

Capítulo 06- Estimativa da carga de poluente pelo Método Simples de Schueler

6.1 Introdução

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).

O Método Simples de Schueler, 1987 é amplamente aceito e requer poucos dados de entrada e é utilizado no Estado do Texas e no *Lower Colorado River Authority*, 1998

AKAN, (1993) salienta que os estudos valem para **áreas menores que 256ha** e que são usadas cargas anuais. 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_j= fração da chuva que produz *runoff*. P_j =0,9 (normalmente adotado)

R_v= *runoff* volumétrico obtido por análise de regressão linear.

R_v= 0,05 + 0,009 x AI (R²=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)

Valor de P_j

O valor de P_j usualmente é 0,90 para precipitação média anual, mas pode atingir valor P_j=0,5 e para eventos de uma simples precipitação P_j =1,0.

Valores de C

Conforme as pesquisas feitas por Schueler, (1987) e citadas por AKAN, (1993) e McCUEN, (1998) os valores médios da carga de poluição C em mg/L é fornecida pelas Tabelas (6.1) a (6.11)

Tabela 6.1- Média dos Estados Unidos para concentrações médias nas águas pluviais

Constituintes	Unidades	Runoff urbano
TSS	mg/L	54,5 (1)
TP	mg/L	0,26 (1)
TN	mg/L	2,00 (1)
Cu	µg/L	11,1 (1)
Pb	µg/L	50,7 (1)
Zn	µg/L	129 (1)
S. Coli	1000 colonias/mL	1,5 (2)
(1) Dados do NURP/USGS, 1998		
(2) Schueler, 1999		

Fonte: New York Stormwater Management Design Manual

Tabela 6.2- Concentrações de poluentes em diversas áreas

Constituintes	TSS (1)	TP (2)	TN (3)	S. Coli (1)	Cu (1)	Pb (1)	Zn (1)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(1000 col/ml)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
Telhado residencial	19	0,11	1,5	0,26	20	21	312
Telhado comercial	9	0,14	2,1	1,1	7	17	256
Telhado industrial	17	-	-	5,8	62	43	1.390
Estacionamento residencial ou comercial	27	0,15	1,9	1,8	51	28	139
Estacionamento industrial	228	-	-	2,7	34	85	224
Ruas residenciais	172	0,55	1,4	37	25	51	173
Ruas comerciais	468	-	-	12	73	170	450
Estradas rurais	51	-	22	-	22	80	80
Ruas urbanas	142	0,32	3,0	-	54	400	329
Gramados	602	2,1	9,1	24	17	17	50
Paisagismo	37	-	-	94	94	29	263
Passeio onde passam carros e pessoas (entrada de carros nas garagens)	173	0,56	2,1	17	17	-	107
Posto de gasolina	31	-	-	-	88	80	290
Oficina de reparos de carros	335	-	-	-	103	182	520
Indústria pesada	124	-	-	-	148	290	1.600

(1) Clayton e Schueler, 1996 (2) Média de Steuer et al, 1997, Bannerman, 1993 e Waschbushch,2000
 (3) Steuer et al, 1997

Fonte: New York Stormwater Management Design Manual

Tabela 6.3 - Valores de “C” usados pelo Método Simples de Schueler, 1987 em mg/L.

Poluente	NURP	Baltimore	Washington DC	NURP National Study	Virginia	FHWA
	Área suburbana	Áreas velhas	Área comercial	média	Florestas	Rodovias americanas
Fósforo total	0,26	1,08		0,46	0,15	
Nitrogênio Total	2,00	13,6	2,17	3,31	0,78	
COD	35,6	163,0		90,8	>40,0	124,0
BOD ₅ dias	5,1		36,0	11,9		
Zinco	0,037	0,397	0,250	0,176		0,380

Fonte: AKAN, (1993) e McCUEN, (1998).

Na Tabela (6.4) estão os valores de concentração média adotado na Malásia.

Tabela 6.4- Valores médios de concentração adotados na MALÁSIA em mg/L

Poluente	Vegetação nativa/ floresta	Área rural	Área industria I	Área urbana	Área em construção
<i>Sedimentos</i>	85	500	50 - 200	50- 200	4000
Sólidos totais em suspensão (TSS)	6	30	60	85	
Nitrogênio total (NT)	0,2	0,8	1,0	1,2	
Fósforo total (PT)	0,03	0,09	0,12	0,13	
Amônia	0,01- 0,03	0,01-0,26		0,01-9,8	
Coliformes fecais	260-4000	700 - 3000		4000-20000	
Cobre				0,03 – 0,09	
Chumbo				0,2 – 0,5	

Fonte: MALÁSIA, (2000)

Na Tabela (6.5) temos valores médios de poluentes fornecidos por Tucci, (2001).

Tabela 6.5- Valores médios de parâmetros de qualidade de águas pluviais em mg/L para algumas cidades.

Poluente	Durham Colson, 1974	Cincinatti Weibel et al., 1964	Tulsa AVCO, 1970	Porto Alegre	APWA APWA, 1969	
					mínimo	máximo
DBO		19	111,8	31,8	1	700
Sólidos totais	1440		545	1523	450	14600
pH						
Coliformes NPM/100ml	23.000		8.000	1,5 x 10 ⁷	55	11,2 x 10 ⁷
Ferro	12			30,3		
Chumbo	0,46			0,19		
Amônia		0,4		1,0		

Fonte: TUCCI, (2001).

Conforme USEPA, 2004 os valores de concentrações médias estão na Tabela (6.6).

Tabela 6.6- Concentrações médias de nitrogênio, fósforo e bactérias (coliformes fecais) conforme o uso do solo

Uso do solo	Concentração média de nitrogênio (mg/L)	Concentração média de fósforo (mg/L)	Coliformes fecais Número de bactérias por 100 mL Schueler, 2000
Floresta	1,69	0,10	100
Área residencial de baixa densidade	1,88	0,40	20.000
Área residencial de densidade média	1,88	0,40	20.000
Área residencial de alta densidade	1,90	0,29	20.000
Áreas comerciais e industriais	1,90	0,23	20.000

Fonte: Schueler, 1987 e Thomson et al, 1997 in EPA/600/R-05/121A, 2004

Tabela 6.7- Concentração média de TSS

Uso do solo	Concentração média de TSS (mg/L)
Floresta	26
Área residencial de média e baixa densidade	117
Área residencial de alta densidade, áreas industriais e comerciais	116

Fonte: NURP (EPA, 1983) in EPA/600/R-05/121A, 2004

Tabela 6.8- Dados de afluentes de: TSS, TP de vários locais

Location	TSS (mg/L)	TP (mg/L)	DP (mg/L)
^a NURP Median EMCs	101	0.38	0.14
^b Greenville, NC	98	0.35	0.19
^c Madison, Wis	280	0.98	0.57
^d Roseville, MN	240	1.44	0.25
^e Somerset Co., NJ	282	0.36	0.00
^f Montgomery Co., MD	42	0.48	0.08
^g Washington, D.C	26	0.26	0.12
Mean of 6 Sites	161.33	0.65	0.20
S.D	119.50	0.47	0.20
^h Carver County, MN	84.62	0.184	0.097

- a = U.S EPA (1983)
 b = Stanley (1996)
 c = Kluesener and Lee (1974)
 d = Oberts and Osgood (1991)
 e = Ferrara and Witkowski (1983)
 f = Grizzard et al. (1986)
 g = Schueler (1987)
 h = This study (2004/2005)

Fonte: Water quality performance of dry detention ponds with under-drains. Final report 2006.

Conforme Anta et al, 2006 em pesquisas realizadas na Espanha em Santiago de Compostela em área urbana com área impermeável de 70%, 55ha, tc=25min, precipitação média anual de 1886mm, 141dias com chuva por ano em pesquisa de 14 chuvas achou-se os dados da Tabela (6.9) a 6.11).

Tabela 6.9- Características de poluentes em runoff de águas pluviais comparando dados de varias origens com os dados obtidos na Espanha em julho de 2006

Characteristics of the pollution in urban runoff. Ranges and mean values in parenthesis					
Pollutant	Present study	USEPA (1983)	Ellis (1989)	Metcalf and Eddy (1991)	Novotny and Olem (1994)
TSS (mg/ℓ)	50 – 590 (219)	(100)	21 – 2582 (190)	67 - 101	3 - 11000 (650)
COD (mg/ℓ)	26 – 180 (89)	(65)	20 – 365 (85)	40 -73	----
BOD ₅ (mg/ℓ)	22 – 95 (50)	(9)	7 – 22 (11)	8 – 10	10 – 250 (30)
Pb (µg/ℓ)	13 – 280 (58)	(0.14)	10 - 3100 (210)	27 - 330	30 - 3100 (300)
Zn (µg/ℓ)	136 – 432 (225)	(0.16)	10 – 3680 (300)	135 - 226	----
Cu (µg/ℓ)	35 – 159 (79)	(43)	----	----	----

Fonte: Anta et al, 2006

Na Tabela (6.9) podemos ver que os valores de TSS na Espanha variaram de 50mg/L a 590 mg/L sendo a média de 219mg/L.

Tabela 6.10- Classificação dos sedimentos em águas pluviais somente de TSS conforme varias origens

Classification of sediment from the sewer system according to the concentration, mean diameter and average relative density, ρ_r , (present study and Butler et al., 2003)					
Sediment type	Transport	Parameter	Sediment load		
			Low	Median	High
Stormwater	Suspension	Concentration (mg/ℓ)	50	350	1000
		d_{50} (μm)	20	60	100
		ρ_r	1.1	2.0	2.5
Grit	Bedload	Conc. (mg/ℓ)	10	50	200
		d_{50} (μm)	300	750	750
		ρ_r	2.3	2.6	2.6
Present study	---	EMC (mg/ℓ)	219		
		d_{50} (μm)	38		

Fonte: Anta et al, 2006

Na Tabela (6.10) observamos que conforme Butler et al, 2003 in Anta et al, 2006 para águas pluviais os valores de TSS variam de 50mg/L a 1000mg/L, sendo que o diâmetro das partículas d_{50} varia de 20μm a 100μm.

Tabela 6.11- Carga por hectare dos 14 eventos analisados em na cidade de Santiago de Compostela na Espanha

Mobilised load per net hectare in the stormwater events analysed								
Rain Event	TSS (kg/ net ha)	VSS (kg/ net ha)	TDS (kg/ net ha)	VDS (kg/ net ha)	TS (kg/ net ha)	COD (kg/ net ha)	BOD ₅ (kg/ net ha)	TOC (kg/ net ha)
01	0.69	---	1.38	---	2.07	---	---	0.04
02	7.67	---	4.22	---	11.89	3.19	---	0.35
03	1.96	---	1.28	---	3.24	---	---	0.13
04	5.13	---	1.08	---	6.21	---	---	0.06
05	8.58	---	1.90	---	10.49	---	---	0.15
06	0.78	---	1.09	---	1.86	---	---	0.06
07	1.35	---	0.58	---	1.93	---	---	0.04
08	0.70	---	0.97	---	1.68	---	---	0.04
09	1.85	0.39	2.66	0.92	4.50	0.94	---	---
10	1.24	0.39	0.92	0.32	2.16	0.66	0.23	---
11	2.92	1.05	1.72	0.49	4.64	1.89	0.99	---
12	3.19	0.78	2.54	0.78	5.60	1.47	---	---
13	3.54	0.85	1.60	0.60	5.14	1.46	0.56	---
14	4.22	0.93	4.07	0.68	8.29	1.06	0.39	---
Mean value	3.13	0.73	1.86	0.63	4.98	1.52	0.54	0.11
Standard deviation	2.53	0.28	1.14	0.21	3.29	0.84	0.32	0.11

Fonte: Anta et al, 2006

Conforme Tabela (6.11) a média de TSS achada na Espanha é de **3,13 kg/ha x ano** com desvio padrão de 2,453kg/ha x ano. Recordemos que na Austrália é usado para estimativa o valor de 1,6 kg/ha x ano.

Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul

Na dissertação de mestrado de Cintia Brum Siqueira Dotto, 2006 da Universidade Federal de Santa Maria sobre Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria, RS, foram apresentados vários dados que estão resumidos na Tabela (6.12).

Tabela 6.12-Dados fornecidos por Dotto, 2006

Fonte	Área urbana TSS (mg/L)
Matos et al, 1998	220mg/L
Gomes e Chaudhry, 1981 Universidade de São Carlos	171mg/L a 3499mg/L área urbanizada
	165 mg/L a 1891 mg/L área menos urbanizada
Branco et al, 1998 Universidade Santa Maria	20mg/L a 1200mg/L (mesma região)
Paiva et al, 2001 Universidade Santa Maria	Até 11000mg/L (mesma região)
Scapin, 2005	150mg/L a 1600mg/L
Paz et al, 2004 Universidade Santa Maria	700mg/L (área urbana) e 250mg/L (área rural)
Dotto, 2006 Universidade Santa Maria	8,0mg/L a 6000mg/L (grande variabilidade)
	Média de 537,05mg/L

Conclusão: pelas tabelas citadas acima podemos ver como é difícil de se estimar o valor de sólidos totais em suspensão TSS, pois o mesmo varia de 114mg/L até aproximadamente 4000mg/L dependendo se existe solo nu ou muitas obras em construção.

Exemplo 6.1 Akan,1993.

Trata-se de área com 12ha, chuva média anual de 965mm sendo $P_j = 0,90$. Área antes do desenvolvimento com 2% de área impermeável passou a 45% com a construção de uma vila de casas. Calcular o aumento anual de fósforo total.

Para a situação de *pré-desenvolvimento*:

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 2 = 0,07$$

Adotando $C=0,15\text{mg/L}$ para fósforo total em florestas, na Tabela (6.3) na coluna de Virginia.

A carga anual será calculada usando:

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

$$P=965\text{mm}$$

$$P_j = 0,9 \text{ adotado}$$

$$R_v=0,07$$

$$C=0,15\text{mg/L Fósforo total/ Floresta}$$

$$A=12\text{ha}$$

$$R_v=0,07$$

$$L=0,01 \times 965\text{mm} \times 0,9 \times 0,07 \times 0,15\text{mg/L} \times 12\text{ha}$$

$$L=1,09 \text{ kg/ano}$$

Para a situação de *pós-desenvolvimento*.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 45 = 0,46$$

$$P=965\text{mm}$$

$$P_j = 0,9 \text{ adotado}$$

$$R_v=0,07$$

$$C=0,26\text{mg/L Fósforo total/ área suburbana}$$

$$A=12\text{ha}$$

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

$$L=0,01 \times 965\text{mm} \times 0,9 \times 0,46 \times 0,26\text{mg/L} \times 12\text{ha}$$

$$L=12,46 \text{ kg/ano}$$

Portanto, com o desenvolvimento a quantidade total de fósforo aumentará de 1,09kg/ano para 12,46 kg/ano com a construção de um bairro residencial proposto.

Exemplo 6.2

Calcular o aumento de sedimentos de área urbana com 46,75ha, chuva anual média de 1540mm e $P_j = 0,50$. Supomos que no pré-desenvolvimento havia 2% de área impermeável e com o desenvolvimento passou para 70%.

Pré-desenvolvimento

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

$$P=1540\text{mm}$$

$$P_j = 0,5 \text{ adotado}$$

$$C=85\text{mg/L sedimentos/ Floresta/ Malásia}$$

$$A=46,75\text{ha}$$

$$R_v=0,05 + 0,009 \times 2 = 0,07$$

$$L=0,01 \times 1540\text{mm} \times 0,5 \times 0,07 \times 85\text{mg/L} \times 46,75\text{ha}$$

$$L=2.142 \text{ kg de sedimentos/ano}$$

Pós-desenvolvimento

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

$$P=1540\text{mm}$$

$$P_j = 0,5 \text{ adotado}$$

$$C=200\text{mg/L sedimentos / Urbana/ Malásia, Tabela (6.4)}$$

$$A=46,75\text{ha}$$

$$R_v=0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68$$

$$L=0,01 \times 1540\text{mm} \times 0,5 \times 0,68 \times 200\text{mg/L} \times 46,75\text{ha}$$

$$L=48.957\text{kg de TSS/ano}$$

Com o pós-desenvolvimento o sedimento aumentará de 2.142kg/ano para 48.957kg/ano.

6.2 Eficiência relativa

Conforme Tomaz, 2006 existe uma confusão sobre termos que tentaremos esclarecer da melhor maneira possível. Assim as definições de *performance* e eficiência são:

Performance: são as medidas que mostram como as metas das BMPs para águas pluviais são tratadas.

Eficiência: são as medidas que mostram como as BMPs ou os sistemas de BMPs removem ou controlam os poluentes.

Até o presente, a eficiência é tipicamente mostrada como uma “percentagem de remoção”, o que não é uma medida válida.

Schueler, 2000 in EPA e ASCE, 2002 concluíram que existem “*concentrações irreduzíveis*”, pois não existe nenhuma maneira de se reduzir mais quando se trata de usar as práticas de melhoria da qualidade para as águas pluviais. Assim os pesquisadores acharam limites de concentrações para as águas pluviais para TSS, fósforo total, nitrogênio total, nitrato, nitrito e TKN (Total Kjeldahn Nitrogênio), conforme mostra a Tabela (6.13).

Tabela 6.13 - Concentrações irreduzíveis conforme Schueler, 2000

Contaminante	Concentração irreduzível (mg/L)
Sólido total em suspensão (TSS)	20 a 40
Fósforo total (PT)	0,15 a 0,2
Nitrogênio total (NT)	1,9
Nitrato - Nitrogênio	0,7
TKN (Nitrogênio Kjeldahn Total)	1,2

Fonte: EPA e ASCE, 2002.

O termo “remoção” pode conduzir a erros, como pode ser visto no exemplo que está na Tabela (6.14).

Tabela 6.14 - Porcentagem de remoção da TSS aplicação de dois BMPs: A e B.

	BMP A	BMP B
Concentração do afluente	200mg/L	60mg/L
Concentração do efluente	100mg/L	30mg/L
Eficiência	50%	50%

Fonte: EPA e ASCE, 2002.

Pela Tabela (6.14) pode-se ver que a chamada redução não mede plenamente a eficiência de um sistema de BMP aplicado, pois o TSS tem uma concentração com a qual não há redução, conforme vimos na Tabela (6.13).

Podemos então, considerar a redução limite de 20mg/L para o TSS e usaremos a eficiência relativa que mostra melhor conforme Tabela (6.14).

$$\text{Eficiência relativa} = (C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}) / (C_{\text{afluente}} - C_{\text{limite}})$$

Sendo $C_{\text{limite}} = 20\text{mg/L}$ (exemplo).

Tabela 6.15 - Porcentagem de eficiência relativa da TSS aplicação de dois BMPs, um chamado A e outro B.

	BMP A	BMP B
Concentração do afluente	200mg/L	60mg/L
Concentração limite	20mg/L	20mg/L
Concentração do efluente	100mg/L	30mg/L
Eficiência relativa	56%	75%

Fonte: EPA e ASCE, 2002.

As medidas e práticas para melhorarem a qualidade das águas pluviais nos Estados Unidos receberam o nome de *Best Management Practices (BMP)* que praticamente foi imitado em todo o mundo.

6.3 Concentrações irreduzíveis

As concentrações irreduzíveis de efluentes das BMPs, são aquelas quantidades abaixo do qual é impossível de se reduzir mais, conforme Tabela (6.12).

Verificar a semelhança com a Tabela (6.16) dos poluentes irreduzíveis por sedimentação de Schueler.

Tabela 6.16 - 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.

6.4 Dados de Urbonas, outubro de 2005

<http://www.udfcd.org/conferences/pdf/conf2006/6-1%20Urbonas%20History%20of%20USDCM%20Volume%203%20Changes.pdf>

Os dados hachurados estão num intervalo de confiança de 95%.

Temos os TSS em mg/L da vazão afluente e da efluente para várias BMPs conforme Tabela SQ-6 do Urbonas.

Tabela 6.17- Afluente e efluente de contaminantes

**Table SQ-6—BMP Stormwater Quality Influent and Effluent Event Mean Concentrations
 Based on Analysis of 200 BMP Sites in United States and Canada**

Constituents	Point of Discharge	Extended Detention	Wet Pond	Wetland Basin	Biofilter	Media Filter
Suspended Solids (mg/l)	<i>Influent</i>	87.7 (48.4-159)	88.8 (48.9-156)	82.1 (65.7-103)	52.0 (22-123)	61.1 (45.4-82.4)
	<i>Effluent</i>	41.4 (30.8-55.5)	19.0 (12.9-28.0)	19.7 (16.6-23.4)	24.6 (15.0-40.3)	25.5 (14.7-44.3)
Total Copper (ug/l)	<i>Influent</i>	32.3 (22.7-46)	18.0 (7.4-43)	xx	21.8 (11.6-40.9)	15.3 (12.4-18.8)
	<i>Effluent</i>	18.9 (16.6-21.5)	6.92 (4.7-10.3)	xx	10.0 (5.6-17.9)	9.81 (8.1-11.8)
Dissolved Copper (ug/l)	<i>Influent</i>	12.1 (8-18.3)	8.87 (5.4-14.6)	xx	12.3 (6.5-23.4)	8.83 (6.7-11.6)
	<i>Effluent</i>	14.7 (10.4-20.9)	5.09 (3.1-8.3)	xx	7.66 (4.7-12.5)	7.95 (6.6-9.7)
Total Lead (ug/l)	<i>Influent</i>	69.2 (33.6-143)	33.3 (10.2-109)	12.6 (3.8-42)	19.6 (7.4-51.6)	15.6 (9.3-26.1)
	<i>Effluent</i>	15.0 (9.5-23.8)	6.68 (2.9-15.6)	3.25 (1.9-5.6)	6.95 (4.2-11.7)	5.5 (3.5-8.6)
Dissolved Lead (ug/l)	<i>Influent</i>	3.4 (2-5.8)	9.48 (0.9-101.4)	xx	2.5 (0.9-6.9)	2.18 (1.6-3.1)
	<i>Effluent</i>	2.33 (1.7-3.3)	4.16 (2.0-8.9)	xx	1.35 (0.5-3.6)	1.42 (1.0-1.9)
Total Zinc (ug/l)	<i>Influent</i>	274 (178-422)	75.3 (44-128.9)	164 (54.6-494)	129 (57.3-291)	122 (72.6-204)
	<i>Effluent</i>	85.3 (50.6-143.7)	28.6 (21.4-38.3)	119 (32.8-429)	39.4 (28.2-55.2)	65.0 (45.3-93.2)
Dissolved Zinc (ug/l)	<i>Influent</i>	xx	57.4 (20.1-163)	xx	67.4 (33.8-134)	71.7 (41.3-124)
	<i>Effluent</i>	xx	16.9 (2.6-109)	xx	32.0 (26.7-38.3)	57.1 (37.7-86.6)
Total Phosphorus (mg/l)	<i>Influent</i>	0.4 (0.3-0.5)	0.53 (0.3-0.9)	2.91 (1.9-4.6)	0.19 (0.1-0.4)	0.25 (0.2-0.4)
	<i>Effluent</i>	0.3 (0.2-0.44)	0.16 (0.12-0.21)	0.15 (0.07-0.33)	0.32 (0.24-0.43)	0.14 (0.11-0.17)
Total Nitrogen (mg/l)	<i>Influent</i>	xx	1.49 (0.6-3.6)	2.56 (1.6-4)	0.58 (0.3-1)	xx
	<i>Effluent</i>	xx	1.17 (0.77-1.78)	2.42 (1.46-4.0)	0.69 (0.37-1.29)	xx
TKN (mg/l)	<i>Influent</i>	1.99 (1.6-2.5)	1.06 (0.8-1.4)	1.23 (1-1.6)	2.27 (1.8-2.9)	2.2 (1.7-2.9)
	<i>Effluent</i>	1.87 (1.46-2.39)	0.84 (0.68-1.04)	1.33 (0.84-2.11)	1.6 (1.42-1.8)	1.79 (1.45-2.2)

Does not meet 95% confidence test for change in the mean between inflow and outflow

Meets 95% confidence test for change in mean concentration between inflow and outflow

Cautionary Note: This table presents statistics of site mean EMCs without weighting the sites for data density. Each site has equal weight in the analysis.

Some sites had very little data, but have same weight as sites with much data.

Legend: mm.m - Mean of all site mean EMCs

(ll.ll - uu.uu) = (Lower – Upper) values of the 95% confidence test of the mean.

Particle Size Grading	Management Issue					Treatment Process
	Visual	Sediment	Organics	Nutrients	Metals	
Gross Solids > 5000 μm	Litter	Gravel	Plant Debris			Screening
Coarse- to Medium- 5000 μm – 125 μm		Silt				Sedimentation
Fine Particulates 125 μm – 10 μm				Particulate	Particulate	Enhanced Sedimentation
Very Fine/Colloidal 10 μm – 0.45 μm	Turbidity		Natural & Anthropogenic Materials		Colloidal	Adhesion and Filtration
Dissolved Particles < 0.45 μm				Soluble		Biological Uptake

Figure 1 Stormwater management issues and matching pollutant characteristics with appropriate treatment processes¹

Particle Size Grading	Treatment Measures					Hydraulic Loading $Q_{des}/A_{facility}$
	Gross Pollutant Traps	Sedimentation Basins (Wet & Dry)	Grass Swales & Filter Strips	Surface Flow Wetlands	Infiltration Systems	
Gross Solids > 5000 μm	Gross Pollutant Traps	Sedimentation Basins (Wet & Dry)	Grass Swales & Filter Strips	Surface Flow Wetlands	Infiltration Systems	1,000,000 m ³ /yr
Coarse- to Medium-sized Particulates 5000 μm – 125 μm						100,000 m ³ /yr
Fine Particulates 125 μm – 10 μm						50,000 m ³ /yr
Very Fine/Colloidal Particulates 10 μm – 0.45 μm						5000 m ³ /yr
Dissolved Particles < 0.45 μm						2500 m ³ /yr
						1000 m ³ /yr
						500 m ³ /yr
						50 m ³ /yr
						10 m ³ /yr

Figure 2 Matching pollutant characteristics with appropriate treatment measures and operating hydraulic loading¹

6.5 California Departamento of Transportation

Os estudos da Caltrans, 2003 apresentaram as Tabelas (6.18) a (6.24).

Tabela 6.18- Carga de semi-voláteis orgânicos em rodovias
Loading factors for semi volatile organic compounds (SVOCs) in roadway runoff [81]

Compound class	Loading rates from roadways
Petroleum hydrocarbons	7800 (kg/km ²)/yr, 2.5E-5 (kg/vehicle)/km, 126 (kg/km ²)/cm rain
Oil and grease	485-700 (kg/km ²)/yr 9 - 16 (kg/km ²)/event 27 - 298 (kg/km ²)/cm rain
PAHs	^a 1.22 (kg/km ²)/yr ^b 16.9 (kg/km ²)/yr 5.8E-8 (kg/vehicle)/km 0.151 (kg/km ²)/cm rain

^a Low molecular weight PAHs

^b High molecular weight PAHs

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.19- Concentração de PAHs e carbônico orgânico em rodovias

Concentration (µg/g) of selected PAHs and organic carbon content as a function of particle size in roadway runoff [46]

Constituent	Particle size fraction, (µm ²)					
	<2	2 - 6.3	6.3 - 12.5	12.5 - 20	20 - 63	63 - 200
Fluorene	2 ± 1.1	47 ± 2.1	51 ± 2.5	60 ± 2.6	32 ± 1.5	74 ± 3.3
Anthracene	24 ± 1.2	61 ± 3.1	65 ± 3.3	72 ± 3.2	64 ± 3.3	147 ± 7.4
Phenanthrene	183 ± 7.7	733 ± 37.5	763 ± 37.7	766 ± 34.3	580 ± 23.2	1022 ± 52.1
Fluoranthene	350 ± 16	1622 ± 83	1554 ± 67.6	1155 ± 48.7	1078 ± 39.9	1958 ± 93.3
Indeno(cd)pyrene	86 ± 3.8	402 ± 22.2	271 ± 12.6	76 ± 3.2	127 ± 5.4	146 ± 6.8
Dibenz(ah)anthracene	20 ± 0.9	83 ± 3.8	66 ± 3.5	11 ± 3.9	34 ± 1.8	41 ± 2.1
Benzo(ghi)perylene	139 ± 6.9	710 ± 31.9	541 ± 27.8	217 ± 9.8	287 ± 12.3	281 ± 13.7
Organic carbon	14 ± 0.1	22 ± 0.3	25 ± 0.2	27 ± 0.3	19 ± 0.1	30 ± 0.2

^a Values are presented as mean ± standard deviation

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.20- Concentração de metais o poluentes orgânicos em rodovias

Heavy metals, and organic pollutants in roadway runoff			
Parameter	Roadway runoff	Urban runoff	Drinking water standard (MCL)^a , mg/L
Heavy metals (µg/L)			
<i>Cadmium</i>	0.17 -12	0.02 - 13,730	0.005
<i>Chromium</i>	1.5 -110	1 - 2,300	0.1
<i>Cobalt</i>	0.05 -13.7	1.3 - 5.4	
<i>Copper</i>	3-1,200	0.06 - 1,410	1.3
<i>Iron</i>	130-45,000	0.07 -440,000	0.3
<i>Lead</i>	3-2,100	0.053 -26,000	Zero
<i>Nickel</i>	1 - 57	0.06 - 1,410	
<i>Zinc</i> ²	10 - 1,200	7 - 4,600	5.0
<i>Mercury</i>	0.076 - 5.6	0.05 - 67	0.002
<i>Aluminum</i>	30 - 4,000	1 - 49,000	0.05-0.2
Organic chemicals			
Total PAH (mg/L)	1.86 - 18.2	2.4E-4 - 1.3E-2	0.0002 ^c
<i>Benzo(pyrene)</i>		2.5E-6 - 1E-2	zero
<i>Fluoranthene</i>		3E-5 - 5.6E-2	3.96
<i>Naphthalene</i>		3.6E-5 - 2.3E-3	0.62
<i>Phenanthrene</i>		4.5E-5 - 1E-2	
<i>Tetrachloroethylene</i>		0.0045 - 0.043	zero
<i>Heptachlorepoide</i>		<0.0002	zero
<i>Oil and grease</i>	<1 - 480	0.001 - 110	

^aMaximum contaminant levels for drinking water quality , as of the Federa

^bReferences are for roadway runoff

^cU.S. aquatic regulation (freshwater chronic)

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.21- Principais fontes de metais pesados em rodovias

Primary sources of heavy metals in roadway runoff [147].

Constituents	Sources
Aluminium	Natural, as well as anthropogenic sources such as aluminum works industries
Cadmium	Tire wear, brake pads, combustion of oils, insecticides are also other sources.
Chromium	Corrosion of welded metal plating, moving engine parts, brake lining wear
Cobalt	Wastes from tire and vehicle appliance manufacturing
Copper	Metal plating, bearing and bushing wear, moving engine parts, brake lining wear, fungicides and insecticides
Iron	Auto body rust, steel roadway structures, moving engine parts, corrosion of vehicular bodies
Lead	Leaded gasoline, tire wear
Nickel	Diesel fuel and gasoline, lubricating oil, metal plating, bushing wear, brake lining wear, asphalt paving
Zinc	Tire wear, motor oil, grease

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.22- Fase dissolvido e particulado de alguns metais em 13 chuvas em rodovias

Dissolved and particulate phase pollutant concentrations in 13 storm events [79].

Constituent	Concentration range, $\mu\text{g/L}^a$		Total ^b	Particulate % Total
	Dissolved phase	Particulate phase		
Cadmium	0.05 - 12 (1.3 ± 1.7)	0.1 - 7.2 (1.7 ± 1.4)	3.0	57
Copper	3.6 - 39.2 (16.1 ± 59)	13.1 - 145 (47 ± 24)	63	75
Lead (total)	8 - 46.5 (16 ± 69)	39 - 482 (165 ± 101)	181	92

^aNumbers in bold are mean ± Standard Deviation

^bMean

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.23- Fase dissolvido e particulado de alguns metais em runoff em rodovias

Dissolved and Particulate Metal Concentrations in Runoff [82]

Metal	Dissolved fraction, mg/L	Particulate fraction, mg/L	Percent in particulate fraction
Zinc	0.21 - 3.8	0.17 - 0.64	11 - 46
Cadmium	0.002 - 0.2	0.002 - 0.004	18 - 60
Copper	0.013 - 0.1	0.03 - 0.1	3 - 69
Nickel	0.005 - 0.07	0.02 - 7.4	44 - 95
Lead	0.005 - 0.024	0.05 - 0.09	26 - 97
Chromium	0.006 - 0.03	0.03 - 0.008	29 - 74
Iron	0.043 - 0.59	0.78 - 6.12	85 - 98
Aluminium	0.006 - 0.432	0.004 - 1.8	40 - 90

Fonte: Caltrans, 2003

Tabela 6.24- Porcentagem da distribuição de metais de acordo com o diâmetro da partícula em rodovias. Observando que os metais se depositam em partículas menores que 150µm.

Percentage distribution of metals as a function of particle size fractions in roadway runoff [52]

Metal	Particle Size, µm										
	4,750- 9,500	2,000- 4,750	850- 2,000	425- 850	250- 425	150- 250	75- 150	63-75	45-63	38-45	25-38
Zinc	0.2-1	1-2	1-4	3-5	3-5	6-9	13-16	14-18	14-16	14-19	17-19
Lead	0.2-1	1-14	1-5	2-5	3-6	6-13	14-20	14-19	14-19	13-16	13-20
Cadmium	1-17	9-11	6-9	5-9	5-6	5-7	9-11	10-12	10-13	10-13	9-12
Copper	0.2-1	0.5-1	0.5-3	1-23	2-9	4-13	11-15	11-17	11-19	12-19	15-24

Fonte: Caltrans, 2003

6.5 Bibliografia e livros consultados

- AKAN, A OSMAN. *Urban Stormwater Hydrology*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 1993, ISBN 0-87762-967-6, 268 p.
- ANTA, JOSE et al. *A BMP selection process based on the granulometry of runoff solids in a separate urban catchment*. Julho de 2006 www.wrc.org.za.
- CALTRANS (CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION). *A review of the contaminants and toxicity associated with particles in stormwater runoff*. August, 2003, 172 páginas.
- DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE MINNESOTA. *Water quality performance of dry detention ponds with under-drains*. Final report 2006.
- DOTTO, CINTIA BRUN SIQUEIRA. *Acumulação de balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria-RS*, Dissertação de Mestrado, 2006.
<http://www.udfed.org/conferences/pdf/conf2006/6-1%20Urbanas%20History%20of%20USDCM%20Volume%203%20Changes.pdf>
- NEVES, MARLLUS GUSTAVO FERREIRA E MERTEN, GUSTAVO HENRIQUE. *Deposição de sedimentos na bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil em Porto Alegre- RS*, 2005.
- URBONAS, outubro de 2005
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins of control of urban runoff quality*. EPA 440/5-87-001, september 1986.
- USEPA. *Sewer Sediment and Control- a management practices reference guide*. EPA/600/R/R-04/059. Autor: Chi- Yuan Fan, janeiro de 2004.
- USEPA. *Stormwater best management practices- Design guide. Volume 2. Vegetativa Biofilters*. EPA/600/R04/121A. Autor: Michael L; Clar, september 2004.