

Capítulo 103-Remoção de sedimentos em bacias de detenção estendido conforme Vetter e Creams

103.1 Introdução

Há uma grande dificuldade de se calcular com precisão a remoção de sedimentos em uma bacia de detenção que poderá ser para **uma tormenta** ou **a longo prazo** como é o caso da EPA, 1986. Vamos fazer o mais simples que é achar a deposição de sedimentos em uma tormenta que é o mais usado, sem usar softwares sofisticados. Lembremos ainda que necessitamos de pesquisas a serem feitas no Brasil.

Vamos apresentar o método de Chen,1975 que utilizou a equação de Vetter,1940 conforme Haan, et al 1994.

Para facilitar o entendimento explicaremos o método de Chen, 1975 juntamente com um exemplo.

No Exemplo queremos em reservatório achar a eficiência de remoção de sedimentos sendo dados a textura do solo de entrada, a vazão de saída e a área da superfície do reservatório.

Usaremos as equações de CREAMS (*Chemicals runoff erosion in agricultural management systems*), ou seja, as equações de Foster,1985 para determinar o diâmetro das partículas, bem como as frações das mesmas.

Os diâmetros das partículas bem como as frações dependem da textura do solo, sendo necessário possuímos a textura do solo local.

Haan et al,1994 diz que o modelo a longo prazo da EPA, 1986 apesar de mais sofisticado não apresenta maior eficiência que o modelo que iremos apresentar.

19.1 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 (m³/s)

A_s = área da superfície do lago (m²)

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 103.

Baseado em Vetter, 1940 calcular a eficiência de remoção de sedimentos em um reservatório de detenção estendido com os dados da Tabela (103.):

Tabela 103.- Dados reservatorio de detenção estendido

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

Tabela 103.2-Cálculo da eficiencia de um reservatorio de detenção estendido conforme Vetter in Haan, 1994

Fração	Delta X	Particula media (mm)	$V_s=0,8887 \times D^2$	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=	0,85

A eficiencia na remoção de sedimentos foi de 85%.

Exemplo 103.2

Baseado em Vetter, 1940 calcular a eficiencia de remoção de sedimentos em um reservatório de detenção estendido com os dados da Tabela (103.):

Tabela 103.3- Dados reservatorio de detenção estendido

Area da bacia (ha)=	74
AI (%)=	54
Rv=	0,536
P(mm)=first flush=	25
WQv (m3)=	9916
Esv 24h	86400
Q ₂₄ (m3/s)=	0,115

Altura (m)=	1,4
As (m2)=	7083
Tubo saída 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 103.4-Cálculo da eficiência de um reservatório de detenção estendido conforme Vetter in Haan, 1994

Fração	Delta X	Particula media (mm)	$V_s=0,8887 \times D^2$	Q (m3/s)	As (m2)	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%.

103.2 Diâmetro das partículas e fração das partículas conforme Foster

É muito conhecido as chamadas equações de método CREAMS que é um software. Tais equações foram elaboradas por Foster et al, 1985 conforme Haan, et al 1994.

A técnica de Foster et al, 1985 define cinco classes de partículas (argila, silte, areia, agregado pequeno e agregado grande). Estas partículas possuem densidades diferentes e quanto maior, menor é a densidade conforme se pode ver na Tabela (103.5).

Tabela 103.5- Classe de partículas, diâmetros e densidades conforme Foster et al, in Haan, et al, 1994.

Classe	Diâmetro D (mm)	Densidade
Argila primária (cl)- clay	Dcl=0,002	2,65
Silte primário (si)-silte	Dsi=0,010	2,65
Areia primária (sa)- sand	Das=0,200	2,65
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,030 para Ocl<0,25	1,80
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,2 (Ocl-0,25)+0,030 para 0,25 Ocl 0,6	1,80
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,100 para Ocl>0,60	1,80
Agregado grande (Lg)	DLg=0,300 para Ocl 0,15	1,60
Agregado grande (Lg)	DLg=2 xOcl para Ocl 0,15	1,60
Soma		

Na Tabela (103.6) estão a textura do solo no exemplo, que tem fração de 0,36 para argila, 0,60 para silte e 0,04 para areia totalizando a unidade 1,0. Para cada caso que temos que analisar, usaremos os valores médios achados na bacia em estudo.

Tabela 103.6 Valores encontrados nas águas pluviais como exemplo somente

Classe	Textura do solo do local (fornecido para o exemplo)
Argila (Ocl)	0,36
Silte (Osi)	0,60
Areia (Osa)	0,04
Total=	1,00

A Tabela (103.7) apresenta a fração de sedimentos considerando a fração de solo, podemos calcular a fração de sedimento conforme mostrado. Assim a fração da argila FcL pode ser calculada assim:

$$FcL=0,26x OcL= 0,26 x 0,36=0,094$$

Tabela 103.7-Classe de partículas, textura do solo, equações de CREAMS e fração das partículas de diâmetro médio Di.

Classe	Exemplo Fração textura do solo	As equações CREAMS da fração de sedimento Conforme Foster et al, 1985 in Han, et al 1994	Fração das partículas x_i
Argila primária (cl)- clay	Ocl=0,36	Fcl=0,26xOcl=0,26 x 0,36	0,094
Silte primário (si)-silte	Osi=0,60	Fsi=Osi - Fsg=0,2-0,18	0,216
Areia primária (sa)- sand	Osa=0,04	Fsa=Osa (1-Ocl) ³ =0,7(1-0,1) ³	0,004
Agregado pequeno (sg)		Fsg=1,8 Ocl para Ocl<0,25	
Agregado pequeno (sg)		Fsg=0,6 Ocl para Ocl>0,50	
Agregado pequeno (sg)		Fsg=0,45-0,6 (Ocl -0,25) para 0,25 Ocl 0,50	0,384
Agregado grande (Lg)		FLg=1-Fcl-Fsi-Fsa-Fsg=1-0,094-0,216-0,004-0,384	0,302
Soma		Total=	1,000

103.4 Determinação do diâmetro das partículas

Utilizando a Tabela (103.) podemos determinar os diâmetros das cinco partículas sugerida por Foster conforme Tabela (103.8).

Tabela 103.8- Diâmetro médio das 5 classes de partículas, conforme Foster El al, 1985 in Haan, et al, 1994.

Classe	Diâmetro D (mm)	
Argila primária (cl)- clay	Dcl=0,002	0,002
Silte primário (si)-silte	Dsi=0,010	0,010
Areia primária (sa)- sand	Dsa=0,200	0,200
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,030 para Ocl<0,25	
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,2 (Ocl-0,25)+0,030 para 0,25 Ocl 0,6	0,052
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,100 para Ocl>0,60	
Agregado grande (Lg)	DLg=0,300 para Ocl 0,15	
Agregado grande (Lg)	DLg=2 xOcl para Ocl 0,15	0,720
Soma		

103.5 Velocidade de sedimentação

A velocidade de sedimentação poderá ser calculada pela equação em função do diâmetro da partícula para densidade de 2,65 e para número de Reynolds maiores que 0,5.

Haan et al, 1994 mostrou que isto não faz muita diferença pois os valores serão sempre F=1 para partículas que necessitem de cálculo mais exato da velocidade de sedimentação.

$$V_s = 0,8887 \times D^2$$

Sendo:

V_s= velocidade de sedimentação (m/s)

D= diâmetro da partícula (mm)

103.6 Cálculos

Consideraremos a explicação com um exemplo, onde a vazão de saída é de $0,14\text{m}^3/\text{s}$ e a área da superfície do reservatório $A_s = 4000\text{m}^2$.

Então a taxa de overflow V_c será:

$$V_c = Q / A_s = 0,14 / 4000 = 0,000035\text{m/s}$$

Tabela 103.9- Cálculos de Chen com modelo turbulento

Classe	Fração de sedimentos da área permeável x_i	Diâmetro (mm)	Densidade	Velocidade sedimentação V_s (m/s)
Argila primária (cl)- clay	0,094	0,002	2,65	0,000003630
Silte primário (si)-silte	0,216	0,010	2,65	0,000090759
Areia primária (sa)- sand	0,004	0,200	2,65	0,036303630
Agregado pequeno (sg) small aggregate	0,384	0,052	1,80	0,001189879
Agregado grande (Lg) large aggregate	0,302	0,720	1,60	0,171089109
Soma	1,000			

Tabela 103.9- Cálculos de Chen com modelo turbulento (continuação)

Vazão de entrada ou de saída Q (m^3)	Área da superfície do reservatório A_s (m^2)	$V_c = Q/A_s$ (m/s)	$F = 1 - \exp(-V_s/V_c)$	$x_i \times F_i$
0,14	4000	0,000035	0,099	0,01
0,14	4000	0,000035	0,925	0,20
0,14	4000	0,000035	1,000	0,00
0,14	4000	0,000035	1,000	0,38
0,14	4000	0,000035	1,000	0,30
				$x_i \times F_i = 0,90$

Portanto, a eficiência da remoção é $E=0,90$ (90%).

103.7 Bibliografia e livros consultados

- HAAN, C.T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small caachments*. 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).
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar Editora, 2006.
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins for controlo 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.