

## Capítulo 54- Carga de poluentes e análise de custo de BMP



**Capítulo 54- Carga de poluentes e análise de custo de BMP**

<b>Ordem</b>	<b>Assunto</b>
54.1	Introdução
54.2	<i>First flush</i>
54.3	Volume WQv
54.4	Escolha da BMP
54.5	Objetivo da BMP
54.6	Eficiência da BMP
54.7	Distribuição do uso do solo
54.8	<i>Runoff</i>
54.9	Cargas dos poluentes
54.10	Método Simples de Schueler
54.11	Fração do <i>runoff</i> que vai para a BMP
54.12	Remoção da carga de poluentes
54.13	Custo da obra
54.14	<i>Software</i>
54.15	Exemplo modelo
54.16	Custos em kg de remoção de TSS
54.17	BMP em série
54.18	Remoção de sedimentos em bacias de retenção estendida conforme Akan
54.19	Remoção de sedimentos em bacias de retenção estendida conforme Papa, 1999.
54.20	Bibliografia e livros consultados

## Capítulo 54- Carga de poluentes e análise de custo de BMP

### 54.1 Introdução

Quando temos um loteamento ou uma determinada área em uma cidade, é importante verificar as cargas de poluentes que dependem do uso do solo e implantar obras estruturais para a melhoria da qualidade das águas pluviais, que são as BMPs e avaliar o menor custo por quilograma de remoção de TSS (sólidos totais em suspensão).

Apesar de inúmeros fenômenos que ocorrem nas BMPs, **a sedimentação** é o mais importante, pois está provado que quando se depositam sedimentos menores que 100 $\mu$ m que são o TSS (sólidos totais em suspensão), os mesmos arrastam consigo uma grande parte dos metais pesados, nitrogênio, fósforo e outros poluentes.

TSS são os sólidos que estão suspensos nas águas pluviais e excluem o lixo, detrito e outros sólidos que possuem diâmetros maiores que 500 $\mu$ m.

Em estudo de melhoria da qualidade das águas pluviais o TSS é muito importante e bastante usado.

O esquema geral está na Figura (54.1) que mostra a entrada de dados das diversas ocupações do solo, o *first flush* adotado, o volume de *runoff* calculado, o volume de *runoff* que realmente é capturado pela BMP, o custo anual e no final a redução conseguida em US\$/ kg de TSS.

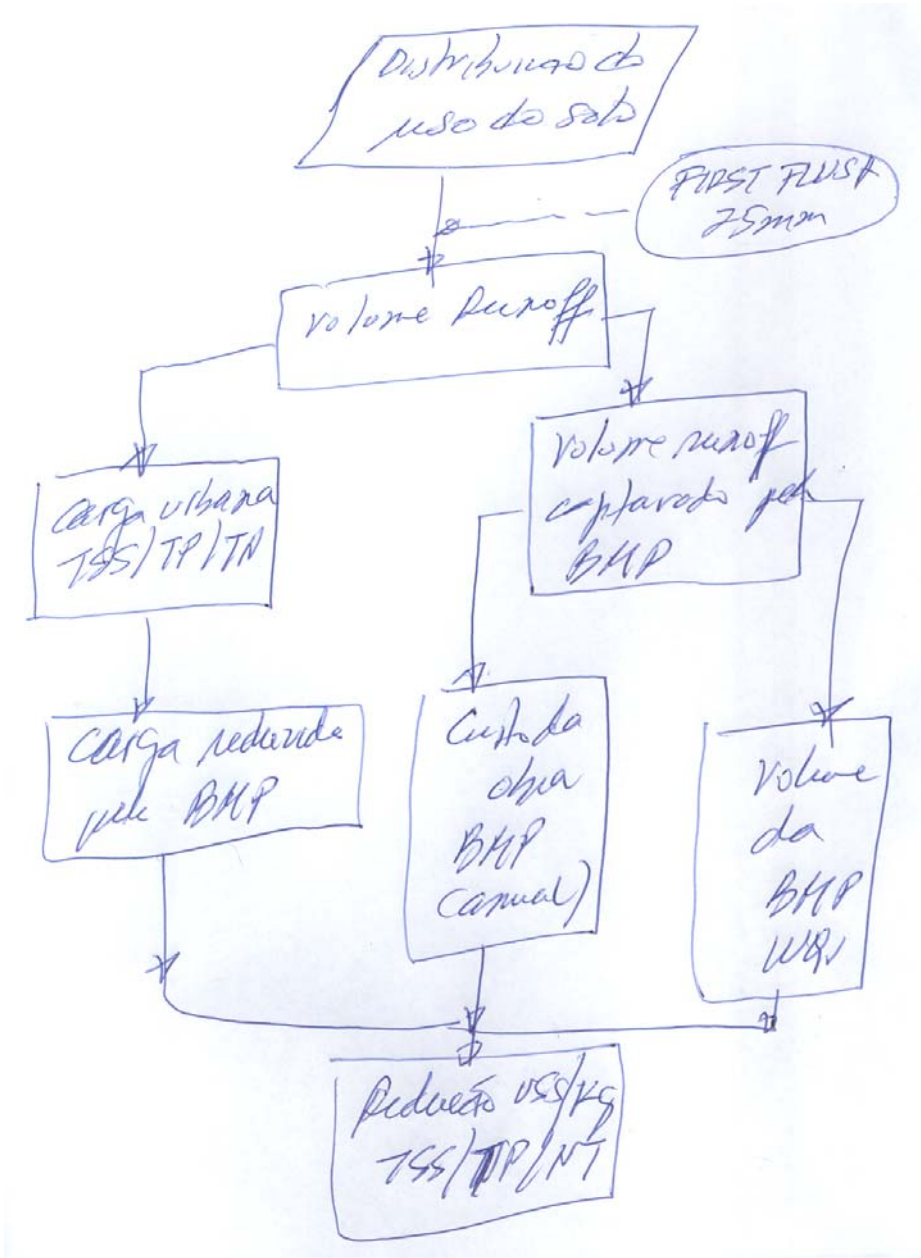


Figura 54.1- Esquema da carga de poluentes e custo da BMP

### 54.2 First flush

Adotamos a teoria de Schueler, 1987 em que achamos o *first flush* tomando-se 90% das precipitações diárias que produzem *runoff*. O resultado obtido que na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foi de 25mm que deverá reter 80% dos sólidos totais em suspensão (TSS).

### 54.3 Volume WQv

O volume gerado pelo *first flush* P=25mm é o volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv calculado da seguinte maneira.

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

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

Sendo:

Rv= coeficiente volumétrico (adimensional)

AI= área impermeável da bacia (%)

P= *first flush*. Para RMSP P=25mm

A= área da bacia (m<sup>2</sup>)

#### **Reservatório de detenção estendido:**

O reservatório de detenção estendido deverá ter um volume temporário WQv que deverá ser esvaziado no período de 24h a 72h. Chamamos a atenção que o reservatório de detenção estendido **pode** ser aliado à detenção de enchente, mas tais acréscimo de custo não colocaremos no projeto.

Os reservatórios de detenção estendido são fáceis de serem construídos e possuem menos chance de falhas de rompimento de barragens, porém a remoção de poluentes não é muito grande.

#### **Reservatório de retenção**

O reservatório de retenção tem um volume **permanente** WQv e um volume **temporário** WQv e portanto, o custo estimado é sobre 2 x WQv. Algumas cidades usam como volume permanente 1,5 WQv e volume temporário 0,5WQv ou 1,0 WQv.

É altamente **eficiente** e possui ótima **estética**. Necessita porém uma área mínima de 4ha a 10ha da bacia para manter a vazão base.

Como teremos uma superfície líquida, as vezes o problema de **vetores** podem apresentar uma manutenção muito grande.

Devemos ter também ter os cuidados de **segurança** para evitar afogamentos.

#### **54.4 Escolha da BMP**

Em área urbana de modo geral a escolha da BMP depende da topografia, do custo do terreno e cai principalmente em duas alternativas:

##### **Reservatório de detenção estendido e Reservatório de retenção**

É importante salientar que a escolha da BMP adequada depende muito das condições locais e deverá ser levado em conta a **aceitação pública** da mesma e os **aspectos estéticos**. Caso se consiga aproveitar e **deter as enchentes** a escolha poderá ser melhor conforme Barret, 2004.

Não é fácil a escolha de uma BMP. Assim em locais onde a possibilidade de infiltração das águas pluviais podem ser perigosas ao aquífero subterrâneo é comum usar-se reservatório de detenção estendido. Existem locais onde é importante a recarga e então a bacia de infiltração torna-se importante.

Quando o preço do terreno caso haja desapropriação é muito alto e pode impossibilitar a construção da BMP assim como as condições topográficas.

Texas, 2001 classificou as BMPs em dois grupos dependendo do tamanho das bacias. As bacias pequenas variam de 0,4ha a 2,0ha e são vala gamada, pavimento poroso e trincheira de infiltração. As bacias grandes são maiores que 4ha e são: reservatório de retenção, reservatório de detenção estendido, filtro de areia e bacia de infiltração.

**Tabela 54.1- Grupos de BMPs em função do tamanho da bacia**

<b>Bacias com área de 0,4ha a 2,0ha</b>	
Vala gramada	
Pavimento poroso	
Trincheira de infiltração	
<b>Bacias com áreas <math>\geq</math> 4,0ha</b>	
Reservatório de infiltração	
Reservatório de detenção	
Filtro de areia	
Reservatório de retenção	

#### 54.5 Objetivo da BMP

Sólidos totais em suspensão (TSS) são os sólidos que estão suspensos nas águas pluviais e excluem o lixo, detrito e outros sólidos que possuem diâmetros maiores que 500 $\mu$ m.

**O objetivo de uma BMP é reduzir na situação de pós-desenvolvimento 80% dos sólidos totais em suspensão (TSS).**

**Sólidos** é tudo o que pode ser pesado e **sedimentos** são materiais fragmentados de rocha ou solo por efeito químico ou físico. O sedimento pode ser pensado como uma parte dos sólidos.

De modo geral a concentração de TSS do afluente varia entre 100mg/L a 200mg/L podendo ser facilmente removido em 80%. Quando o afluente tem concentração menor que 100mg/L fica mais difícil fazer a remoção pois é praticamente impossível reduzir o efluente menor que 20mg/L (concentração irreduzível).

#### 54.6 Eficiência da BMP

A comparação da eficiência das BMPs é um assunto complicado, pois é difícil de se comparar os dados obtidos em varias cidades, estados ou países conforme Tabela (54.2). Vamos apresentar uma tabela onde temos vários dados de eficiência de TSS de diversos autores americanos.

**Tabela 54.2- Remoção de TSS em porcentagem de diversas BMPs conforme vários autores**

BMP	Schueler, 1986	FHWA, 1995 Young	Malina, 1997 TxDOT	EPA, 1999 Strassler	ASCE/EPA,2000 Winer	Valores usados
Filtro de areia			98	50 a 80	87	80
Bacia de infiltração	90	90		50 a 80		80
Bacia de detenção	65	82	89	30 a 65	61	65
Bacia de retenção	54	32 a 91			80	75
Vala gramada		60	51 a 75	30 a 65	68	60
Pavimento poroso	82 a 95	82 a 95		65 a 100	95	80
Trincheira de infiltração	99	99		50 a 80	100	90

Fonte: Texas, 2001

Na Tabela (54.3) temos a matriz com cinco poluentes de várias BMPs e a média gera conforme Texas, 2001.



**Tabela 54.3- Taxa de remoção em porcentagem de cinco poluentes em porcentagem e média em fração**

BMP	TN	TP	Pb	Zn	TSS	Média
<b>BMP com bacias grandes</b>						
Detenção estendida	45	30	90	50	90	0,61
Bacia retenção	35	55	65	65	80	0,50
Bacia de infiltração	80	65	90	90	85	0,82
Filtro de areia	32	45	71	69	80	0,59
<b>BMP em bacias pequenas</b>						
Vala gramada	10	15	50	45	60	0,36
Pavimento poroso	65	30	65	60	65	0,57
Trincheira de infiltração	75	55	20	50	50	0,50

Fonte: Texas, 2001

Texas, 2001 observa que os valores de TSS são geralmente válidos para partículas grandes e que para solos argilosos sua validade é discutível.

#### 54.7 Distribuição do uso do solo

O uso do solo da bacia pode ser dividido em áreas: residências, comerciais, industriais, jardins, parques, estacionamentos, etc.

Na Tabela (54.4) temos a vários exemplos de distribuição do uso do solo e áreas impermeáveis estimadas. Desta maneira estimamos a área residencial com alta densidade com área impermeável de 60% e área de densidade média de 40%. Observemos que estes valores poderão ser alterados dependendo da experiência do projetista e do conhecimento da situação local.

#### 54.8 Runoff

O escoamento superficial (*runoff*) é calculado pela equação:

$$R = P \times P_j \times R_v$$

Sendo:

R= *runoff* (escoamento superficial) em m<sup>3</sup>

P= precipitação média anual em mm

P<sub>j</sub>= fração que produz *runoff*. Normalmente P<sub>j</sub>=0,90

R<sub>v</sub>= coeficiente volumétrico

### 54.9 Cargas dos poluentes

Uma estimativa retirada de varias fontes sobre cargas de TSS, TP e NT está na Tabela (54.4) e esclarecemos que todos os dados são muito discutidos, pois pelo que constatamos ainda não existe uma tabela totalmente aceita por todos. Dependendo do estado, país ou cidade os dados são diferentes e somente serão confiáveis quando tivermos pesquisas feitas no Brasil.

**Tabela 54.4- Cargas de TSS, TP, NT para diversos usos do solo**

Uso do solo	% Impermeável	TSS (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)
Área aberta	9	48,50	0,31	0,74
Área em construção	100	4000,00	0,00	0,00
Área residencial com alta densidade	60	100,00	0,40	2,20
Área residencial com baixa densidade	20	100,00	0,40	2,20
Área residencial com densidade média	40	100,00	0,40	2,20
Área rural	2	30,00	0,09	0,80
Área urbana	60	85,00	0,13	1,20
Comercial	85	75,00	0,20	2,00
Estacionamento e pátios	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 veículos	100	335,00	0,00	0,00
Paisagismo ( <i>landscape</i> )	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
Vegetação nativa/floresta	2	6,00	0,03	0,20

### 54.10 Método Simples de Schueler

A *equação de Schueler* é similar ao método racional e nas unidades SI adaptada neste livro. 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)



#### 54.11 Fração do *runoff* que vai para a BMP

Para a RMSF supomos que o *first flush* é  $P=25\text{mm}$ , que corresponde a 90% das precipitações anuais que produzem *runoff*.

Nos estudos que fizemos das precipitações da cidade de Mairiporã para o período de 1958 a 1995 achamos que se admitirmos o *first flush* de 25mm serão encaminhados para a BMP 85% do total do *runoff*, mas que 15% não passarão pelo tratamento e se encaminharão diretamente aos rios e córregos. Não consideramos a água aderente a superfícies e que não produz *runoff* e que é de aproximadamente 1mm.

Portanto, a **fração *runoff* tratado é  $K=0,85$ .**

**Dica: vai para o tratamento (BMP) 85% e não passa pelo tratamento 15%. Quando não se têm dados admitimos que 90% vão para a BMP e 10% vai direto para os cursos de água.**

$$R = P \times P_j \times R_v$$

$$VR = (R/1000) \times A$$

$$VR_{BMP} = K \times VR$$

Sendo:

$R = \textit{runoff}$  (mm/ano)

$VR =$  volume de *runoff* ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )

$VR_{BMP} =$  volume de *runoff* que vai para a BMP ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )

$A =$  área da bacia ( $\text{m}^2$ )

$K =$  fração do *runoff* que vai para a BMP

#### Exemplo 54.1

Calcular o *runoff*  $R$  de uma área residencial com alta densidade com 10ha, área impermeável  $AI=60\%$ .

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 60 = 0,59$$

$P_j = 0,90 =$  precipitações que produzem *runoff*

$P = 1500\text{mm} =$  precipitação média

$$R = P \times P_j \times R_v$$

$$R = 1500 \times 0,90 \times 0,59 = 797\text{mm/ano}$$

Portanto, o *runoff* será  $R = 797\text{mm/ano}$  ou o volume em  $\text{m}^3$  em  $VR = (797/1000) \times A$

$$VR = (R/1000) \times A (\text{m}^2) = (797/1000) \times 10\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 79.700\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VR_{BMP} = K \times VR$$

$$K = 0,85$$

$$VR_{BMP} = 0,85 \times 79.700\text{m}^3/\text{ano} = \mathbf{67.745\text{m}^3/\text{ano}}$$

#### 54.12 Remoção da carga de poluentes

As BMPs removem a carga de poluentes e a Tabela (54.5) apresenta a remoção de TSS, TP e TN. Assim um reservatório de detenção estendido remove 53% do TSS, 25% de fósforo total e 30% de nitrogênio total.

Esclarecemos ainda que os valores que colocamos na Tabela (54.5) é muito discutido, pois variam de país para país, de cidade para cidade e devemos colocá-los como estimativas, já que não temos pesquisas do assunto no Brasil.

**Tabela 54.5- Remoção da carga de poluentes**

Tipo de BMP	TSS Remoção (%)	TP Remoção (%)	TN Remoção (%)
Bacia de infiltração	80%	60%	50%
Canal gramado	70%	30%	30%
Filtro de areia	82%	46%	35%
Rain garden (biofiltro)	90%	72%	58%
Reservatório de retenção	65%	52%	30%
Reservatório detenção seco ou estendido	53%	25%	30%
Trincheira de infiltração	75%	55%	58%
Vala gramada	48%	30%	30%

**Exemplo 54.2**

Calcular a carga de TSS, TP e TN retida pelo reservatório de detenção de uma área residencial com alta densidade com 10ha, área impermeável AI=60%.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 60 = 0,59$$

$$P_j = 0,90 = \text{precipitações que produzem runoff}$$

$$P = 1500\text{mm} = \text{precipitação média}$$

$$R = P \times P_j \times R_v$$

$$R = 1500 \times 0,90 \times 0,59 = 796,5\text{mm/ano}$$

Portanto, o runoff será  $R = 796,5\text{mm/ano}$  ou o volume em  $\text{m}^3$  em  $VR = (796,5/1000) \times A$

$$VR = (R/1000) \times A (\text{m}^2) = (796,5/1000) \times 10\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 79.650\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VR_{BMP} = K \times VR$$

$$K = 0,85$$

$$VR_{BMP} = 0,85 \times 79.650\text{m}^3/\text{ano} = 67.770\text{m}^3/\text{ano}$$

Conforme Tabela (54.2) o reservatório de detenção apresenta as seguintes cargas médias e mg/L.

Tipo de BMP	TSS (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)
Reservatório de retenção	100,00	0,40	2,20
	Redução de TSS	Redução de TP	Redução de TN
	65%	52%	30%

Pelo método Simples de Schueler, 1987 temos:

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

$$L = 0,01 \times VR_{BMP} \times C$$

Para TSS temos  $C = 100 \text{ mg/L}$

$$VR_{BMP} = 67.770\text{m}^3/\text{ano}$$

$$L = 0,01 \times 67.770 \times 100 = 67.770\text{kg/ano de TSS que chega a BMP}$$

Como a **redução de TSS é de 65%** o valor da carga retida pela BMP será:

$$L_{BMP} = 67770 \times 0,65 = \mathbf{44.051 \text{ kg/ano de TSS}}$$

Para fósforo total PT temos  $C = 0,40 \text{ mg/L}$

$$VR_{BMP} = 67.770 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$L = 0,01 \times 67.770 \times 0,40 = 271 \text{ kg/ano de PT que chega a BMP}$$

Como a **redução de PT é de 52%** o valor da carga retida pela BMP será:

$$L_{BMP} = 271 \times 0,52 = 141 \text{ kg/ano de PT}$$

**Para nitrogênio total NT temos C=2,20 mg/L**

$$VR_{BMP} = 67.770 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$L = 0,01 \times 67.770 \times 2,20 = 1.491 \text{ kg/ano de NT que chega a BMP}$$

Como a **redução de NT é de 30%** o valor da carga retida pela BMP será:

$$L_{BMP} = 1.491 \times 0,30 = 447 \text{ kg/ano de NT}$$

### 54.13 Custo da obra

Na Tabela (54.6) estão os custos estimados das BMPs em dólares americanos por m<sup>3</sup>.

Temos o custo da implantação da obra, o custo de manutenção anual que geralmente é expresso em porcentagem do custo da obra e o custo de projetos e contingências, estimado em 30% do custo de implantação da obra.

Assim um reservatório de detenção estendido possui custo de US\$ 30/m<sup>3</sup>, manutenção anual de 6% do custo de implantação ao ano e custo de projeto e contingências de 30%. O custo total será US\$ 41/m<sup>3</sup>.

A vida da obra pode ser considerada entre 20anos e 30 anos, sendo adotado usualmente 20anos.

De modo geral a remoção de TSS é o objetivo principal das BMPs sendo o fósforo total e nitrogênio total objetivos secundários.

**Tabela 54.6- Custos das BMPs com manutenção, etc**

BMPs	Custo da obra US\$/m <sup>3</sup>	Manutenção anual Porcentagem do custo da obra (%)	Custo de projetos e contingência. Porcentagem do custo da obra (%)	Custo total US\$/m <sup>3</sup>
Bacia de infiltração	46	3	30	61
Canal gramado	18	6	30	24
Filtro de areia	212	12	30	301
Rain garden (biofiltro)	187	6	30	254
Reservatório de retenção	37	6	30	50
Reservatório detenção seco ou estendido	30	6	30	41
Trincheira de infiltração	141	15	30	204
Vala gramada	18	7	30	25
Wetland construída	44	6	30	60
Estruturas de entrada				
Faixa de filtro gramada				

O custo de projetos e contingências é normalmente adotado como de 30% do custo da obra sem incluir a manutenção anual.

Alguns estados americanos usam para reservatório de retenção estendido e reservatório de retenção o custo de US\$ 10.380/ha de área da superfície da BMP, não confundindo com a área da bacia. De modo geral, a área da superfície é admitida com reservatório com profundidade média de 1,5m.

Assim para um volume  $WQ_v$  de  $9907\text{m}^3$  e considerando a profundidade média de 1,5m teremos área de  $6.605\text{m}^2$  (0,6605ha) o que daria um custo anual de US\$  $10.389/\text{ha} \times 0,6605\text{ha} = \text{US\$ } 6.862,00/\text{ano}$ .

### Exemplo 54.3

Dado reservatório de retenção com bacia com área de 74ha, first flush  $P=25\text{mm}$  e área impermeável da bacia  $AI=53,95\%$ .

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 53,95 = 0,5356$$

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

$$WQ_v = (25/1000) \times 0,5356 \times 74\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 9.909\text{m}^3$$

O custo por  $\text{m}^3$  de água do reservatório de retenção é US\$  $50,00/\text{m}^3$ , incluso custo de construção, manutenção e operação, projetos e contingências, mas não está incluso o custo de terras.

Como o reservatório de retenção tem um volume permanente e um volume transitório, ambos iguais a  $WQ_v$ , para efeito de cálculo o volume do reservatório deve ser multiplicado pelo coeficiente  $K=2$ .

$$\text{Volume} = WQ_v \times K = WQ_v \times 2 = 9.909\text{m}^3 \times 2 = 19.818\text{m}^3$$

Portanto, o custo total do reservatório de retenção será:

$$C_{\text{total}} = \text{US\$ } 50,00/\text{m}^3 \times 19.818\text{m}^3 = \text{US\$ } 990.900$$

Como consideramos a vida da obra de 20anos teremos

$$\text{Custo anual} = \text{US\$ } 990.900 / 20\text{anos} = \text{US\$ } 49.545$$

### Exemplo 54.4

Dado um reservatório de retenção com vida de 20anos e custo anual de US\$ 49.545/ano calcular o custo em redução de TSS, sendo que anualmente o reservatório de retenção detém  $281.624\text{kg}/\text{ano}$ .

$$\text{US\$ } 49.545 / 281.624\text{kg} = \text{US\$ } 0,18/\text{kg de TSS}$$

## 54.14 Software

Fizemos uma planilha em Excel onde podemos facilmente calcular o custo de remoção do TSS por  $\text{m}^3$  e comparar os custos.

## 54.15 Exemplo modelo

Vamos apresentar um exemplo para o cálculo de custo de remoção de TSS por metro cúbico de duas alternativas: reservatório de retenção de reservatório de retenção estendido.

A área da bacia tem 74ha, sendo 20ha de área comercial, 10ha de área residencial de alta densidade área industrial de 10ha, área de estacionamento e pátios de 3ha, aberta de parques e jardins de 28ha e área de ruas urbanas de 3,00ha.

**Tabela 54.7- Áreas para cada tipo de uso do solo**

Uso do solo	Área (ha)
Área aberta	28,00
Área residencial com alta densidade	10,00
Comercial	20,00
Industrial	10,00
Estacionamento e pátios	3,00
Ruas urbanas	3,00
Total=	74,00 ha

*First flush* adotado P=25mm

**Tabela 54.8- Carga anual de TSS, TP e TN**

Uso do solo	Área (ha)	Área impermeável %	Runoff (mm)	Runoff anual (m <sup>3</sup> )	TSS anual (kg)	TP Anual (kg)	TN Anual (kg)
Área aberta	28,00	9	176,9	42.090	20.414	130	311
Área residencial com alta densidade	10,00	60	796,5	67.703	67.703	271	1.489
Comercial	20,00	85	1100,3	187.043	140.282	374	3.741
Industrial	10,00	90	1161,0	98.685	118.422	395	2.467
Estacionamento e pátios	3,00	90	1161,0	29.606	44.408	148	888
Ruas urbanas	3,00	90	1161,0	29.606	42.040	95	888
Total=	<b>74,00ha</b>			<b>454.731</b>	<b>433.268</b>	<b>1.413</b>	<b>9.785</b>

Área impermeável AI= 52,86% WQv= 9.907m<sup>3</sup>

**Tabela 54-9-Cálculo de custo para reservatório de retenção**

BMP	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 US\$/m <sup>3</sup>	Custo por ano US\$/ano Obra+O&M
28,00	65%	52%	30%	13.269	68	93				50	49852
10,00	65%	52%	30%	44.007	141	447					
20,00	65%	52%	30%	91.183	195	1.122					
10,00	65%	52%	30%	76.974	205	740					
3,00	65%	52%	30%	28.865	77	266					
3,00	65%	52%	30%	27.326	49	266					
				<b>281.624</b>	<b>735</b>	<b>2.936</b>	<b>0,18</b>	<b>67,85</b>	<b>16,98</b>		

Fazendo o mesmo procedimento para o reservatório de detenção estendido obtemos o resumo:

**Tabela 54.10- Resumo de avaliação das duas alternativas em US\$ por quilograma por ano**

Alternativas viáveis	TSS	TP	TN
Reservatório de retenção	US\$ 0,18/kgxano	US\$ 67,85/kgxano	US\$ 16,98/kgxano
Reservatório de detenção estendido	US\$ 0,09/kgxano	US\$ 57,22/kgxano	US\$ 6,88/kgxano

Verificando-se a Tabela (54.10) facilmente podemos concluir que o reservatório de detenção estendido possui o menor custo de redução de TSS que é US\$ 0,09/kg x ano bem menor que os US\$ 0,18/kg x ano do reservatório de retenção.

Esclarecemos que podemos facilmente comparar os custos, mas não temos custos em US\$/m<sup>3</sup> de redução de TSS que sejam ideais para serem seguidos.

A escolha da BMP dependerá do julgamento do profissional que fez o projeto, levando-se em conta o custo de redução, a matriz das reduções, a segurança, estética, aceitação pública e outras considerações específicas que poderá existir.

#### **54.16 Custos por kg de remoção de TSS**

Estudos feitos no Texas conforme Figura (54.2) mostram a variação do custo de TSS removido por Pound (1b=0,45kg) em função da área da bacia em acres (1acre=0,4ha) para bacia de infiltração, reservatório de detenção estendido, filtro de área e reservatório de retenção para construção de barragem em terra e em concreto armado.

Nos custos estão inclusos a amortização mensal em 20anos e a manutenção anual.



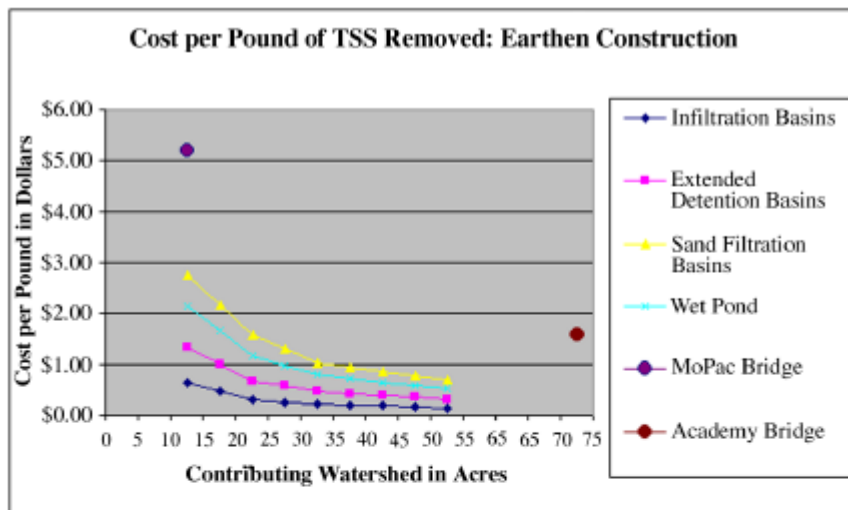


Figure 2. Earthen construction

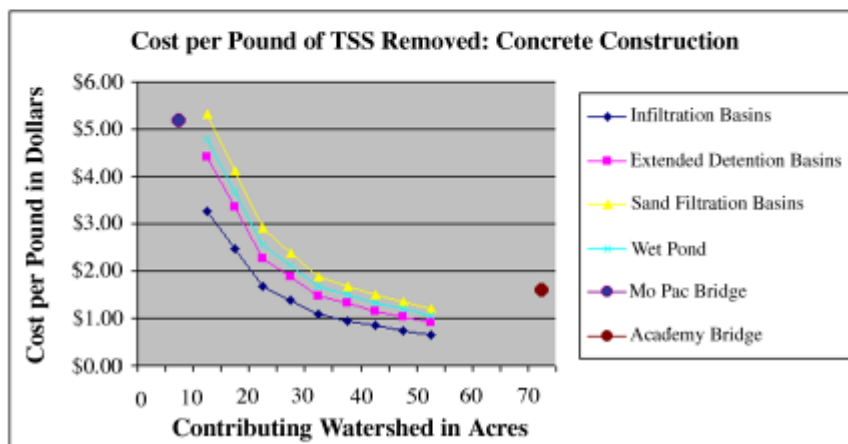


Figure 3. Concrete construction

**Figura 54.2** Custo por lb de remoção de TSS em função da área da bacia em acres conforme *Texas Transportation Institute*.

**Exemplo 54.5**

Para construção de barragem de terra estimar para um reservatório de detenção estendido com 40acres, o custo em US\$/Pound e US\$/kg de remoção de TSS.

Conforme Figura (54.2) entrando com área da bacia de 40acres e reservatório de detenção estendido achamos  $US\$0,4/\text{pound} = US\$ 0,89/\text{kg}$ . Caso queiramos para barragem de concreto obtemos  $US\$ 1,1/\text{Pound} = US\$ 2,44/\text{kg}$  de remoção de TSS.

### 54.17 BMP em série

A equação a ser usada em BMP em série conforme Nashville, 2006 é:

$$TR = A + (1 - A) \times B$$

Sendo:

TR= eficiência total de remoção em fração após passar pela primeira e segunda BMP.

A= eficiência da primeira BMP a receber as águas pluviais em fração

B= eficiência da segunda BMP

### Exemplo 54.5

Calcular a BMP total sendo que a primeira BMP tem redução de 50% (pré-tratamento) e a segunda tem redução de 60%.

$$TR = A + (1 - A) \times B$$

$$TR = 0,5 + (1 - 0,5) \times 0,6 = 0,8$$

Portanto, a eficiência total das duas BMPs é 80%.

### 54.18-Remoção de sedimentos em bacias de retenção estendida conforme Akan

A bacia de retenção estendida é aquela projetada para deter vazões de pico de enchentes e para melhorar a qualidade das águas pluviais. O reservatório se enche e depois esvazia num tempo determinado pelo projetista ficando depois vazio.

Através das velocidades de sedimentação das partículas nas águas pluviais e considerando a forma geométrica da bacia de retenção estendida obter as frações removidas e a somatória de todas as frações resultará na remoção da BMP considerada.

A remoção dos sedimentos depende do diâmetro das partículas. Conforme Tomaz, 2008 no livro Remoção de Sedimentos em BMP temos:

### Exemplo 54.6

Determinar a eficiência da remoção de sólidos em suspensão TSS de um reservatório de **retenção estendida** com profundidade de 1,50m e o tempo de esvaziamento é de 24,0h.

Em resumo teremos uma **eficiência 75%** conforme Tabela (54.9).

**Tabela 54.9- Cálculo do reservatório de retenção estendido**

Fração	Vs (m/h)	Profundidade (m)	Tempo de retenção (h)	Tempo de esvaziamento (h)	Fração removida
1	0,009	1,50	166,7	24	0,14
2	0,09	1,50	16,67	24	0,90
3	0,45	1,50	3,3	24	0,90
4	2,1	1,50	0,7	24	0,90
5	19,5	1,50	0,08	24	0,90
				Média=	0,75
				Eficiência na remoção=	75%

Tempo de retenção (h)= 1,50m/ 0,009m/h= 166,7h

Tempo de retenção (h)= 1,50m/ 0,09m/h= 16,7h

Tempo de retenção (h)= 1,50m/ 0,45m/h= 3,3h

Tempo de retenção (h)= 1,50m/ 2,1m/h= 0,7h

Tempo de retenção (h)= 1,50m/ 19,5m/h= 0,08h

Fração removida= 24/ 166,7h= 0,14

Fração removida= 24/ 16,7h= 1,44 > 1 fração =0,90

Fração removida= 24/ 3,3h= 7,3 > 1 fração =0,90

Fração removida= 24/ 0,7h= 34,3 > 1 fração =0,90

Fração removida= 24/ 0,08h= 300 > 1 fração =0,90

### 54.19 Remoção de sedimentos em bacias de retenção estendida conforme Papa, 1999.

A bacia de retenção 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 retenção de modo geral está entre 24h a 48h. e o período de retorno usado varia de 10anos a 25anos.

#### Eficiência da remoção

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

$$\eta = 1 - \left[ \frac{1 + V_s}{n \times Q/A} \right]^{-n}$$

Sendo:

$\eta$  = 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 retenção (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 retenção 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:

$$\eta = 1 - \left[ \frac{1 + V_s}{n \times Q/A} \right]^{-n}$$

$$\eta = 1 - \left[ \frac{1 + V_s}{n \times h_A / t_s} \right]^{-n}$$

$$\eta = 1 - \left[ \frac{1 + (V_s \times t_d)}{2n \times h_A} \right]^{-n}$$

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  $F_i$ .

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

Sendo:

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

**Exemplo 54.7**

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<sup>3</sup>, diâmetro da tubulação de saída adotado de D=0,30m. Profundidade de 1,40m e área as superfície de 10.571m<sup>2</sup>.

Tempo de esvaziamento

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

Cd=0,62

y<sub>1</sub>=1,40m

A<sub>o</sub>= π x D<sup>2</sup>/4= 3,1416/ 0,302/4=0,070686m<sup>2</sup>

A<sub>s</sub>=10571m<sup>2</sup>

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

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

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

Para a primeira linha Fi=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 54.10- Resumo dos cálculos baseado em dados de Ontário**

Fração	(%) de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação	tempo de esvaziamento t <sub>d</sub>	n	Profundidade reservatório h <sub>A</sub>	Eficiência por fração
(mm)	(%)	(m/h)	(h)		(m)	TSS
≤ 20mm	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≤ 0,13	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 54.8**

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  $14.800\text{m}^3$ , diâmetro da tubulação de saída adotado de  $D=0,30\text{m}$ . Profundidade de  $1,40\text{m}$  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 54.11- Resumo dos cálculos baseado em dados de USA, 1986**

Fração	(%) de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação	tempo de esvaziamento td	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
					<b>Eficiência=</b>	<b>71,85</b>

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

**Comentários:**

A eficiência de um reservatório de detenção estendido depende da altura do mesmo, das frações e diâmetros das partículas do solo, do tempo de esvaziamento.

No tempo de esvaziamento devemos ter cuidado em dimensionar o orifício, pois a eficiência dependerá do tempo em que toda a água se escoará pelo mesmo.

Podemos, portanto, estimar a eficiência da BMP e não esquecer que geralmente temos um pré-tratamento que também tem sua eficiência e que de modo geral é menor que 50%.

**Exemplo 54.9 (modelo)**

Seja uma bacia com área A=74ha com AI=53% sendo o *first flush* P=25mm. Vamos calcular a eficiência no pré-tratamento e no tratamento e a eficiência global de um reservatório de detenção estendida.

**Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais**

$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 53 = 0,53$

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

$WQ_v = (25/1000) \times 0,53 \times 74ha \times 10.000m^2 = 9805m^3$

**Eficiência para o pré-tratamento e tratamento**

Para o pré-tratamento é usada a equação abaixo com sendo vazão de entrada Qo e área da superfície As do pré-tratamento.

$Ed = \sum Fi \{ 1 - [(1 + V_{si} / (n \cdot Q_o / A_s))]^{-n} \}$

A equação abaixo é usada no tratamento sendo usando o tempo de esvaziamento td e a altura média do reservatório.

$Ed = \sum Fi \{ 1 - [(1 + (V_{si} \cdot t_d) / (2 \cdot n \cdot h_A))]^{-n} \}$

Sendo:

Fi= as frações da porcentagem das partículas (0,20; 0,10; 0,10;0,20;0,20;0,20). É importante observar que na equação abaixo já está multiplicada pela fração Fi.

Vsi=velocidade de sedimentação para a fração i (m/h) ou (m<sup>3</sup>/s) para o pré-tratamento.

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

Qo=vazão de **entrada ou de saída** (m<sup>3</sup>/s).

td= tempo de esvaziamento (h)

hA = profundidade (m)

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

Ed= redução total em fração.

**Eficiência no pré-tratamento**

Para o pré-tratamento é usada a equação com Qo sendo vazão de entrada e As área da superfície do pré-tratamento.

$Ed = \sum Fi \{ 1 - [(1 + V_{si} / (n \cdot Q_o / A_s))]^{-n} \}$

**Tabela 54.12- Cálculos preliminares para o pré-tratamento**

Dados do reservatório:	PRE-TRATAMENTO
WQv=	9.805
0,1WQv=	980,5
Velocidade de sedimentação para partículas > 0,125mm Vs= (m)	<b>0,0139</b>
Velocidade de entrada no pré-tratamento Qo= 0,1WQv/ (5 x 60)= (m <sup>3</sup> /s)	<b>3,3</b>
As= Qo/Vs (m <sup>2</sup> )=	<b>235,13</b>
Área do reservatório (m <sup>2</sup> )=As	280,14
Altura da lâmina de água no reservatório=y <sub>1</sub> (m)=	3,5
Área superficial do reservatório=As(m <sup>2</sup> )=	280,14

Na Tabela (54.12) está o volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv= 9805m<sup>3</sup> calculado para a área de 74ha, Rv=0,53 e P=25mm (*first flush*).

O volume do pré-tratamento é 0,1 WQv, ou seja, 981m<sup>3</sup>.



Para o pré-tratamento queremos decantar partículas sólidas maiores que 0,125mm, ou seja, partículas que possuem a velocidade de sedimentação  $V_s=0,0139\text{m/s}$ .

A vazão  $Q_o$  que chega ao pré-tratamento pode ser calculada usando a regra dos 5 (cinco) minutos para encher o volume do pré-tratamento.

Assim  $Q_o = 0,1 \times WQ_v / (5\text{min} \times 60\text{s}) = 980,5\text{m}^3 / 300\text{s} = 3,3\text{m}^3/\text{s}$

A área da superfície do pré-tratamento é calculada:

$A_s = Q_o / V_s = 3,3 / 0,0139 = 235,13\text{m}^2$

Então a área mínima do pré-tratamento é  $235,13\text{m}^2$ .

Considerando o volume  $0,1WQ_v$  podemos estimar a altura da água no pré-tratamento:

$D = 0,1WQ_v / A_s = 980,5 / 235,13 = 4,17\text{m} \gg 3,5\text{m}$  que é o máximo admitido

Adotamos então  $D=3,5\text{m}$

$A_s = 0,1WQ_v / D = 980,5 / 3,5 = 280,14\text{m}^2$

Para a primeira linha da Tabela (54.13) consideramos  $n=3$  que é comumente usado.

$Ed = \sum F_i \{ 1 - [(1 + V_{si} / (n \cdot Q_o / A_s))^{-n}]$

O valor de  $V_{si}$  para a fração de 0,20 (20%) tem valor  $V_{si}=0,0000002539\text{m/s}$ .

Área de superfície achada foi  $A_s=280,14\text{m}^2$ .

O valor  $Q_o=3,3\text{m}^3/\text{s}$  é a vazão de entrada e também de saída, pois não devemos esquecer que o volume  $0,1WQ_v$  é enchido em 5min e daí a vazão que entra é igual a vazão que sai e portanto a vazão de entrada é  $Q_o$  e a de saída também é  $Q_o$ . Geralmente faz-se uma barragem com gabiões que são elementos porosos, mas sobre os mesmos teremos um vertedor na parte superior por onde passará a vazão  $Q_o$ .

$Ed = F_i \{ 1 - [(1 + V_{si} / (n \cdot Q_o / A_s))^{-n}]$

$Ed = 0,20 \{ 1 - [(1 + 0,0000002539 / (3 \times 3,3 / 280,14))^{-3}]$

$Ed = 0,000004352$

Para a segunda linha temos  $V_{si}=0,000013\text{m/s}$  e fração 0,10.

$Ed = F_i \{ 1 - [(1 + V_{si} / (n \cdot Q_o / A_s))^{-n}]$

$Ed = 0,10 \{ 1 - [(1 + 0,000013 / (3 \times 3,3 / 280,14))^{-3}]$

$Ed = 0,00011346$

E assim por diante.

A somatória dos  $\sum Ed_i$  será 0,0832 que é 8,32%.

**Tabela 54.13- Cálculos da eficiência para o pré-tratamento para  $n=3$**

Fração	Massa de partículas	V <sub>si</sub> velocidade de sedimentação		Área da superfície A <sub>s</sub>	Vazão Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Eficiência TSS por fração
(mm)	(%)	(m/h)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(fração)
≤ 20mm	20	0,000914	0,0000002539	280,14	3,3	0,000004352
20<x≤40	10	0,0468	0,0000130000	280,14	3,3	0,000111346
40<x≤ 60	10	0,0914	0,0000253889	280,14	3,3	0,000217304
60<x≤ 0,13	20	0,457	0,0001269444	280,14	3,3	0,002160499
0,13<x≤ 0,40	20	2,13	0,0005916667	280,14	3,3	0,009809354
0,40<x≤ 4,0	20	19,8	0,0055000000	280,14	3,3	0,070916997
Total=	100				Ed=	ΣEd <sub>i</sub> =0,0832
					Eficiência=	<b>8,32%</b>

Observar que a eficiência no pré-tratamento é baixa, isto é, 8,32%. Alguns estados americanos adotam para produtos manufaturados a eficiência do pré-tratamento

mínima de 50% que é difícil de ser atendida. De modo geral a eficiência no pré-tratamento não passa de 20%.

### Eficiência no tratamento

A equação abaixo é usada no tratamento sendo usando o tempo de esvaziamento  $t_d$  e a altura média do reservatório  $h_A$ .

$$E_d = \sum F_i \left\{ 1 - \left[ \frac{V_{si} \cdot t_d}{2 \cdot n \cdot h_A} \right] \right\}^{-n}$$

**Tabela 54.14- Cálculos preliminares para o tratamento**

	TRATAMENTO
P=25mm WQv=	<b>9.805</b>
Área do reservatório (m <sup>2</sup> )=As	6.537m <sup>2</sup>
Diâmetro de saída =	0,29m
Altura da lâmina de água no reservatório=y1(m)=	1,5m
Área superficial do reservatório=As(m <sup>2</sup> )=	6.537m <sup>2</sup>
Área da seção transversal do tubo de saída=Ao(m <sup>2</sup> )=	0,06605214 m <sup>2</sup>
Cd=	0,62
t(s)=	88.268s
Tempo de esvaziamento total do reservatório td=t(h)=	<b>24,5h</b>

$$A_s = WQ_v / h$$

H=altura=1,5m adotado

$$WQ_v = 9805 \text{ m}^3$$

$$A_s = 9.805 / 1,5 = 6.537 \text{ m}^2$$

### Tempo de esvaziamento

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

$$C_d = 0,62$$

$$y_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$y_2 = 0$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

D=0,29m (adotamos este diâmetro que não é comercial somente para termos  $t_d$  em torno de 24h.

$$A_o = \pi \times D^2 / 4 = 3,1416 \times 0,29^2 / 4 = 0,06605214 \text{ m}^2 \quad \text{Área da seção transversal do tubo}$$

$$A_s = 6.537 \text{ m}^2$$

$$D = 0,29 \text{ m}$$

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

$$t = \left[ \frac{2 \times 6537 \times 1,5^{0,5}}{0,62 \times 0,06605214 \times (2 \times 9,81)^{0,5}} \right] = 88268 \text{ s} = \mathbf{24,5 \text{ h} > 24 \text{ h OK.}}$$

**Tabela 54.15- Cálculos da eficiência para o tratamento**

Fração	Massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação	Tempo de esvaziamento td	n	h <sub>A</sub>	Eficiência TSS por fração
(mm)	(%)	(m/h)	(h)		(m)	
≤ 20mm	20	0,000914	24,5	3	1,5	0,0015
20<x≤40	10	0,0468	24,5	3	1,5	0,0302
40<x≤ 60	10	0,0914	24,5	3	1,5	0,0487
60<x≤ 0,13	20	0,457	24,5	3	1,5	0,1823
0,13<x≤ 0,40	20	2,13	24,5	3	1,5	0,1994
0,40<x≤ 4,0	20	19,8	24,5	3	1,5	0,2000
Total=	100				Ed=	0,6621
					Eficiência=	<b>66,21%</b>

$$Ed = \sum Fi \{ 1 - [(1 + (Vsi \cdot td) / (2 \cdot n \cdot h_A))]^{-n} \}$$

Para a primeira linha da Tabela (54.14) temos:

V<sub>si</sub>=0,000914 m/h

td=24,5h

n=3

h<sub>A</sub>=1,50m

F<sub>i</sub>=0,20

$$Ed = Fi \{ 1 - [(1 + (Vsi \cdot td) / (2 \cdot n \cdot h_A))]^{-n} \}$$

$$Ed = 0,20 \{ 1 - [(1 + (0,000914 \times 24,5) / (2 \times 3 \times 1,50))]^{-3} \}$$

$$Ed = 0,0015$$

A somatória dos Ed=0,6621 que é 66,21%

### Eficiência global.

A eficiência em série das duas BMPs será:

$$TR = A + (1 - A) \times B$$

Sendo:

TR= eficiência global

A= eficiência do reservatório de pré-tratamento para todas as partículas= 0,2103

B= eficiência do reservatório de detenção estendido= 0,6621%

$$TR = 0,0832 + (1 - 0,0832) \times 0,6621 = 0,6902$$

**Portanto, a eficiência global será de 69%**

Observemos ainda que adotamos geralmente para reservatório de detenção estendida a eficiência de 55% conforme Tabela (54.5) que é menor que os 69% por nós achado.

Uma outra observação é variando a profundidade, área de superfície e tempo de esvaziamento do reservatório podemos aumentar a eficiência.

**Exemplo 54.10**

Seja uma bacia com área A=74ha com AI=53% e As= 6.537m<sup>2</sup> e reservatório com detenção estendido aliado a ao controle de enchentes para Tr=25anos.

Conforme capítulo 10 deste livro, o dimensionamento do volume para deter enchentes para período de retorno de 25anos pode ser calculado pela seguinte equação:

$$V = 5,48 \times AI \times A$$

$$qs = 28 \text{ L/s} \times \text{ha}$$

Sendo

V= volume de reservação (m<sup>3</sup>)

AI= área impermeável (%)

A= área da bacia (ha)

qs= vazão de pré-desenvolvimento (L/sxha)

$$V = 5,48 \times AI \times A$$

$$V = 5,48 \times 53 \times 74 = 21.493 \text{ m}^3$$

$$qs = 28 \text{ L/s} \times \text{ha}$$

$$Qs = 28 \times 74 = 2.072 \text{ L/s} = 2,072 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão máxima de saída será Qout = Qs = 2,072m<sup>3</sup>/s

$$Td = Smax / Qout$$

Sendo:

Td= tempo de residência (h)

Smax= volume do reservatório de detenção seca (m<sup>3</sup>)

Qout= vazão de saída (m<sup>3</sup>/s) para situação do pré-desenvolvimento

$$Td = Smax / Qout$$

$$Td = 21.493 \text{ m}^3 / 2,072 \text{ m}^3/\text{s} = 7.232 \text{ s} = 2,009 \text{ h}$$

Observe que o tempo de esvaziamento para o volume de enchente de 21.493m<sup>3</sup> é de 2,009h bem menor que o tempo de esvaziamento do volume WQv de 9.805m<sup>3</sup> que é de 24h.

**Eficiência no tratamento**

$$Ed = \sum Fi \{ 1 - [(1 + Vsi / (n \cdot Qo / As))]^{-n} \}$$

**Tabela 54.16- Cálculos de eficiência de remoção de TSS no reservatório de detenção estendido considerando a detenção de enchentes em 2,009h para a vazão de saída Qs=2,073m<sup>3</sup>/s e n=3.**

Fração (mm)	(% de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação		Área (m <sup>2</sup> ) As	Qo (m <sup>3</sup> /s) (m)	Eficiência por fração
		(m/h)	(m/s)			
≤ 20mm	20	0,000914	0,0000002539	6537,00	2,0090	0,0002
20<x≤40	10	0,0468	0,0000130000	6537,00	2,0090	0,0041
40<x≤ 60	10	0,0914	0,0000253889	6537,00	2,0090	0,0078
60<x≤ 0,13	20	0,457	0,0001269444	6537,00	2,0090	0,0642
0,13<x≤ 0,40	20	2,13	0,0005916667	6537,00	2,0090	0,1548
0,40<x≤ 4,0	20	19,8	0,0055000000	6537,00	2,0090	0,1994
Total=	100				Ed=	0,4305
					Eficiência=	<b>43,05%</b>

Será detido 43,05% de TSS somente na parte do reservatório referente a detenção de enchentes.

Considerando o exemplo anterior em que o pré-tratamento e o tratamento do WQv chegamos a conclusão de retenção de 69,02%.

Vamos supor que temos um sistema em série, sendo a primeira de remoção de **69,02%** e a segunda de **43,05%** calculado acima.

#### **Eficiência global.**

A eficiência em série das duas BMPs será:

$$TR = A + (1 - A) \times B$$

Sendo:

TR= eficiência global

A= eficiência do reservatório de pré-tratamento + tratamento= 0,6902

B= eficiência do reservatório de detenção estendido para enchentes= 0,4305%

$$TR = 0,6902 + (1 - 0,6902) \times 0,4305 = 0,82$$

**Portanto, a eficiência global será de 82%**

#### 54.20 Bibliografia e livros consultados

- AKAN A. OSMAN. *Urban stormwater hydrology*. 1993, 268páginas
- BARRET, MICHAEL. *BMP effectiveness and applicability training program*. 23 de junho de 2004, Universidade do Texas.
- HAAN, C.T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, 1994, 588páginas, ISBN 13:978-0-12-312340-4
- PAPA, FABIAN et al. *Detention time selection for stormwater quality control ponds*. 31/july/1999. Can. J. Civ. Eng. 26:72-82 (1999).
- TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE. *Cost to performance analysis of selected stormwater quality best management. Harlow C. Landphair, 2001. Paper Landphair2001*
- TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE. *Estimating pollutant loads for stormwater quality*. Project Summart Report 1837-S
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição difusa*. Editora Navegar, 2006.
- 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 n as 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 EPA/600/R-04/121 setembro 2004.