superfície do filtro ou trincheira
Vala gramada	0	0,15	US\$/m2 de superfície da vala gramada
Faixa de filtro gramado	0	0,15	US\$/m2 de área de filtro gramado
<i>Soakaway</i> (Infiltração de água de chuva do telhado em trincheira de infiltração)	0	0,15	US\$/m2 de área tratada
Pavimento permeável	0,75	1,5	US\$/m3 de volume armazenado
Bacia de detenção/ bacia de infiltração	0,15	0,45	US\$/m2 de área da bacia de detenção
<i>Wetland</i>	0	0,15	US\$/m2 da superfície da área da <i>wetland</i>
Bacia de retenção	0,75	2,25	US\$/m2 de área da superfície da bacia de retenção

Fonte: CIRIA, 2007



**Tabela 52.6- Custos típicos de obras estruturais das BMPs**

Tipo de BMP	Unidade	Custo em US\$		Manutenção e operação
		mínimo	máximo	
Bacia de retenção seca	m <sup>3</sup>	18	36	Anual de 3% a 6% do custo inicial
Trincheira de infiltração	m <sup>3</sup>	89	281	3% a 20% do custo inicial de 5anos a 15anos
Pavimento poroso de concreto	m <sup>2</sup>	5	22	Anual de 5% do custo inicial
Faixa de filtro gramada	m <sup>2</sup>	0	14	Anual de US\$250/ha a US\$ 3500/ha
Vala gramada	m <sup>2</sup>	6	17	Anualmente 5% a 7% do custo inicial
Bacia de detenção seca	m <sup>3</sup>	18	36	Anual de 1% a 5% do custo inicial
Bacia de detenção molhada	m <sup>3</sup>	18	36	Anual de 3% a 5% do custo inicial
Wetlands artificiais	m <sup>3</sup>	2	36	Anual de 1% a 5% do custo inicial
Estruturas de entrada	unidade	1100	3000	US\$ 7,5/ unidade a US\$ 90/unidade por ano
Estruturas de separação das águas	unidade	2300	40000	Custo menor que US\$ 1000/ano
Tratamento químico	hectare	790		Anualmente de US\$ 250/ha da área de drenagem

Fonte: BMP for South Florida Urban Stormwater Management Systems, abril 2002.

O custo de uma lagoa de detenção segundo o *Center for Watershed Protection*, 1990 que se refere a *Costs and Benefits of Stormwater BMPs*, varia de US\$ 17,50/m<sup>3</sup> a US\$ 35,00/m<sup>3</sup>, que é o valor aproximado dos custos obtidos na Região Metropolitana de São Paulo de US\$ 34,00/m<sup>3</sup> conforme Tomaz, 2002.

### 52.10 Valorização do imóvel com reservatório de retenção

É muito discutido nos Estados Unidos se uma lagoa de detenção alagada valoriza ou não o imóvel. Tudo indica que se há uma boa manutenção, segurança da lagoa, haverá uma valorização do imóvel que poderá chegar até 28%, concluído em 1992 pela *National Association of Home Builders* (*EPA 841-S-95-002 de setembro de 1995*). Entretanto, uma péssima manutenção e operação, que coloca em risco a vida, saúde e segurança das pessoas das vizinhas, irão desvalorizar as propriedades.



**Figura 52.1- Vista de um reservatório de retenção (wet pond)**

### 52.11 Método Simples de Schueler

Schueler em 1987 apresentou um método empírico denominado “Método Simples” para estimar o transporte de poluição difusa *urbana* em uma determinada área.

O método foi obtido através de exaustivos estudos na área do Distrito de Washington nos Estados Unidos chamado *National Urban Runoff Program (NURP)* bem como com dados da EPA, conforme AKAN, (1993).

AKAN, (1993) salienta que os estudos valem para áreas menores que 256ha e que é usado cargas anuais.

Para achar a carga anual de poluente usamos a seguinte equação:

$$L=0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

Sendo:

L= carga do poluente anual (kg/ano)

P= precipitação média anual (mm)

P<sub>j</sub>= fração da chuva que produz *runoff*. P<sub>j</sub>=0,9 (normalmente adotado)

R<sub>v</sub>= *runoff* volumétrico obtido por análise de regressão linear.

R<sub>v</sub>= 0,05 + 0,009 x AI (R<sup>2</sup>=0,71 N=47)

AI= área impermeável (%).

A= área (ha) sendo A = 256ha

C= concentração média da carga do poluente nas águas pluviais da (mg/L)

Podemos aplicar o Método de Schueler para período de 20anos e então multiplicaremos o valor de L obtido para um ano por 20anos.

$$L_{20}= 20 \times 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

Portanto, o valor da precipitação adotada P é para uma estimativa de 20anos, assim como as outras variáveis.

Uma média muitas vezes usadas de TSS de entrada numa BMP é **131mg/L ± 77 mg/L** para intervalo de confiança de 67% conforme Minnesota, 2005 na Tabela (52.7).

Para o fósforo é adotado **0,55mg/L ± 0,41mg/L** também para intervalo de confiança de 67%.

### Exemplo 52.3

Em uma bacia de detenção estendida calcular a quantidade de TSS e fósforo tratada durante 20anos num local que a precipitação média anual é 1500mm e a área tem R<sub>v</sub>=0,60, P<sub>j</sub>=0,90 e A=20ha TSS=131mg/L. e 0,55mg/L de fósforo.

#### Para o TSS

$$L_{20}=20 \times 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$$L_{20}=20 \times 0,01 \times 1500\text{mm} \times 0,9 \times 0,60 \times 131\text{mg/L} \times 20\text{ha} = 424.440 \text{ kg}$$

Como a bacia de detenção estendida somente é removido 53% do TSS com intervalo de confiança ±28% com 67% de probabilidade teremos:

$$\text{Volume retido em 20anos de TSS} = 424.440 \text{ kg} \times 0,53 = 224.953\text{kg} \pm 62.987\text{kg}$$

Portanto, o reservatório de detenção estendido reterá **224.9536kg ± 62.987kg de TSS durante 20anos.**

#### Para o fósforo

$$L_{20}=20 \times 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$$L_{20}=20 \times 0,01 \times 1500\text{mm} \times 0,9 \times 0,60 \times 0,55\text{mg/L} \times 20\text{ha} = 1.782 \text{ kg}$$

Como a bacia de detenção estendida somente é removido 25% do fósforo com intervalo de confiança ±15% com 67% de probabilidade teremos:

---

**Volume retido em 20anos de TSS= 1.782 kg x 0,25=446kg ± 67kg**

**Portanto, o reservatório de detenção estendido reterá 446kg ± 67kg de fósforo durante 20anos.**

### 52.12 Volume para melhoria da Qualidade das Águas Pluviais (WQ<sub>v</sub>)

O critério de dimensionamento de um reservatório para melhoria de qualidade WQ<sub>v</sub> para controle da poluição difusa especifica o volume de tratamento necessário para remover uma parte significativa da carga de poluição total existente no escoamento superficial das águas pluviais.

Para aplicação do método de Schueler a obtenção de *first flush* é obtida da seguinte maneira: o valor de P é obtido com 90% das precipitações que produzem *runoff*.

O valor do *first flush* P assim obtido fará uma redução de 80% dos Sólidos Totais em Suspensão (TSS) de bem como outros parâmetros dos poluentes.

O volume obtido será dependente do *first flush* P e da área impermeável.

SCHUELER, 1987 usou as Equações (52.1) e (52.2) para achar o volume WQ<sub>v</sub>.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI \quad \text{(Equação 52.1)}$$

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A \quad \text{(Equação 52.2)}$$

Sendo:

R<sub>v</sub>=coeficiente volumétrico que depende da área impermeável (AI).

AI= área impermeável da bacia em porcentagem sendo AI = 25%;

A= área da bacia em m<sup>2</sup> sendo A = 100ha (1km<sup>2</sup>)

P= precipitação adotada (mm) sendo P = 13mm. Adotamos P=25mm para a RMSP.

WQ<sub>v</sub> = volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m<sup>3</sup>).

### 52.13 Remoção média de poluentes nas BMPs

A remoção é calculada pela queda da concentração do afluente e a concentração do efluente das águas pluviais.

Conforme Minnesota, 2005 a média da remoção de TSS e de fósforo P com o intervalo de confiança de 67% está na Tabela (52.7).

**Tabela 52.7- Média de remoção de TSS e P com intervalo de confiança de 67%.**

BMP	% TSS (remoção)	TSS (intervalo de Confiança 67%)	%P (remoção)	P (intervalo de Confiança 67%)
Bacia de detenção estendida	53	±28	25	±15
Bacia de retenção	65	±32	52	±23
<i>Wetland</i>	68	±25	42	±26
Biofiltro	90*	±10*	72	11
Filtro de areia	82	±14	46	±21
Trincheira de infiltração	75*	±10	55*	±35
Faixa de filtro gramada	75	±20	41	±33

(\*) Estimativa

Na Tabela (52.7) podemos ver, por exemplo, que uma bacia de retenção estendida tem média de remoção de sólidos totais em suspensão (TSS) de 53% com variação para mais e para menos de 28%, podendo chegar a 25% 81% com 67% de probabilidade.

O mesmo acontece com o fósforo que tem média de remoção de 25% com variação de 10% a 40% com 67% de probabilidade.

As Tabela (52.8) e (52.9) mostram a taxa de redução em diversas BMPs.

Tabela 52.8 - Taxa de redução de diversas BMPs segundo New Jersey, 2004.

<b>Best Management Practices (BMP)</b>	<b>Redução de TSS (sólidos totais em suspensão)</b>
Bacia de Bio-retenção	90%
Wetland artificial	90%
Bacia de retenção estendida	40% a 60%
Bacia de Infiltração	80%
Sistemas de tratamento manufaturados	Consultar o fabricante
Pavimento poroso	Até 80%
Filtro de areia	80%
Canal gramado	60% a 80%
Bacia alagada	50% a 90%

Fonte: NJ, 2004

Tabela 52.9-Taxa de redução de fósforo e nitrogênio de diversas BMPs, segundo New Jersey, 2004.

<b>Best Management Practice (BMP)</b>	<b>Remoção de fósforo total (PT) (%)</b>	<b>Remoção de nitrogênio total (%)</b>
Bacia de Bio-retenção	60	30
Wetland artificial	50	30
Bacia de retenção estendida	20	20
Bacia de Infiltração	60	50
Sistemas de tratamento manufaturados	Consultar fabricante	Consultar fabricante
Pavimento poroso	60	50
Filtro de areia	50	35
Canal gramado	30	30
Bacia alagada	50	30

Fonte: NJ, 2004

#### 52.14 Fração de runoff tratado

Para a RMSP supomos que o *first flush* é P=25mm, que corresponde a 90% das precipitações anuais que produzem runoff.

Nos estudos que fizemos das precipitações da cidade de Mairiporã no período de 1958 a 1995 achamos que se admitirmos o *first flush* de 25mm serão encaminhados para a BMP 90% do total do runoff, mas que 10% não passarão pelo tratamento e se encaminharão diretamente aos rios e córregos.

Portanto, a **fração runoff tratado é 0,9.**

**Dica: vai para o tratamento (BMP) 90% e não passa pelo tratamento 10% no caso de a BMP ser construída off line.**

#### 52.15 Área ocupada pela BMP

A Tabela (52.18) nos fornece uma estimativa da área necessária para a BMP em função da área impermeável da bacia ou da área total da bacia. Geralmente os custos das áreas não fazem parte do custo das obras e manutenção+operação, motivo pelo qual sempre deve ser avaliada a parte.

**Tabela 52.10- Área de terra ocupada pela BMP em função da área impermeável e da área total da bacia**

BMP	Porcentagem da área impermeável conforme USEPA, 1999	Universidade do Texas, junho, 2004	Porcentagem da área da bacia conforme Claytor e Schueler, 1996.
Bacia de detenção estendida	-----	0,5 a 2	0,5 a 2,0
Bacia de retenção	2 a 3	1 a 3	-----
Bioretenção	5	5 a 10	-----
Faixa de filtro gramada	100	5 a 10	-----
Filtro	-----		2 a 7
Filtro de areia	0 a 3	1 a 4	-----
Infiltração	-----	0,5 a 2	2 a 3
Lagoa	-----		2 a 3
Trincheira de infiltração	2 a 3	0,5 a 2	-----
Vala gramada	10 a 20	5	-----
Wetland	3 a 5	2 a 6	3 a 5

Fonte: Minnesota, 2005 e Universidade do Texas, junho, 2004- Michael Barrett.

### 52.16 Exemplo modelo para o reservatório de retenção (*Wet pond*)

Em um empreendimento com 74 ha haverá construção de casas, comércio e um pouco de indústrias e estacionamentos. A área impermeável total é de 53,95%. A precipitação média anual é de 1500mm. Há duas opções: construir um reservatório de retenção ou construir um reservatório de detenção estendido. Deverá ser aplicado o método LCCA para análise da vida útil de 20anos. Deverão ser comparada as *performances de remoção de TSS, TP e NT*.

Vamos fazer as duas opções separadas, começando com o reservatório de retenção.

#### Primeiro passo: achar o volume WQv

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$$

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 53,95 = 0,54$$

$P = 25\text{mm} = \textit{first flush}$  adotado

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A$$

$$WQ_v = (25/1000) \times 0,54 \times 74\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 9.907\text{m}^3$$

#### Segundo passo: decidir que volume usar

Em uma bacia de retenção temos um volume permanente igual a WQv e um volume temporário igual a WQv. Supomos também que o reservatório está *on line* e que temos um volume para enchentes que suporemos igual a 0,5 WQv; Suporemos também que temos um volume necessário para o extravasor de 100 anos e portanto, teremos um acréscimo de 0,5WQv.

Resumo:

Volume permanente= WQv

Volume provisório= WQv

Volume de enchentes  $T_r=25\text{anos} = 0,5 WQ_v$

Volume para  $T_r=100\text{anos}$  vertedor de emergencia= 0,5 WQv

Total= 3 WQv

Portanto, o volume total será de 3 vezes o volume WQv e que será  $9.907\text{m}^3 \times 3 = 29.721 \text{m}^3$

#### Terceiro passo: adotar o custo do reservatório

Adotamos o custo de construção do reservatório de US\$ 37/m<sup>3</sup>

**Quarto passo:** adotar o custo de projetos e outros não esperados chamados de **custo de contingência**  
**Adotamos custo de contingência de 30%**

**Quinto passo:** custo do reservatório + custos de contingência  
O custo total será o custo básico acrescido dos custos de contingência.

Custo implantação do reservatório de retenção =  $29.721\text{m}^3 \times \text{US\$ } 37/\text{m}^3 \times 1,30 = \text{US\$ } 1.429.580$

**Sexto passo:** adotar a manutenção média anual  
Adotamos manutenção média anual de 6%

**Sétimo passo; valor presente em 20 anos da manutenção média anual**

Valor do reservatório = US\$ 1.429.580

Manutenção anual = 6%

Manutenção =  $1429.580 \times 0,06 = \text{US\$ } 85.774,8/\text{ano}$

Adoto:

taxa de juro real  $d=0,0383$  (3,83%).

$n=20$  anos

$UPV = A_o \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$

$UPV = A_o \cdot [(1+0,0383)^{20} - 1] / [0,383 \cdot (1+0,0383)^{20}]$

$UPV = A_o \times 13,80$

$UPV = 85774,8 \times 13,80 = \text{US\$ } 1.183.692$

**Oitavo passo: valor presente do investimento e manutenção**

O custo da obra e mais o custo contingencial é de US\$ 1.429.580 que somado ao valor presente da manutenção será:

**Valor presente total = US\$ 1.429.580 + US\$ 1.183.692 = US\$ 2.613,272**

**Nono passo: adoção de TSS, TP e NT**

É um grande problema a adoção do índice de remoção de TSS, TP e NT, pois tudo dependerá do projeto. Admitimos em um projeto de bacia de retenção mínimo de 80% quando se usa o volume  $WQ_v$ . Para outro volume de reservatório permanentes maiores, teremos maiores valores podendo atingir no máximo 90%. Adotamos então para o reservatório de retenção as seguintes taxas de remoção:

**TSS remoção de 80%**

**PT remoção de 50%**

**NT remoção de 35%**

**Décimo passo:** adoção das concentrações iniciais dos poluentes TSS, TP e TN

Adotaremos

**TSS C= 100mg/L**

**TP C= 0,26 mg/L**

**TN C= 2,0 mg/L**

**Décimo primeiro passo:** aplicação do método Simples de Schueler para ver quando chegam ao reservatório dos poluentes TSS, TP e TN.

A chegada anual de TSS será:

$$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$P = 1500\text{mm/ano}$

---

$$P_j = 0,90$$

$$R_v = 0,54$$

$$A = 74\text{ha} \times 10000\text{m}^2$$

$$L = 0,01 \times 1500 \times 0,9 \times 0,54 \times C \times 74$$

$$L = 539,46 \times C$$

Assim para TSS= 100mg/L

$$L = 539,46 \times 100 = 53946 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 53946 = 1.078.920 \text{ kg}$$

Chegada anual de TP será:

$$L = 539,46 \times C$$

Assim para TP= 0,26mg/L

$$L = 539,46 \times 0,26 = 140 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 140 = 2800 \text{ kg}$$

Chegada anual de TN será:

$$L = 539,46 \times C$$

Assim para TN= 2mg/L

$$L = 539,46 \times 2 = 1079 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 1079 = 21.589 \text{ kg}$$

**Décimo segundo passo-** cálculo do custo em US\$/kg de poluente removido

Supomos o valor presente total da obra dividido isoladamente para cada poluente.

Para o poluente TSS

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 2.613.272} / 1.078.920 \text{ kg} = \text{US\$ 2,42/m}^3$$

Para o poluente TP

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 2.613.272} / 2800 \text{ kg} = \text{US\$ 933/m}^3$$

Para o poluente TN

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 2.613.272} / 21.589 \text{ kg} = \text{US\$ 121/m}^3$$

**Décimo terceiro passo-** resumo das remoções e custos

**Tabela 52.11- Taxa de reduções de diversos poluentes os custos de remoção independem um dos outros para reservatório de retenção**

TSS	TP	TN	Valor presente para 20 anos
80%	50%	35%	
US\$ 2,4/m <sup>3</sup>	US\$ 933/m <sup>3</sup>	US\$ 121/m <sup>3</sup>	US\$ 2.613.272

### 52.17 Exemplo modelo para o reservatório de detenção estendido (ED)

Em um empreendimento com 74 ha haverá construção de casas, comercio e um pouco de indústrias e estacionamento. A área impermeável total é de 53,95%. A precipitação média anual é de 1500mm. Há duas opções construir um reservatório de retenção ou construir um reservatório de detenção estendido. Deverá ser aplicado o método LCCA para analisa da vida útil de 20anos. Deverão ser comparada as *performances de remoção de TSS, TP e NT*.

Vamos fazer as duas opções separadas, começando com o reservatório de retenção.

#### Primeiro passo: achar o volume WQv

$$Rv = 0,05 + 0,009 \times AI$$

$$Rv = 0,05 + 0,009 \times 53,95 = 0,54$$

P= 25mm= first flush adotado

$$WQv = (P/1000) \times Rv \times A$$

$$WQv = (25/1000) \times 0,54 \times 74ha \times 10.000m^2 = 9.907m^3$$

#### Segundo passo: decidir que volume usar

Em um reservatório de detenção estendido temos um volume permanente igual a WQv que deverá ser esvaziado em 24h.

Supomos também que o reservatório está on line e que temos um volume para enchentes que suporemos igual a 0,5 WQv; Suporemos também que temos um volume necessário para o extravasor de 100 anos e portanto, teremos um acréscimo de 0,5WQv.

Resumo:

$$\text{Volume provisório} = WQv$$

$$\text{Volume de enchentes } Tr=25\text{anos} = 0,5 WQv$$

$$\text{Volume para } Tr=100\text{anos vertedor de emergência} = 0,5 WQv$$

$$\text{Total} = 2 WQv$$

Portanto, o volume total será de 2 vezes o volume WQv e que será  $9.907m^3 \times 2 = 19.814 m^3$

#### Terceiro passo: adotar o custo do reservatório

Adotamos o custo de construção do reservatório de US\$ 30/m<sup>3</sup>

#### Quarto passo: adotar o custo de projetos e outros não esperados chamado de custo de contingência

Adotamos custo de contingência de 30%

#### Quinto passo: custo do reservatório + custos de contingência

O volume total será de

$$\text{Custo implantação do reservatório de retenção} = 19.814m^3 \times US\$ 30/m^3 \times 1,30 = US\$ 772.746$$



**Sexto passo:** adotar a manutenção média anual  
Adotamos manutenção média anual de 6%

**Sétimo passo; valor presente em 20 anos da manutenção média anual**

Valor do reservatório= US\$ 772.746

Manutenção anual = 6%

Manutenção = 772.746 x 0,06= US\$ 46.364.476/ ano

Adoto:

taxa de juro real  $d=0,0383$  (3,83%).

$n= 20$ anos

$UPV= A_o \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$

$UPV= A_o \cdot [(1+0,0383)^{20} - 1] / [0,383 \cdot (1+0,0383)^{20}]$

$UPV= A_o \times 13,80$

$UPV = 46476 \times 13,80= US\$ 639.834$

**Oitavo passo: valor presente do investimento e manutenção**

O custo da obra e mais o custo contingencial é de US\$ 1.429.580 que somado ao valor presente da manutenção será:

**Valor presente total= US\$ 772.746+ US\$ 639.834 = US\$ 1.412.580**

**Nono passo: adoção de TSS, TP e NT**

É um grande problema a adoção do índice de remoção de TSS, TP e NT, pois tudo dependerá do projeto. Admitimos em um projeto mínimo de bacia de dtgenção estendido mínimo de 61% quando se usa o volumw WQv.

Adotamos então para o reservatório de detenção estendido as seguintes taxas de remoção:

**TSS remoção de 61%**

**PT remoção de 20%**

**NT remoção de 31%**

**Décimo passo: adoção das concentrações iniciais dos poluentes TSS, TP e TN**

Adotaremos:

**TSS C= 100mg/L**

**TP C= 0,26 mg/L**

**TN C= 2,0 mg/L**

**Décimo primeiro passo:** aplicação do método Simples de Schueler para ver quando chegam ao reservatório dos poluentes TSS, TP e TN.

A chegada anual de TSS será:

$$L=0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$P= 1500$ mm/ano

$P_j= 0,90$

$R_v= 0,54$

$A= 74$ ha x  $10000$ m<sup>2</sup>

$$L=0,01 \times 1500 \times 0,9 \times 0,54 \times C \times 74$$

$$L= 539,46 \times C$$

Assim para TSS= 100mg/L

---

$$L = 539,46 \times 100 = 53946 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 53946 = 1.078.920 \text{ kg}$$

Chegada anual de TP será:

$$L = 539,46 \times C$$

Assim para TP= 0,26mg/L

$$L = 539,46 \times 0,26 = 140 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 140 = 2800 \text{ kg}$$

chegada anual de TN será:

$$L = 539,46 \times C$$

Assim para TN= 2mg/L

$$L = 539,46 \times 2 = 1079 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20} = 20 \times 1079 = 21.589 \text{ kg}$$

**Décimo segundo passo-** cálculo do custo em US\$/kg de poluente removido

Supomos o valor presente total da obra dividido isoladamente para cada poluente.

Para o poluente TSS

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 1.412.580} / 1.078.920 \text{ kg} = \text{US\$ 1,31/m}^3$$

Para o poluente TP

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 1.412.580} / 2800 \text{ kg} = \text{US\$ 504/m}^3$$

Para o poluente TN

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$

$$\text{US\$ 1.412.580} / 21.589 \text{ kg} = \text{US\$ 65/m}^3$$

**Decimo terceiro passo-** resumo das remoções e custos

**Tabela 52.11- Taxa de reduções de diversos poluentes e custos de remoção independente um dos outros para reservatório de retenção e reservatório de detenção estendido**

BMP	TSS	TP	TN	Valor presente para 20 anos
Res de retenção (wset pond)	80%	50%	35%	US\$ 2.613.272
	US\$ 2,4/m <sup>3</sup>	US\$ 933/m <sup>3</sup>	US\$ 121/m <sup>3</sup>	
Reservatorio de detenção estendido	61%	20%	31%	US\$ 1.412.580
	US\$ 1,31/m <sup>3</sup>	US\$ 504/m <sup>3</sup>	US\$ 65/m <sup>3</sup>	

Até o presente não existe um padrão internacional para se comparar com os valores obtidos para ver se estão baixos ou altos, sendo que a única alternativa que temos é comparar um com outro.

### Décimo terceiro passo: conclusão

Caso aceitemos a hipótese que as remoções do reservatório de detenção estendido atendem a *performance* que queremos então, será escolhida a de menor custo que vem a ser o reservatório de detenção estendido que custa US\$ .1412.580.

Caso queiramos que o mínimo de TSS removido seja de 80% então temos que aceitar como a melhor alternativa o reservatório de retenção com custo quase o dobro da detenção estendido e que é US\$ 2.613.272.

### 52.18 Medidas que podem ser feitas para melhorar os índices de remoção

É muito importante saber que temos maneiras diversas de melhorar os índices de remoção, tanto de um reservatório de retenção tanto quanto de um reservatório de detenção estendido. Tudo isto depende do dimensionamento de que é feito o projeto e dimensões do mesmo.

### 52.19 Verificação do fósforo e nitrogênio pelo método simplificado de Volleweider

Usando o método simplificado de Vollenweider podemos verificar o estado trófico do lago e comparações com a Conama 357/05.

### 52.20 Exemplo modelo para o reservatório de retenção (*wet pond*) com mais DETALHES

Em um empreendimento com 74 ha haverá construção de casas, comércio e um pouco de indústrias e estacionamentos. A área impermeável total é de 53,95%. A precipitação média anual é de 1500mm. Há duas opções construir um reservatório de retenção ou construir um reservatório de detenção estendido. Deverá ser aplicado o método LCCA para análise da vida útil de 20anos. Deverão ser comparada as *performances de remoção de TSS, TP e NT*.

Neste exemplo, a diferença é que a área de 74ha está detalhada em 28ha de área aberta, 10ha de área residencial de alta densidade, 20ha é área comercial, 10ha é área industrial, 3ha é área de estacionamento e patios e 3h são ruas urbanas conforme Tabela (52.12).

**Tabela 52.12- Área em função do uso do solo**

No.	Uso do solo	Área (há)
1	Área aberta	28,00
2	Área residencial com alta densidade	10,00
3	Comercial	20,00
4	Industrial	10,00
5	Estacionamento e patios	3,00
6	Ruas urbanas	3,00
Total	Total=	74,0

Para se achar a concentração inicial dos poluentes como TSS, TP e TN consultamos a Tabela 52.13 e observamos que existe na coluna 2 da Tabela (52.13) uma estimativa da área impermeável. Assim uma área comercial a área impermeável estimada é 85%.

**Tabela 52.13- Quantidade inicial de poluentes conforme o uso do solo**

Uso do solo	% Impermeável	TSS (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)
Area aberta	9	48,50	0,31	0,74
Area residencial com alta densidade	60	100,00	0,40	2,20
Area residencial com baixa densidade	20	100,00	0,40	2,20
Area residencial com densidade média	40	100,00	0,40	2,20
Comercial	85	75,00	0,20	2,00
Estacionamento e patios	90	150,00	0,50	3,00
Estacionamento industrial	90	228,00	0,00	0,00
Estacionamento residencial ou comercial	90	27,00	0,15	1,90
Estradas rurais	9	51,00	0,00	22,00
Gramados	9	602,00	2,10	0,10
Industria pesada	70	124,00	0,00	0,00
Industrial	70	120,00	0,40	2,50
Multifamiliar	60	100,00	0,40	2,20
Oficina de reparos de veiculos	100	335,00	0,00	0,00
Paisagismo (landscape)	9	37,00	0,00	0,00
Passeio (carros e pessoas)	90	173,00	0,56	2,10
Posto de gasolina	100	31,00	0,00	0,00
Ruas comerciais	90	468,00	0,00	9,00
Ruas residenciais	90	172,00	0,55	1,40
Ruas urbanas	90	142,00	0,32	3,00
Telhado comercial	100	9,00	0,14	2,10
Telhado industrial	100	17,00	0,00	0,00
Telhado residencial	100	19,00	0,11	1,50

Na Tabela (52.14) estão os cálculos por linha da aplicação do Método Simples de Schueler que fornece a carga anual que chega de TSS, TP e NT até ao reservatório de retenção.

**Tabela 52.14- Calculo usando o método Simples de Schueler**

No.	Uso do solo	Area (há)	% Impervious	Rv	Annual TSS (kg)	Annual TP (kg)	Annual TN (kg)
1	Area aberta	28,00	9	0,13	2.402	15	37
2	Area residencial com alta densidade	10,00	60	0,59	7.965	32	175
3	Comercial	20,00	85	0,82	16.504	44	440
4	Industrial	10,00	90	0,86	13.932	46	290
5	Estacionamento e patios	3,00	90	0,86	5.225	17	104
6	Ruas urbanas	3,00	90	0,86	4.946	11	104
Total	Total=	<b>74,0</b>	<b>9907</b>		<b>50.973</b>	<b>166</b>	<b>1.151</b>
			<b>(WQv m3)</b>				

Na Tabela (52.15) estão as remoções anuais dos poluentes e o custo por remoção para o custo total da obra de US\$ 2.613.034.

**Tabela 52.15- Remoção anual e custos unitarios**

No.	BMP Area da bacia (ha)	TSS Remoção (%)	TP Remoção (%)	TN Remoção (%)	Remoção anual de TSS (kg)	Remoção anual de TP(kg)	Remoção anual de TN (kg)	Custo US\$/kg/ano de TSS	Custo US\$/kg/ano de TP	Custo US\$/kg/ano de TN	Custo total anual)
1	28,00	80%	50%	35%	1.921	8	13				2.613.034
2	10,00	80%	50%	35%	6.372	16	61				
3	20,00	80%	50%	35%	13.203	22	154				
4	10,00	80%	50%	35%	11.146	23	102				
5	3,00	80%	50%	35%	4.180	9	37				
6	3,00	80%	50%	35%	3.957	6	37				
Total					<b>40.778</b>	<b>83</b>	<b>403</b>	<b>3,20</b>	<b>1572,02</b>	<b>324,26</b>	

**Nota: fizemos um programa em excel para os cálculos do reservatório de retenção e reservatório de detenção estendido.**

### 52.21 Método de Vollenweider para análise simplificada de eutrofização de um lago para fósforo e nitrogênio para o reservatório de retenção.

A base de nos estudos é EPA 440/4-84-019 de agosto de 1983 *Technical Guidance Manual for Performing Waste Load Allocations. Book IV- Lakes*. O assunto também está muito bem explicado na página 404 do livro de Thomann e Muller, 1987.

Existem modelos complexos para análise de eutrofização de um lago. O modelo que usaremos apóia-se no balanço de massas do nutriente e baseia-se nas seguintes simplificações conforme Thomann e Muller, 1987:

- O lago encontra-se totalmente misturado
- Que o lago está em condições de equilíbrio representando a média anual sazonal
- Que o fósforo é limitado
- Que o fósforo é usado como medida do índice do estado trófico

Thomann e Muller, 1987 comentam que apesar das simplificações feitas o método funciona muito bem. A primeira simplificação é de que o lago encontra-se misturado, isto é, que não está estratificado ignorando a intensificação do fitoplâncton no epilimínio do lago, isto é, na parte superior.

A segunda simplificação é que o lago encontra-se em estado de equilíbrio esquecendo o comportamento dinâmico do lago ao longo de um ano.

A terceira simplificação indica que somente um nutriente deve ser considerado e normalmente em lagos é o nutriente fósforo.

A quarta simplificação indica que o nutriente vai ser usado como medida de status do índice trófico é o fósforo.

A equação geral do **balanço de massa** para qualquer substância num lago completamente misturado é:

$$\begin{aligned}V \cdot dp/dt &= Q_i \cdot p_i - K_s \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\V \cdot dp/dt &= W - K_s \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\K_s &= v_s/H\end{aligned}$$

Sendo:

V= volume do lago (m<sup>3</sup>)

K<sub>s</sub>= taxa de sedimentação do nutriente (m/ano)

Q= vazão que sai do lago (m<sup>3</sup>/s)

p= concentração do nutriente no lago (mg/L)

Q<sub>i</sub> · p<sub>i</sub>=W= soma de todas as taxas de massas do nutrientes que caem no lago de todos os lugares (g/ano). O valor de p<sub>i</sub> é a concentração de cada origem (g/ano).

v<sub>s</sub>= velocidade de sedimentação na coluna de água (m/ano). Normalmente é adotado v<sub>s</sub>=10m/ano (0,0274m/dia) ou podem ser adotados outros valores como 12,4m/ano ou 16m/ano conforme Thomann e Muller, 1987.

Assumindo um estado de equilíbrio (*steady state*), então dp/dt=0 e denominando W= Q<sub>i</sub> p<sub>i</sub>, teremos:

$$\begin{aligned}V \cdot dp/dt &= Q_i \cdot p_i - K_s \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\0 &= Q_i p_i - K_s \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\0 &= W - K_s \cdot p \cdot V - Q \cdot p = W - p(K_s \cdot V + Q) = 0 \\ \text{Donde: } p &= W / (K_s \cdot V + Q) \\ \text{Ou } p &= W / (Q + v_s \cdot V)\end{aligned}$$

Introduzindo a profundidade média Z teremos:

$$H = V/A_s$$

$$A_s = V/H$$

Façamos a introdução do **tempo de detenção hidráulica** (ano) que é o valor td:

$$td = V/Q$$

Sendo:

H= profundidade média do lago (m)

V= volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

As= área da superfície do reservatório (m<sup>2</sup>)

td= tempo de detenção hidráulica (ano)

$$p = W / (K_s \times V + Q)$$

Dividindo o segundo membro por As no numerado e denominador teremos:

$$p = W / As / (K_s \times V / As + Q / As)$$

$$p = W / (Q + v_s \times As)$$

$$p = W / As / [(K_s \times H + (Q / V) \times H)]$$

Denominando  $W' = W / As$

$$p = W' / [(K_s \times H + (Q / V) \times H)]$$

Taxa de saída da água  $q = Q / As$

$$p = W' / (q + v_s)$$

$$p = W' / [H (q + v_s)]$$

$$= Q / V = 1 / td$$

p= concentração do poluente no lago (mg/L)

Este modelo simplificado é devido a Vollenweider e trata dos **nutrientes como fósforo, nitrogênio e outros**.

Entretanto o **fósforo foi considerado o nutriente mais importante** devido as seguintes razões:

- Existem tecnologias para remoção do fósforo nos esgotos tratados
- Existe fósforo de uma maneira significativa nos esgotos domésticos.
- O controle do fósforo parece que fornece os melhores meios de controlar o crescimento de águas azuis-verdes pela fixação do nitrogênio.
- De modo geral o fósforo é o fator limitante.

**Nota:**

Devido a dificuldade em se achar o valor da velocidade de sedimentação  $v_s$  ou o valor de  $K_s$ , pode ser feita uma estimativa usando a equação de Vollenweider, 1975 para o valor de  $K_s$ .

$$\ln(K_s) = \ln(5,5) - 0,85 \times \ln(H) \quad (\text{com } R^2 = 0,79)$$

Na Tabela (52.16) estão os valores de  $K_s$  calculados conforme

**Tabela 52.16- Valores de  $K_s$  conforme equação de Vollenweider, 1975**

Prof. H(m)	$K_s$	$v_s = K_s \times H$
1	5,50	5,50
2	3,05	6,10
3	2,16	6,48
4	1,69	6,77
5	1,40	7,00
6	1,20	7,20
7	1,05	7,36

Existe ainda uma equação mais simplificada:

$$K_s = 10 / H$$

Na Tabela (52.17) estão alguns valores de  $K_s$  calculado por  $K_s = 10 / H$

**Tabela 52.17- Valores de Ks simplificado Ks=10/H**

Prof. H(m)	Ks
1	10,00
2	5,00
3	3,33
4	2,50
5	2,00
6	1,67
7	1,43

### Procedimento de cálculos

Os procedimentos são através dos seguintes passos:

#### **Primeiro passo: estimar o volume do lago, área da superfície e profundidade média.**

É obtido através de batimetria ou de previsões feitas em planta aerofotogramétricas.

#### **Segundo passo: estimar a média anual de vazão da água.**

Geralmente pode ser obtido pelo runoff anual através de estações de medições que medem o volume de água que passa pelo lago. Não tendo ela pode ser estimado anualmente pelo runoff.

Para lagos muito grande deve ser levado em conta a precipitação sobre o mesmo e a evaporação.

#### **Terceiro passo: Estimar a média da carga anual de fósforo de todas as fontes.**

Isto inclui todas as fontes rurais, tributários e atmosférico. A estimativa geralmente é feita com tabelas como a de Marsch, 1977 ou outra.

#### **Quarto passo: Achar a taxa de sedimentação de fósforo.**

Geralmente pode ser calculado ou se não temos dados estimar em Ks= 12,4m/ano.

#### **Quinto passo: Selecionar os objetivos do fósforo ou clorofila-a.**

### Exemplo 52.4

Calcular a quantidade de fósforo num lago em um loteamento em Campos do Jordão, Estado de São Paulo que tem:

Precipitação média anual = 1783mm/ano

Evapotranspiração=684mm/ano

Área da bacia= 122ha

Área impermeável= AI=16%

Coefficiente volumétrico Rv

$Rv = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 16 = 0,19$

Volume runoff=  $(122 \times 10000m^2) \times (1783 \times 0,19/1000) = 413.299m^3$

Vazão correspondente ao runoff=  $413.299m^3 / (365 \text{ dias} \times 86.400s) = 0,0131m^3/s$

Volume do reservatório=  $90.000m^3$

Área da superfície do lago=  $17.500m^2$

Volume precipitado e evaporado na área do lago=  $((1783-684)/ 1000) \times 17.500m^2 = 19.233m^3/ano$

Vazão correspondente ao precipitado =  $19.233m^3 / (365 \text{ dias} \times 86.400s) = 0,00061m^3/s$

Como se pode ver a vazão correspondente ao precipitado na superfície da lagoa é pequena e pode ser desprezada. Portanto, a vazão de saída é  $Q = 0,0131m^3/s$

H=5,1m profundidade média da lagoa

**vs= 12,4m/ano**

$Ks = vs / H = 12,4 / 5,1 = 2,47$

Cálculo de W'



Conforme **Tabela (52.18)** o fósforo total para uma área de densidade média é 0,3 kg/ha x ano e para densidade baixa é 0,0. Tomemos, portanto, a média 0,15 kg/ha x ano de fósforo total.

Área= 122ha

$W = 122\text{ha} \times 0,15 \text{ kg/ha} \times \text{ano} = 18,3 \text{ kg de fósforo total por ano} = 18300 \text{ g por ano}$

$W' = W / A_s = 18.300\text{g} / 17500\text{m}^2 = 1,046 \text{ g/m}^2 \text{ ano}$

$td = V / Q = 90.000\text{m}^3 / (0,0131 \times 86400 \times 365) = 0,218 \text{ ano}$

**Adotando vs=12,6m/ano**

Descarga:  $q = Q / A_s = H / td = 5,1 / 0,218 = 23,39$

$p = W' / (q + vs)$

$p = 1,046 / (23,39 + 12,6) = 1,046 / 35,99 = 0,029 \text{ g/m}^3 = 0,029 \text{ mg/L} = 29 \mu\text{g/L}$

Portanto, o lago terá a concentração média de **0,029mg/L** e verificando a Tabela (3.18) o lago ficará mesotrófico.

Caso queiramos tirar água do lago para abastecimento podemos verificar a Resolução Conama 357/05 que para ambientes lênticos o valor do fósforo total é **0,03mg/L** conforme Tabela (52.18).

**Nota: como o valor da velocidade vs adotado foi de 12,4m/ano poderia ser adotado outros valores como 10m/ano ou 16m/ano. Os resultados deverão ser verificados e estarão dentro de uma faixa.**

Na Tabela (52.18) estão os poluentes típicos em áreas urbanas elaborados por Burton&Pitt, 2002 notando-se que as maiores quantidades são para áreas comerciais, estradas de rodagem, estacionamento de veículos, Shopping Center, indústrias, residências de alta densidade, média e baixa e área de parques.

**Tabela 52.18- Poluentes típicos e areas urbanas conforme Burton& Pitt,2002 em kg/ha x ano**

		Comercial	Estradas	Estacionamento	Shopping Center	Indústria	Área residencial com densidades			Áreas de Parques
							Alta	Média	Baixa	
1	<b>Sólidos Totais</b>	2363	1913	1463	810	754	754	506	73	ND
2	<b>TSS</b>	1125	990	450	495	563	473	281	11	3
3	<b>Cl</b>	473	529	338	41	28	61	34	10	ND
4	<b>TP</b>	1,7	1,0	0,8	0,6	1,5	1,1	0,3	0,0	0,04
5	<b>TKN</b>	7,5	8,9	5,7	3,5	3,9	4,7	2,8	0,3	ND
6	<b>NH<sub>3</sub></b>	2,1	1,7	2,3	0,6	0,2	0,9	0,6	0,0	ND
7	<b>NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub></b>	3,5	4,7	3,3	0,6	1,5	2,3	1,6	0,1	ND
8	<b>DBO<sub>5</sub></b>	70	ND	53	ND	ND	30	15	1	ND
9	<b>COD</b>	473	ND	304	ND	225	191	56	8	ND
10	<b>Pb</b>	3,04	5,06	0,90	1,24	0,23	0,90	0,11	0,00	0
11	<b>Zn</b>	2,36	2,36	0,90	0,68	0,45	0,79	0,11	0,00	ND
12	<b>Cr</b>	0,17	0,10	ND	0,05	0,68	ND	0,00	0,00	ND
13	<b>Cd</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	ND
14	<b>As</b>	0,02	0,02	ND	0,02	0,00	ND	0,00	0,00	ND

Fonte: New techniques for urban river rehabilitation, october 2004, EKT-CT-2002-00082 LNEC João Rocha

### 52.22 Balanço hídrico para o reservatório de retenção

Deve ser feito um balanço hídrico para ver se o reservatório não ficará vazio nos meses com pouca chuva devido a evapotranspiração e ou retirada de água para irrigação conforme Figura (52.2).

$$V = P + R_o + Q_b - I - E - E_{To} - O_v - O_u \quad \text{Equação 52.1}$$

Sendo:

$V$  = variação do volume no tempo de um mês ( $m^3/mês$ )

$P$  = volume precipitado na superfície da água ( $m^3/mês$ )

$R_o$  = volume referente ao escoamento superficial ou *runoff* da área que cai na represa ( $m^3/mês$ )

$Q_b$  = volume referente a vazão base que chega à represa ( $m^3/mês$ )

$I$  = infiltração da água no solo na represa ( $m^3/mês$ )

$E$  = evaporação na superfície líquida da represa ( $m^3/mês$ )

$E_{To}$  = evapotranspiração de referência na superfície líquida para plantas emergentes da represa ( $m^3/mês$ )

$O_v$  = *overflow*, isto é, volume que sairá da represa ( $m^3/mês$ )

$O_u$  = volume retirada para outros fins, tal como irrigação ( $m^3/mês$ )

Vamos explicar com mais detalhes cada parâmetro da Equação (52.1), sempre observando que usaremos o intervalo de um mês.

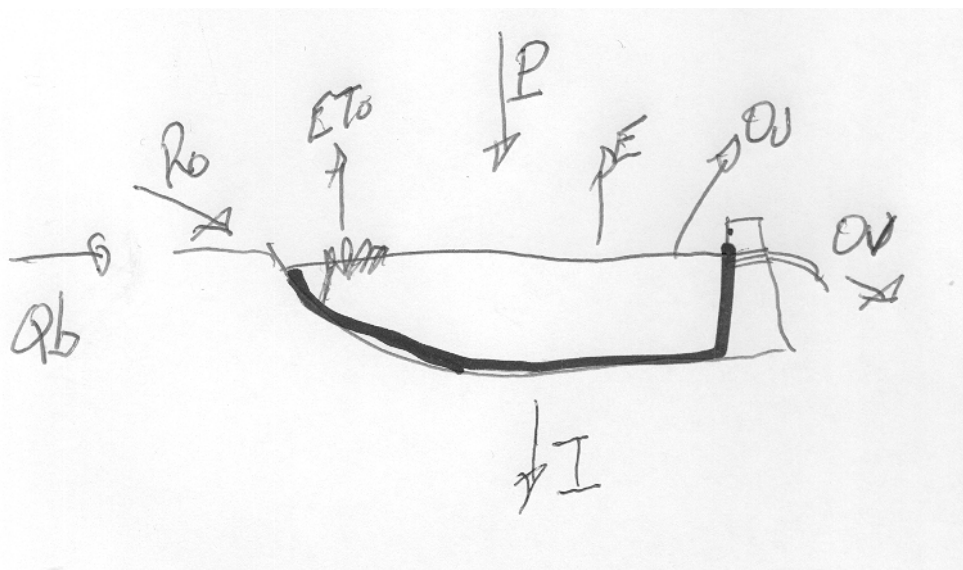


Figura 52.2- Esquema do balanço hídrico em um barramento

### 52.23-Remoção de sedimentos em bacias de **detenção estendida** (ED) conforme Papa, 1999.

A bacia de detenção estendida é aquela projetada para deter vazões de pico de enchentes e só deixar passar a vazão de pré-desenvolvimento e melhorar a qualidade das águas pluviais. O reservatório se enche e depois esvazia num tempo determinado pelo projetista ficando depois vazio. O tempo de detenção de modo geral está entre 24h a 48h e o período de retorno usado varia de 10anos a 25anos.

Através dos cálculos abaixo podemos estimar a eficiência da remoção de TSS de um reservatório de detenção estendido e podemos alterar a profundidade e a área de superfície e desta maneira obtermos resultados melhores da eficiência até atingir o desempenho que queremos.

#### Eficiência da remoção

Para a eficiência vamos mostrar a conhecida equação de Fair e Geyer, 1954:

$$= 1 - [(1 + V_s / (n \times Q/A))]^{-n}$$

Sendo:

= eficiência dinâmica da deposição para remoção de sólidos em suspensão (fração que varia de 0 a 1)

$V_s$ =velocidade de sedimentação (m/h)

$n$ = fator de turbulência de Fair e Geyer, 1954 sendo usualmente admitido  $n=3$  para “boa performance”

$Q$ =vazão no reservatório ( $m^3/h$ ). Geralmente é a vazão de saída de pré-desenvolvimento.

$A$ = área da superfície do reservatório ( $m^2$ )

Podemos ainda fazer:

$$Q/A = h_A / t_s$$

Sendo:

$h_A$  =profundidade do reservatório (m)

$t_s$ = tempo médio de detenção (h)

$t_d$ = tempo de esvaziamento do reservatório quando está cheio e não há vazão de entrada até estar completamente vazio (h)

O  $t_s$  médio de detenção das águas pluviais no reservatório é aproximadamente a média de dois extremos ( $t_s=0$  e  $t_{smax}$ ):

$$t_s = (1/2) \times t_d$$

Fazendo as substituições temos:

$$\begin{aligned} &= 1 - [(1 + V_s / (n \times Q/A))]^{-n} \\ &= 1 - [(1 + V_s / (n \times h_A / t_s))]^{-n} \\ &= 1 - [(1 + (V_s \times t_d) / (2 \times n \times h_A))]^{-n} \end{aligned}$$

A última equação vale para uma determinada velocidade de sedimentação  $V_s$ , mas para todas temos que fazer a somatória para se obter a eficiência global  $E_d$ .

É importante observar que na equação abaixo já está multiplicada pela fração  $F_i$ .

$$E_d = \sum F_i \{ 1 - [(1 + (V_{si} \times t_d) / (2 \times n \times h_A))] \}^{-n}$$

Sendo:

$F_i$ = as frações da porcentagem das partículas (0,20; 0,10; 0,10;0,20;0,20;0,20)

#### Exemplo 52.5

Calcular a remoção de TSS de uma área de 100ha com dados de pesquisas do Canadá, 1994 com área impermeável de 60% onde se calculou um **reservatório de detenção estendido** com  $14.800m^3$ , diâmetro da tubulação de saída adotado de  $D=0,30m$ . Profundidade de 1,40m e área as superfície de  $10.571m^2$ .

Tempo de esvaziamento

$$t = [2 \cdot A_s \cdot (y_1^{0,5} - y_2^{0,5})] / [C_d \cdot A_o \cdot (2 \cdot g)^{0,5}]$$

$C_d=0,62$

$y_1=1,40m$

$$A_o = \pi D^2/4 = 3,1416/0,302^2/4 = 0,070686\text{m}^2$$

$$A_s = 10571\text{m}^2$$

$$t = [2 \times 10571 (1,4^{0,5} - 0^{0,5})] / [0,62 \times 0,070686 \times (2 \times 9,81)^{0,5}] = 128.870\text{s} = 35,8\text{h}$$

Nota: achamos o tempo de esvaziamento  $t=35,8\text{h}$  que é maior que 24h. Caso queiramos valor mais próximo de 24h adotariamos  $D=0,35\text{m}$ .

$$E_{di} = F_i \{ 1 - [(1 + (V_{si} \times t_d) / (2 \times n \times h_A))]^{-n} \}$$

Para a primeira linha  $F_i=0,20$  (20%)

$$E_{di} = 0,20 \{ 1 - [(1 + (0,000914 \times 35,8) / (2 \times 3 \times 1,40))]^{-3} \}$$

$$E_{di} = 0,0023$$

**Tabela 52.19- Resumo dos cálculos baseado em dados de Ontário**

Fração	(%) de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação	tempo de esvaziamento $t_d$	n	Profundidade reservatório $h_A$	Eficiência por fração
(mm)	(%)	(m/h)	(h)		(m)	TSS
20 $\mu\text{m}$	20	0,000914	35,8	3	1,4	0,0023
20<x 40	10	0,0468	35,8	3	1,4	0,0420
40<x 60	10	0,0914	35,8	3	1,4	0,0627
60<x 0,13mm	20	0,457	35,8	3	1,4	0,1922
0,13<x 0,40	20	2,13	35,8	3	1,4	0,1998
0,40<x 4,0	20	19,8	35,8	3	1,4	0,2000
Total=	100				Soma=Ed=	0,6991
					Eficiência=	<b>69,91</b>

Conclusão: a eficiência na remoção do reservatório de detenção estendido é a soma da eficiência das frações: 69,91%.

### Exemplo 52.6

Calcular a remoção de TSS de uma área de 100ha com dados de pesquisas nos Estados Unidos, 1986, com área impermeável de 60% onde se calculou um **reservatório de detenção estendido** com 14.800m<sup>3</sup>, diâmetro da tubulação de saída adotado de  $D=0,30\text{m}$ . Profundidade de 1,40m e área superfície  $A_s=10.571\text{m}^2$ .

Nota: a diferença entre este exemplo e o anterior são as velocidades de sedimentação.

**Tabela 52.20- Resumo dos cálculos baseado em dados de USA, 1986**

Fração	(%) de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação	tempo de esvaziamento $t_d$	n	$h_A$	Eficiência por fração
	(%)	(m/h)	(h)		(m)	
1	20	0,0009	35,8	3	1,4	0,0023
2	20	0,09	35,8	3	1,4	0,1245
3	20	0,45	35,8	3	1,4	0,1919
4	20	2,1	35,8	3	1,4	0,1998
5	20	19,5	35,8	3	1,4	0,2000
Total=	100				Soma=Ed=	0,7185
					Eficiência=	<b>71,85</b>

Conclusão: a eficiência na remoção do reservatório de detenção estendido é de 71,85%

### 52.24 Concentrações irreduzíveis

As concentrações irreduzíveis de efluentes das BMPs são aquelas quantidades abaixo do qual é impossível de se reduzir mais, conforme Tabela (52.21) e (52.21).

É importante salientar a importância de se usar concentrações irreduzíveis, pois, na prática não se consegue redução abaixo de determinado valor. Assim para o TSS não se consegue reduzir menos que 17 mg/L. Salientamos que mesmo assim muitas cidades e autores usam simplesmente a redução de 80% do TSS sem considerar o valor irreduzível. Recomendamos que seja usada a redução irreduzível que se aproxima mais da natureza. Observamos que quanto maior o valor do TSS maior será a redução e para valores baixos a redução é pouca devido a parte irreduzível,

**Tabela 52.21 - Limites de reduções de efluentes de algumas BMPs**

BMPs	TSS mg/L	TP mg/L	TN mg/L	Cu µg/L	Zn µg/L
Bacia alagada	17	0,11	1,3	5,0	30
Wetland artificial	22	0,20	1,7	7,0	31
Práticas de Filtração	11	0,10	1,12	10	21
Práticas de infiltração	17	0,05	3,8	4,8	39
Vala gramada	14	0,19	1,12	10	53

Fonte: New York State Storm water Management Design Manual, 2002.

**Tabela 52.22- Limites de reduções segundo Schueler**

Contaminant	Irreducible Concentration
TSS	20 to 40 mg/L
Total Phosphorous	0.15 to 0.2 mg/L
Total Nitrogen	1.9 mg/L
Nitrate-Nitrogen	0.7 mg/L
TKN	1.2 mg/L

### **Exemplo 52.7 Wet pond com concentrações irreduzíveis**

Em um empreendimento com 74 ha haverá construção de casas, comércio e um pouco de indústrias e estacionamentos. A área impermeável total é de 53,95%. A precipitação média anual é de 1500mm. Há duas opções construir um reservatório de retenção ou construir um reservatório de detenção estendido. Deverá ser aplicado o método LCCA para análise da vida útil de 20anos. Deverão ser comparadas as performances de remoção de TSS, TP e NT.

Vamos fazer as duas opções separadas, começando com o reservatório de retenção.

#### **Primeiro passo: achar o volume WQv**

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$$

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 53,95 = 0,54$$

P = 25mm = first flush adotado

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A$$

$$WQ_v = (25/1000) \times 0,54 \times 74\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 9.907\text{m}^3$$

#### **Segundo passo: decidir que volume usar**

Em uma bacia de retenção temos um volume permanente igual a  $WQ_v$  e um volume temporário igual a  $WQ_v$ .

Supomos também que o reservatório está *on line* e que temos um volume para enchentes que suporemos igual a  $0,5 WQ_v$ ; Suporemos também que temos um volume necessário para o extravasor de 100 anos e portanto, teremos um acréscimo de  $0,5WQ_v$ .

Resumo:

Volume permanente=  $WQ_v$

Volume provisório=  $WQ_v$

Volume de enchentes  $Tr=25$ anos=  $0,5 WQ_v$

Volume para  $Tr=100$ anos vertedor de emergência=  $0,5 WQ_v$

Total=  $3 WQ_v$

Portanto, o volume total será de 3 vezes o volume  $WQ_v$  e que será  $9.907m^3 \times 3 = 29.721 m^3$

**Terceiro passo:** adotar o custo do reservatório

Adotamos o custo de construção do reservatório de US\$  $37/m^3$

**Quarto passo:** adotar o custo de projetos e outros não esperados chamado de custo de contingência

Adotamos custo de contingência de 30%

**Quinto passo:** custo do reservatório + custos de contingência

O custo total será o custo básico acrescido dos custos de contingência.

Custo implantação do reservatório de retenção =  $29.721m^3 \times US\$ 37/m^3 \times 1,30 = US\$ 1.429.580$

**Sexto passo:** adotar a manutenção média anual

Adotamos manutenção media anual de 6%

**Sétimo passo; valor presente em 20 anos da manutenção media anual**

Valor do reservatório= US\$ 1.429.580

Manutenção anual = 6%

Manutenção =  $1429.580 \times 0,06 = US\$ 85.774,8/$  ano

**Adoto:**

taxa de juro real  $d=0,0383$  (3,83%).

$n= 20$ anos

$UPV = A_o \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$

$UPV = A_o \cdot [(1+0,0383)^{20} - 1] / [0,383 \cdot (1+0,0383)^{20}]$

$UPV = A_o \times 13,80$

$UPV = 85774,8 \times 13,80 = US\$ 1.183.692$

**Oitavo passo: valor presente do investimento e manutenção**

O custo da obra e mais o custo contingencial [e de US\$ 1.429.580 que somado ao valor presente da manutenção será:

**Valor presente total= US\$ 1.429.580 + US\$ 1.183.692 = US\$ 2.613,272**

**Nono passo: adoção de TSS, TP e NT**

---

É um grande problema a adoção do índice de remoção de TSS, TP e NT, pois tudo dependerá do projeto. Admitimos em um projeto mínimo de bacia de retenção mínima de 80% quando se usa o volume WQv. Para outro volume de reservatório permanentes maiores, teremos maiores valores podendo atingir no máximo 90%.

Adotamos então para o reservatório de retenção as seguintes taxas de remoção:

**TSS remoção de 80%**

**PT remoção de 50%**

**NT remoção de 35%**

**Décimo passo:** adoção das concentrações iniciais dos poluentes TSS, TP e TN

Adotaremos:

**TSS C= 100mg/L**

**TP C= 0,26 mg/L**

**TN C= 2,0 mg/L**

**Décimo primeiro passo:** aplicação do método Simples de Schueler para ver quando chegam ao reservatório dos poluentes TSS, TP e TN.

A chegada anual de TSS será:

$$L=0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

P= 1500mm/ano

P<sub>j</sub>= 0,90

R<sub>v</sub>= 0,54

A= 74ha x 10000m<sup>2</sup>

$$L=0,01 \times 1500 \times 0,9 \times 0,54 \times C \times 74$$

$$L= 539,46 \times C$$

Assim para TSS= 100mg/L

$$L= 539,46 \times 100=53946 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20}= 20 \times 53946= 1.078.920 \text{ kg}$$

Chegada anual de TP será:

$$L= 539,46 \times C$$

Assim para TP= 0,26mg/L

$$L= 539,46 \times 0,26= 140 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20}= 20 \times 140= 2800 \text{ kg}$$

chegada anual de TN será:

$$L= 539,46 \times C$$

Assim para TN= 2mg/L

$$L= 539,46 \times 2= 1079 \text{ kg/ano}$$

Para 20 anos teremos:

$$L_{20}= 20 \times 1079= 21.589 \text{ kg}$$

**Décimo segundo passo- concentrações irreduzíveis**

Vamos adotar as seguintes concentrações irreduzíveis conforme Schueler.

**TSS 20 mg/L**

**PT 0,11 mg/L**

**NT 1,3 mg/L**

Para um ano chegará  $L = 539,46 C$

### TSS

Queremos saber o que será retido em 20 anos considerando 80% de redução de TSS considerando o valor irreduzível de 20 mg/L.

$$100\text{mg/L} \times 0,80 = 80\text{mg/L} \quad 100\text{mg/L} - 80\text{mg/L} = 20\text{mg/L}$$
$$539,46 \times 100\text{mg/L} \times 0,80 \times 20\text{anos} = 863.136\text{kg durante 20anos}$$

### PT

Queremos saber o que será retido em 20 anos considerando 50% de redução de PT considerando o valor irreduzível de 0,11 mg/L.

$$0,26\text{mg/L} \times 0,50 = 0,13\text{ mg/L}$$
$$0,13\text{ mg/L} - 0,11\text{mg/L} = 0,02\text{mg/L}$$
$$539,46 \times 0,02\text{mg/L} \times 20] = 216\text{kg durante 20anos}$$

### NT

Queremos saber o que será retido em 20 anos considerando 35% de redução de NT considerando o valor irreduzível de 1,3 mg/L.

$$2,0\text{mg/L} \times 0,35 = 0,7\text{ mg/L}$$
$$0,7\text{mg/L} - 1,3\text{mg/L} < 0 \text{ e portanto redução zero}$$

**Décimo terceiro passo-** cálculo do custo em US\$/kg de poluente removido  
Supomos o valor presente total da obra dividido isoladamente para cada poluente.

Para o poluente TSS

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$
$$\text{US\$ 2.613.272} / 863.136\text{kg} = \text{US\$ 3,03/m}^3$$

Para o poluente TP

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$
$$\text{US\$ 2.613.272} / 216\text{kg} = \text{US\$ 12.098/m}^3$$

Para o poluente TN

$$\text{Valor presente total da obra e manutenção: US\$ 2.613.272}$$



Décimo terceiro passo- resumo das remoções e custos

**Tabela 52.22- Taxa de reduções de diversos poluentes o custos de remoção independes um dos outros para reservatório de retenção**

TSS	TP	TN	Valor presente para 20 anos
80%	50%	35%	
US\$ 3,03/m <sup>3</sup>	US\$ 12.098/m <sup>3</sup>	Não reduz nada	US\$ 2.613.272
20 mg/L	0,11 mg/L	1,3 mg/L	Irredutível

### 52.25 Método de Vetter

Conforme Vetter, 1940 in Haan et al, 1994 na **condição turbulenta de uma tormenta** podemos aproximadamente calcular a eficiência de sedimentação de determinada partícula usando as seguintes equações:

$$F = 1 - \exp(-V_s/V_c)$$
$$V_c = Q/A_s$$

Sendo:

F= fração de remoção (0 a 1) da partícula de velocidade de sedimentação  $V_s$ .

$V_s$ = velocidade de sedimentação (m/s) da partícula de diâmetro  $D_i$

$V_c$ = taxa de *overflow* (m/s)

Q= vazão de saída ou de entrada (m<sup>3</sup>/s)

$A_s$ = área da superfície do lago (m<sup>2</sup>)

$x_i$ = fração de sedimento da partícula de diâmetro médio  $D_i$

E= remoção de todas as partículas (0 a 1)

A remoção total:

$$E = \sum F_i \times x_i$$

### Exemplo 52.8

Baseado em Vetter, 1940 calcular a eficiência de remoção de sedimentos em um reservatório de detenção estendido com os dados da Tabela (52.23):

**Tabela 52.23- Dados reservatorio de detenção estendido**

Area da bacia (ha)=	<b>74</b>
AI (%)=	<b>54</b>
Rv=	<b>0,536</b>
P(mm)=first flush=	<b>25</b>
WQv (m3)=	<b>9916</b>
Esv 24h	<b>86400</b>
Q <sub>24</sub> (m3/s)=	<b>0,115</b>
Altura (m)=	<b>1,4</b>
As (m2)=	<b>7083</b>
Tubo saida D0=	0,3
Ao (m2)=tubo	0,070686
tempo esvaz (h)=	24

**Tabela 52.24-Cálculo da eficiencia de um reservatorio de detenção estendido conforme Vetter in Haan, 1994**

Fração	Delta X	Particula media (mm)	Vs=0,8887x D <sup>2</sup>	Q (m3/s)	As (m2)	Vc (m/s)	Vs/Vc	Fi	delta X x Fi
1	0,1	0,1700	0,025683	0,115	7983,00	0,000014	1782,88	1,00	0,10
2	0,1	0,0880	0,006882	0,115	7983,00	0,000014	477,74	1,00	0,10
3	0,1	0,0580	0,002990	0,115	7983,00	0,000014	207,53	1,00	0,10
4	0,1	0,0400	0,001422	0,115	7983,00	0,000014	98,71	1,00	0,10
5	0,1	0,0300	0,000800	0,115	7983,00	0,000014	55,52	1,00	0,10
6	0,1	0,0220	0,000430	0,115	7983,00	0,000014	29,86	1,00	0,10
7	0,1	0,0120	0,000128	0,115	7983,00	0,000014	8,88	1,00	0,10
8	0,1	0,0065	0,000038	0,115	7983,00	0,000014	2,61	0,93	0,09
9	0,1	0,0034	0,000010	0,115	7983,00	0,000014	0,71	0,51	0,05
10	0,1	0,0012	0,000001	0,115	7983,00	0,000014	0,09	0,09	0,01
								Soma=	<b>0,85</b>

A eficiencia na remoção de sedimentos foi de 85%.

### Exemplo 52.8

Baseado em Vetter, 1940 calcular a eficiência de remoção de sedimentos em um reservatório de detenção estendido com os dados da Tabela (52.25):

**Tabela 52.25- Dados reservatorio de detenção estendido**

Area da bacia (ha)=	<b>74</b>
AI (%)=	<b>54</b>
Rv=	<b>0,536</b>
P(mm)=first flush=	<b>25</b>
WQv (m3)=	<b>9916</b>
Esv 24h	<b>86400</b>
Q <sub>24</sub> (m3/s)=	<b>0,115</b>
Altura (m)=	<b>1,4</b>
As (m2)=	<b>7083</b>
Tubo saida D0=	0,3
Ao (m2)=tubo	0,070686
tempo esvaz (h)=	24

Na coluna 1 e 2 estão as volumes em fração e o diâmetro médio das partículas em mm.

**Tabela 52.26-Cálculo da eficiência de um reservatório de detenção estendido conforme Vetter in Haan, 1994**

Fração	$\Delta X$	Particula média (mm)	$V_s=0,8887 \times D^2$	Q (m <sup>3</sup> /s)	As (m <sup>2</sup> )	Vc (m/s)	Vs/Vc	Fi	( $\Delta X$ ) x Fi
Coluna 1	Coluna 2								
1	0,20	0,0005	0,0000003	0,115	7983	0,000014	0,02	0,0175	0,00
2	0,10	0,0038	0,0000130	0,115	7983	0,000014	0,90	0,5944	0,06
3	0,10	0,0053	0,0000254	0,115	7983	0,000014	1,76	0,8284	0,08
4	0,20	0,0120	0,0001269	0,115	7983	0,000014	8,81	0,9999	0,20
5	0,20	0,0258	0,0005917	0,115	7983	0,000014	41,07	1,0000	0,20
6	0,20	0,0787	0,0055000	0,115	7983	0,000014	381,80	1,0000	0,20
	1,00							Soma=	0,75

Neste segundo exemplo a eficiência na remoção de sedimentos foi de 75%.

### 52.26 Bibliografia e livros consultados

- CIRIA (CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION). *Design of flood storage reservoirs*. Inglaterra, 140 páginas, 1996.
- CIRIA. *The SUDS manual*. London, 2007, CIRIA C697, ISBN 978-0-86017-697-8
- EPA. *Costs of Best management practices and associated land for urban stormwater control*. EA/600/JA-03/261/2003. 25 páginas.
- HAAN, C.T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, 1994, 588 páginas, ISBN 13:978-0-12-312340-4
- KALMANN, ORIT ET AL. *Benefit-cost analysis of stormwater quality improvements*. Environmental Management vol 26 nº 6 pp 615-628 ano 2000.
- MAYS, LARRY W; e TUNG, YEOU-KOUNG. *Hydrosystems engineering&management*. McGraw-Hill, 1992, 530 páginas.
- MINNESOTA. *The Cost and effectiveness of stormwater management practices*. Research. Junho de 2005.
- MOELLER, GLENN et al. *Practicability of detention basins for treatment of Caltrans highway runoff based on a maximum extent practicable evaluation*. California State University. Sacramento (CSUS) ano 2001.
- NEW JERSEY STORMWATER – Best Management practices Manual- Standar for wet ponds. fevereiro de 2004
- PAPA, FABIAN et al. *Detention time selection for stormwater quality control ponds*. 31/july/1999. Can. J. Civ. Eng. 26:72-82 (1999).
- RINKER, 2004. *Particle size distribution (PSD) in stormwater runoff*.  
[http://www.rinkermaterials.com/ProdsServices/downloads/InfoBriefs\\_Series/IS%20601%20Particle%20Size%20Distribution%20\\_PSD\\_%20in%20Stormwater%20Run.pdf](http://www.rinkermaterials.com/ProdsServices/downloads/InfoBriefs_Series/IS%20601%20Particle%20Size%20Distribution%20_PSD_%20in%20Stormwater%20Run.pdf)
- TOMAZ, PLINIO. *Autodepuração dos cursos de água*. Livro digital.
- TOMAZ, PLINIO. *Infiltração e Balanço Hídrico*. Ano 2008 livro digital
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar Editora, 2006.]
- TOMAZ, PLINIO. *Remoção de sedimentos em BMPs*. Livro digital
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins for control for urban runoff quality*. EPA 440/5-87-001 setembro 1986. Coordenado por Eugene D. Driscoll baseado nas pesquisas de Dominic M. DeToro e Mitchell Small.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 2- Vegetative biofilters. EPA/600/R-04/121A setembro 2004.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 3- Basin Best management practices. EPA/600/R-04/121B setembro 2004.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 1- General Considerations
- WANIELISTA, MARTIN P. E YOUSEF, A. YOUSEF. *Stormwater management*. Editora John Wiley e sons. 1993, ISBN 0-471-57135-0, 579 páginas.