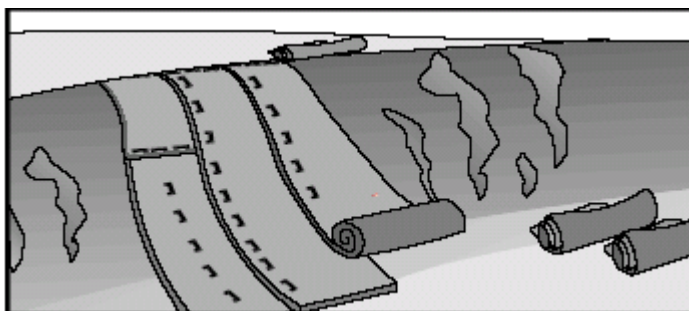


## Capítulo 57

### Filtro de areia

“Em novembro de 1951, excesso de precipitação e altas marés no vale do rio Pó, destruíram diques, causando a morte de 100 pessoas, 30.000 vacas e prejuízo de um terço do PIB da Itália na época”.

Tucci, 2002. Inundações urbanas na América Latina.



**Geotêxtil**  
Cidade de Franklin, 2001

## Sumário

<b>Ordem</b>	<b>Assunto</b>
	<b>Capítulo 10 - Filtro de areia</b>
57.1	Introdução
57.2	Elementos de um filtro de areia
57.3	Tipos básicos de filtros de areia
57.4	Eficiência
57.5	Critérios de seleção
57.6	Limitações
57.7	Custo
57.8	Pré-tratamento de filtro de areia
57.9	Tubos perfurados do filtro de areia
57.10	Manutenção
57.11	Lei de Darcy
57.12	Dimensionamento dos tubos perfurados (drenos)
57.13	Filtro de areia enterrado <i>Delaware</i> (filtros perimétricos)

## Capítulo 57 - Filtro de areia

### 57.1 Introdução

O filtro de areia é destinado ao tratamento de águas pluviais do chamado *first flush* e é construído preferencialmente *off-line* em área onde é baixa a infiltração no solo, o lençol freático é alto e a taxa de evaporação é elevada.

Não confundir com os filtros de areia usados em Estações de Tratamento de Água Potável e em tratamento de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos.

Geralmente os filtros de areia são feitos *off line* a não ser os casos de estacionamentos de carros em toda a área impermeabilizada é que usamos os filtros perimétricos que ficam enterrados.

Os filtros de areia são feitos para trabalhar em **escoamento temporário**, isto é, regime não contínuo, portanto quando chove a água fica armazenada até o escoamento total e depois fica seco.

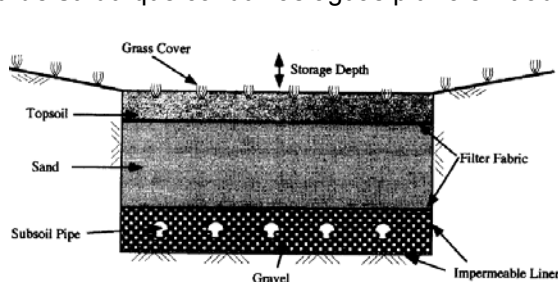
Vêm sendo empregados desde 1980 na cidade de Austin, Texas com absoluto sucesso e onde foram executados mais de 500 filtros de areia e se espera uma vida útil duração entre 25 anos a 50 anos.

O filtro de areia possui uma camada de areia sobre o solo possibilitando a **filtração das águas pluviais na areia** retendo os poluentes e o seu escoamento das águas filtradas para o sistema de águas pluviais, conforme Figura (57.1) e Figura (57.2).

### 57.2 Elementos de um filtro de areia

O filtros de areia possuem quatro elementos principais:

1. **Regulador de fluxo**: destinado a desviar o fluxo para o tratamento WQv
2. **Pré-tratamento** é o local onde as folhas, sedimentos, óleos e graxas, materiais flutuantes são retidos.
3. **Tratamento propriamente dito**, ou seja, os filtros de areia.
4. **Estrutura de saída** que conduz as águas pluviais filtrada para um determinado local.



**Figura 57.1 - Perfil esquemático de um filtro de areia. Notar a inclinação necessária para armazenar o volume de águas pluviais**  
Fonte: Austrália, 2000.

Os filtros de areia são destinados a pequenas áreas onde a impermeabilização é muito grande e, quando não há espaço para construí-lo, usa-se o filtro de areia enterrado.

É importante deixar sempre um pré-tratamento para evitar que venha a entupir, sendo que em filtros de areia enterrado o pré-tratamento pode estar junto com os filtros de areia.

### 57.3 Tipos básicos de filtros de areia

As práticas de filtração são basicamente cinco: filtros de superfície, filtros enterrados, filtros perimétricos (também chamado de filtros Delaware), filtros orgânicos e filtros de bioretenção.

#### Filtros de superfície

É o projeto mais antigo de filtro de areia, pois é construído na superfície do solo e geralmente é *off-line* sendo o mais barato de todos e o mais usado, conforme Figura (57.4), (57.5), (57.6) e (57.8). **Pode ser usado em área até 4ha.**

#### Filtros enterrados

É uma adaptação do filtro de superfície para ser enterrado em lugares onde não dispomos de espaços conforme Figura (57.16) e Figura (57.6). É similar ao filtro de superfície, sendo construído geralmente *off-line*. São mais caros que os filtros de superfície, porém requerem menos espaço sendo úteis em áreas altamente urbanizadas.

**São usados para áreas de até 0,8ha.**

#### Filtros perimétricos

Usa os mesmos princípios do filtro de areia de superfície e são construídos nos perímetros dos estacionamentos de veículos, daí receberem o nome de filtros perimétricos conforme as Figuras (57.13) e (57.14). Ocupam pouco espaço, são feitos *in-line* e destinados a pequenas áreas.

**São usados para áreas de até 0,8ha.** São também chamados de filtros Delaware,

#### Filtros orgânicos

Os filtros orgânicos possuem as mesmas características dos filtros de superfície, mas entretanto o elemento filtrante é a turfa, que é um elemento orgânico, conforme a Figura (57.3). Pode também haver uma mistura de turfa e areia formando **elementos compostos**. Espera-se nos elementos orgânicos o aumento da troca catiônica.

A área máxima deve ser de 2ha.

#### Filtro de bioretenção

Usa-se geralmente o período de 2 (dois) dias para escoamento  $t_f=2$  dias ao invés  $t_f=1,67$  dias usado no filtro de superfície.

O coeficiente de permeabilidade  $K= 0,15$  m/dia (6,3mm/h). A altura máxima da água sobre o filtro deverá de 0,15m.

O pré-tratamento pode ser uma faixa de filtro gramada.

A área máxima para um filtro de bioretenção é de 2ha.

Os filtros de areia geralmente são construídos *off line*, devendo haver um dispositivo para separar a vazão que conduz WQv para o filtro de areia e a que vai para o córrego ou a rede de drenagem mais próxima.

O pré-tratamento do filtro de areia pode ser do tipo clássico, isto é, efetuado antes do filtro de areia, ou pode estar incorporado ao filtro de areia, como os filtros perimétricos e o filtro multicamadas.

Existem ainda os filtros multi-câmaras que é o **filtro multi-câmaras** é um filtro enterrado que possui basicamente 3 câmaras. Na primeira há a deposição de sedimentos. Na segunda câmara deposita outros elementos sólidos bem como os compostos voláteis e com hidrocarbonos, através de difusores. Na câmara final é um filtro de areia com turfa misturada. O grande inconveniente do filtro muti-câmara é o preço excessivo.

#### 57.4 Eficiência

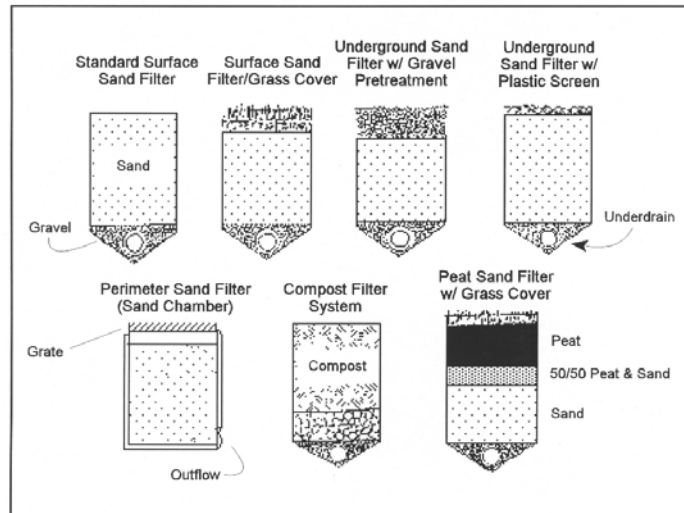
A eficiência em remoção do filtro de areia de superfície conforme a cidade de Austin, 1990 in FHWA, 2004 Tabela (57.1) é a seguinte:

**Tabela 57.1 - Eficiência dos filtros de areia de superfície**

	Sólidos totais em suspensão TSS	Fósforo total TP	Nitrogênio total TN	Nitrato NO <sub>3</sub>	Metais
Cidade de Austin	75%	59%	44%	0	34% a 82%

### 57.5 Critérios de seleção

- Os filtros de superfície podem ser aplicados a área de 0,4ha a **4ha** (Estado de *Massachusetts*, 1997) e os enterrados até 0,8ha;
- Usado para reter a poluição difusa de áreas com partículas pequenas, como estacionamento de carros;
- Protegem a contaminação das águas subterrâneas;
- Podem ser usados para tratar o efluente de uma bacia de retenção alagada ou de um alagadiço (*wetland*);
- Pode ser aplicado em qualquer tipo de solo do SCS (*Soil Conservation Service*).



Source: Claytor and Schueler, 1996

Figura 57.2 - Perfis de vários tipos de filtros de areia

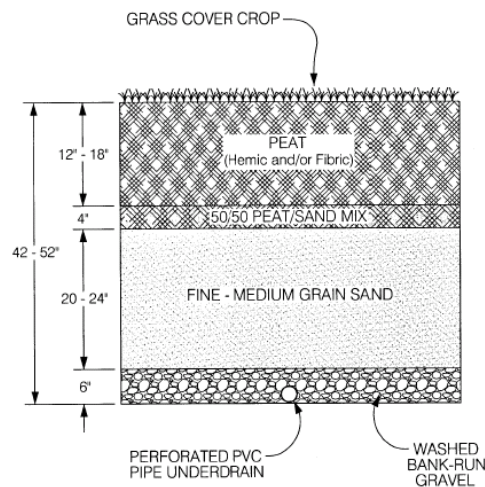


Figura 57.3 - Corte de um filtro orgânico

Fonte: Cidade de Modesto, 2001.

O meio filtrante é basicamente: areia ou pedregulho (cascalho) ou turfa ou mistura dos diversos componentes, conforme se pode ver na Figura (57.2).

Geralmente são construídos *off-line* e pode ser previsto uma reserva de água do volume  $WQ_v$  para que seja filtrado no tempo escolhido.

### 57.6 Limitações

- É necessário pré-tratamento para remover o lixo e os sedimentos de grandes dimensões;
- Tem altos custos;
- Baixas vazões relativas;
- É preciso manutenção constante para que não haja entupimento;
- Pode agravar a situação à jusante se houver entupimento;

- Filtros muito grandes em áreas residenciais não são atrativos, principalmente quando não possuem grama na sua superfície;
- Alguns filtros de areia causam problemas de odor.



Figura 57.4 - Filtro de areia de superfície.



Figura 57.5 - Filtro de areia de superfície.

Fonte: Portland 2000

### 57.7 Custo

Entre 3 a 5 anos, o filtro de areia deve ser substituído e, a areia retirada tem que ser encaminhada a um aterro sanitário, não havendo nenhum problema de produtos tóxicos nas mesmas, conforme pesquisas efetuadas na cidade de Austin, citados por *Schueler*, 1992.

O custo anual de manutenção de um filtro de areia é, segundo *Schueler*, 1992, de 5% do custo inicial da obra. Os filtros chamados D.C. (District of Columbia) necessitam de substituição da areia de 2 em 2 anos.

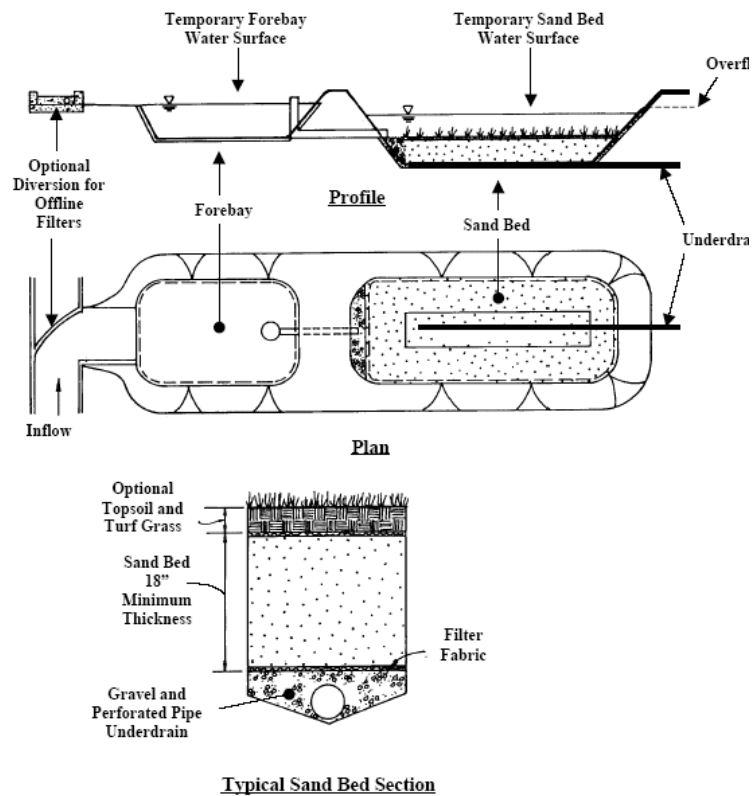
Segundo ASCE, 1998 não existem muitas pesquisas sobre o preço do filtro de areia, mas a variação está entre US\$ 71/m<sup>3</sup> a US\$ 221/m<sup>3</sup> com uma média de US\$ 88/m<sup>3</sup>.

O custo de um filtro de areia na cidade de Austin, Texas é de US\$ 40.000/ha de área impermeável e para área total menor que 0,8ha. Para área maior que 0,8ha o custo é de US\$ 8.500/ha de área impermeável conforme Tabela (57.2).

**Tabela 57.2 - Preços de construção em dólares americanos/hectare de diversos modelos de filtros de areia usados nos Estados Unidos.**

Tipo de filtro de areia	Custo em US\$ / ha
Modelo Delaware, USA (filtro perimétrico)	25.000
Modelo da cidade de Alexandria, Virginia, USA	58.700
Cidade de Austin, Texas, USA (A <0,8ha) filtro perimétrico.	40.000
Cidade de Austin, Texas, USA (A >2,0ha) filtro de superfície	8.500
Washington, DC, USA	35.000
Denver, CO, USA	75.000 a 125.000

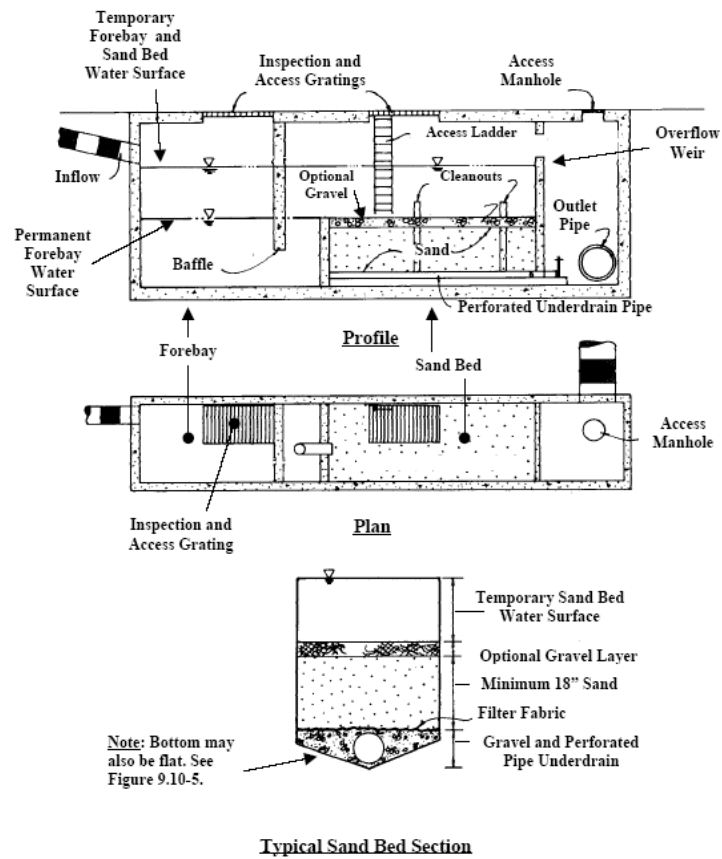
Fonte: *Schueler*, 1994 in ASCE, 1998.



Typical Sand Bed Section

Figura 57.6 - Filtros de areia superficiais: Notar o pré-tratamento, o filtro de areia e a tubulação de drenagem.

Fonte: New Jersey, 2000



**Figura 57.7 - Filtro de areia enterrado**  
 Fonte: New Jersey, 2000



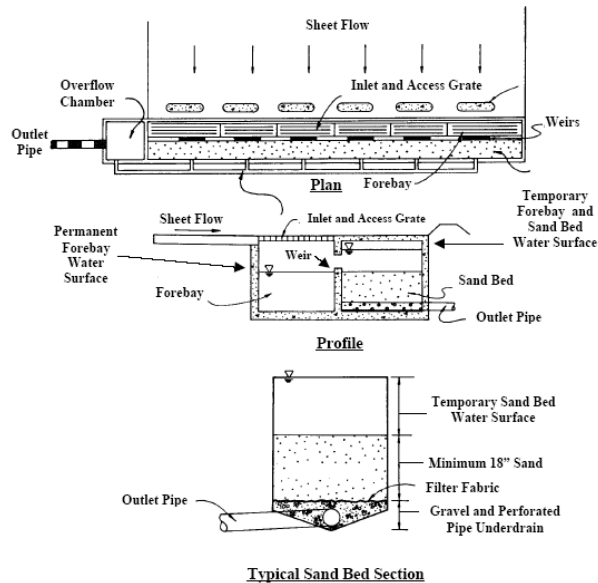
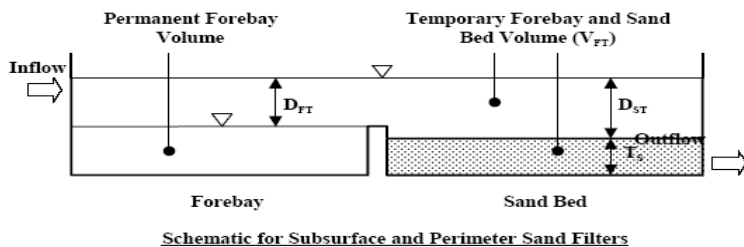
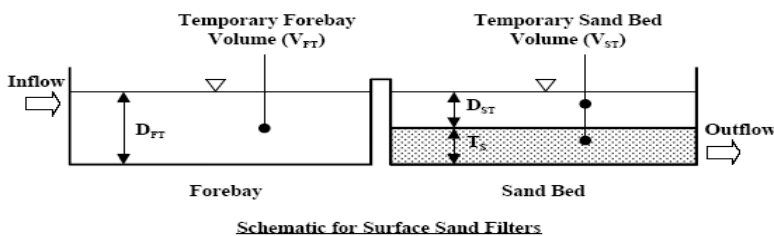


Figura 57.8 - Típico filtro de areia periférico usado em estacionamento de veículos.  
 Fonte: New Jersey, 2003



Schematic for Subsurface and Perimeter Sand Filters



Schematic for Surface Sand Filters

Figura 57.9 - Esquema de filtro de areia enterrado (acima) e de superfície (abaixo).  
 Fonte: New Jersey, 2003

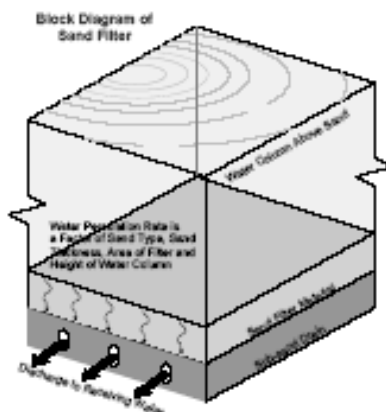


Figura 57.10 - Perfil de um filtro de areia superficial  
 Fonte: FHWA, 1996

### 57.8 Pré-tratamento de filtro de areia

Os filtros de areia costumam receber algumas particularidades no cálculo da bacia de sedimentos, ou seja, no pré-tratamento.

Autores como Claytor e Schueler recomendam que a superfície da área seja usada a Equação de Camp-Hazen na seguinte forma:

$$A_s = - (Q_o / v_s) \times \ln (1-E/100)$$

Sendo:

$Q_o$  = vazão na saída da bacia e calculada e igual a:

$$Q_o = WQ_v / t_d$$

Sendo:

$t_d$  = tempo de detenção em segundos.

O valor recomendado por Claytor é que o tempo de detenção  $t_d = 24h = 86400s$ .

$v_s$  = velocidade de sedimentação da partícula (m/s).

Usualmente usa-se dois tipos de diâmetros dependendo da área impermeabilizada  $A_I$ .

Assim para:

$A_I \leq 75\%$	20 $\mu m$	$v_s = 0,000355$ m/s
$A_I > 75\%$	40 $\mu m$	$v_s = 0,001422$ m/s

$E$  = eficiência da deposição desejada (%)

Normalmente adotamos  $E = 90\%$  ou  $80\%$ .

$\ln$  = logaritmo neperiano

$$-\ln(1-E/100) = -\ln(1-90/100) = -\ln(0,1) = 2,3$$

A Equação (4.2) para  $E = 90\%$  ficará:

$$A_s = 2,3 Q_o / v_s$$

$$\text{Mas } Q_o = WQ_v / 86400$$

$$A_s = 2,3 WQ_v / (86400 \times v_s)$$

Para  $A_I \leq 75\%$  usamos partícula de 20  $\mu m$  que tem velocidade  $v_s = 0,000355$  m/s.

Substituindo teremos:

$$A_s = 2,3 WQ_v / (86400 \times v_s) = 2,3 WQ_v / (86400 \times 0,000355) = 0,075 WQ_v$$

$$A_s = 0,075 WQ_v$$

Para  $A_I > 75\%$  usamos partícula de 40  $\mu m$  que tem velocidade  $v_s = 0,001422$  m/s.

Substituindo teremos:

$$A_s = 2,3 WQ_v / (86400 \times v_s) = 2,3 WQ_v / (86400 \times 0,001422) = 0,019 WQ_v$$

$$A_s = 0,019 \times WQ_v$$

Observemos que usando este método obteremos valores da área de superfície dos pré-tratamento  $A_s$  muito inferiores ao usado no método de Urbanas.

#### Exemplo 57.1

Calcular o tamanho do reservatório destinado ao pré-tratamento de um **filtro de areia de superfície** para área com 2ha e  $A_I = 70\%$ , sendo adotado o *first flush*  $P = 25$ mm e diâmetro da partícula de 200  $\mu m$ .

Coeficiente volumétrico  $R_v$

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

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A = (25/1000) \times 0,68 \times 2ha \times 10.000m^2 = 340m^3$$

Como a área impermeável é maior que 75% então usamos:

$$A_s = 0,075 WQ_v$$

$$A_s = 0,075 \times 340 = 26m^2$$

$W$  = largura (m)

$L$  = comprimento (m)

$$L = 3 \times W$$

$$A_s = W \times L = W \times 3 \times W = 3 W^2 = 26$$

$$W^2 = 26/3 = 8,67$$

$$W = 2,94m \approx 3,00m$$

$$L = 3 \times W = 3 \times 3,00 = 9,00m$$

Profundidade =  $0,1 \text{ WQv} / \text{As} = 0,1 \times 340\text{m}^3 / 26 \text{ m}^2 = 1,31\text{m}$   
Dimensões:  
Largura= 3,00m  
Comprimento= 9,00m  
Profundidade = 1,30m

### 57.9 Tubos perfurados do filtro de areia

- Tubos não poderão exceder 150mm.
- Deverá ser deixado 300mm sobre a geratriz superior do tubo perfurado.
- A relação comprimento/ largura deve ser 2:1 ou maior (*Portland, 2000*)
- A areia deverá ter diâmetro de 0,5mm a 1mm, sendo que areia com diâmetros menores são também aceitas.
- A camada de pedras britadas deverá ter espessura de 100mm a 150mm, sendo que o diâmetro das pedras deverá ser de 13mm a 50mm (pedra 1, pedra 2 e pedra 3).
- A tubulação de drenagem deverá ter declividade mínima de 1%.
- Deverá haver membrana de geotêxtil (bidim) envolvendo todo o filtro da areia na parte superior, inferior e lateral.
- O talude da caixa de areia não pode ser maior que 3:1(horizontal: vertical).
- É aconselhável que o lençol freático esteja no mínimo 0,90m distante do fundo do filtro de areia.
- O filtro de areia pode permitir a infiltração (exfiltração) parcial ou total no solo, dependendo das condições de permeabilidade local. Em locais de alto potencial de poluição o filtro de areia deve ficar isolado do solo e ser evitado a infiltração.
- Os tubos de PVC perfurados de 150mm devem ser assentados sobre geomembrana.
- Sobre os tubos de PVC perfurados de 150mm devemos ter no mínimo 5cm de areia.
- A camada de areia mínima é de 0,45m.
- O topo da camada de areia deve ser horizontal.
- Deverá haver uma coluna de água sobre o filtro de areia.
- À saída do filtro de areia deverá ser instalado vertedor dimensionado para período de retorno de 25anos.
- A distância máxima na horizontal dos drenos de PVC de 150mm é de 3,00m.
- A declividade mínima dos drenos é de 1% e o buraco da perfuração é de 3/8"(9,53mm).

### 57.10 Manutenção

- Deixar espaço para entrada de caminhões para a manutenção.
- O topo dos 100mm do filtro deve ser removido a cada seis meses. Poderá ser removido mais de 100mm se está havendo entupimento.
- A areia contaminada removida ou outro material do filtro de areia deve ir para aterro sanitário.
- Deverá haver inspeção a cada três meses do filtro de areia e inspeção depois de cada evento..
- Se o filtro de areia vai infiltrar a água no solo, cuidados especiais deverão ser tomados durante a escavação para não compactar o solo com máquinas pesadas e assim diminuir a taxa de infiltração do solo (exfiltração).
- A vegetação sobre o filtro de areia não poderá exceder de 50cm.
- Quando o tempo de escoamento for maior que 36h deverá ser feito a manutenção do filtro de areia.

### 57.11 Lei de Darcy

$$Q=K \times G \times A \quad (\text{Equação 57.1})$$

Sendo:

Q= pico de vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

K= condutividade hidráulica.

A= área da seção transversal ( $\text{m}^2$ ).

G= gradiente hidráulico =  $(h+L)/ L$

L= espessura do filtro de areia (m)

hmax= altura máxima da água a contar da superfície externa do filtro (m)

h= altura da coluna de água sobre a areia (m)

Colocando-se a equação de Darcy em função da área A= Af teremos:

$$A= Q/ (K \times G)$$

Conforme Estado de Maryland, 2000 para filtração aplicando a Lei Darcy obtemos:

$$Af = (WQv) df / [K \times (hf + df) \times tf] \quad \text{(Equação 57.2)}$$

Sendo:

Af= área da superfície do filtro de areia (m<sup>2</sup>)

WQv= volume para melhoria da qualidade das água pluviais (m<sup>3</sup>).

Q= vazão média no tempo= WQv / tf

G= (hf+df)/df

df= altura do filtro de areia (m) sendo: **0,45m ≤ df ≤ 0,60m**

hf= altura média de água sobre o filtro de areia (m). Significa a metade da altura de água sobre o filtro de areia. hf ≤ 2,00m conforme CIRIA, 2007.

tf= tempo em dias para o dreno do filtro de areia no seguinte intervalo: 1 dia ≤ tf ≤ 1,67 dia. Na prática se adota tf= 40 horas, ou seja, **tf= 1,67 dias**.

O tempo de drenagem tf varia de 24h a 48h sendo adotado na maioria dos casos tf=40h= 1,67 dias.

K= coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica do elemento filtrante do filtro de areia (m/dia) conforme Tabela (57.3). Notar que não é a condutividade do solo e sim da areia do filtro.

**Tabela 57.3 Coeficiente de permeabilidade usado em filtros de areia**

Elemento filtrante	Coeficiente de permeabilidade	
Areia	1,05m/dia	44mm/h
Turfa/areia	0,83m/dia	35mm/h
Composto	2,61m/dia	109mm/h

Fonte: USEPA, 2002

A cidade de Austin, Texas recomenda o valor de 1,05m/dia para o coeficiente de permeabilidade K, mas o monitoramento feito em Austin achou valores entre 0,15m/dia a 0,81m/dia com uma média de 0,45m/dia segundo Clayton e Schueler, 1996 in Mays, 2003.

**Dica: valor conservador adotado para areia K= 0,45m/dia ( 19mm/h).**

**Passos para o projeto do filtro de areia**

1. Calcular o volume WQv
2. Calcular a área do filtro de areia Af
3. Calcular o volume mínimo de armazenamento  
 $V_{min} = 0,75 WQv$
4. Calcular o volume de água que está dentro do filtro de areia  
 $V_f = Af \times df \times n$   
 Sendo: n= 0,40 (porosidade efetiva)
5. Calcular o volume de armazenamento temporário necessário em ambas as câmaras.  
 $V_{temp} = V_{min} - V_f$
6. Calcular a altura de volume temporário= Vtemp/ Af e verifique que esta altura é maior que 2 x hf. Caso contrário, recalcular.

**Exemplo 57.2**

Dimensionar filtro de areia de superfície sendo:

Área = 2ha      AI=70%.      Coeficiente de permeabilidade da areia= K=0,45m/dia (19mm/h)

Altura média de água= 0,50m.      Tempo de escoamento= 1,67dias

df=0,60m (altura do filtro de areia)

Rv= 0,05 +0,009 x AI= 0,05 +0,009 x 70= 0,68

Sendo o *first flush* P=25mm

$$WQv = (P/1000) \times Rv \times A \text{ (ha)} \times 10000m^2 = (25/1000) \times 0,68 \times 2 \text{ (ha)} \times 10000m^2 = 340m^3$$

Para efeito de exemplo deixamos de considerar os 25% que ficam detidos no pré-tratamento.

Considerado que iremos usar 0,75WQv no filtro de areia temos:

$$0,75 WQv = 0,75 \times 349m^3 = 255m^3$$

Adotamos hf= 0,50m (altura média da água sobre o filtro)

$$Af = (WQv \cdot df) / [K \cdot (hf + df) \cdot tf]$$

$$Af = (255 \times 0,60) / [0,45 \times (0,50 + 0,60) \times 1,67 \text{ dia}] = 185m^2$$

$$\text{Taxa} = 185m^2 / 2ha = 93m^2/ha$$

**Pré-tratamento**

Ver Exemplo anterior.

**Volume mínimo de armazenamento no filtro de areia**

$$V_{\min} = 0,75 WQ_v = 0,75 \times 349 \text{m}^3 = 255 \text{m}^3$$

**Volume dentro da areia**

$$V_f = A_f \times d_f \times n = 185 \text{m}^2 \times 0,60 \text{m} \times 0,40 = 44 \text{m}^3$$

**Volume de armazenamento temporário**

$$V_{\text{temp}} = V_{\min} - V_f = 255 \text{m}^3 - 44 \text{m}^3 = 211 \text{m}^3$$

**Altura média temporária**

$$\text{Altura média temporária} = V_{\text{temp}} / A_f = 211 \text{m}^3 / 185 \text{m}^2 = 1,14 \text{m} > 2 \times h_f = 2 \times 0,50 = 1,00 \text{m OK.}$$

Como a relação comprimento/ largura é 2: 1 então teremos:

$$L \cdot 2L = 185 \text{m}^2$$

$$L = (185/2)^{0,5} = 9,60 \text{m}$$

$$\text{Comprimento} = 2L = 19,20 \text{m}$$

Portanto, o filtro de areia tem 9,60m de largura por 19,20m de comprimento, sendo 0,6m de altura de areia.

Sobre o filtro deverá estar reservado o volume de água  $WQ_v = 255 \text{m}^3$

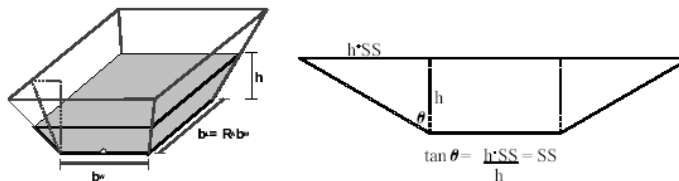
Considerando que o talude tem 3 na horizontal por 1 na vertical e sendo a base do trapézio de 7,20m e o comprimento de 14,30m e considerando altura de água  $D = 1,50 \text{m}$  sobre a superfície do filtro de areia temos o volume  $V$  conforme Figura (57.11).

$$V = L \cdot W \cdot D + (L+W) Z \cdot D^2 + 4/3 \cdot Z^2 \cdot D^3$$

$$D = 1,14 \text{m altura do nível máximo de água}$$

$$V = 19,2 \times 9,60 \times 1,14 + (19,20 + 9,60) \times 3 \times 1,14^2 + 4/3 \times 3^2 \times 1,14^3$$

$$V = 210,12 \text{m}^3 + 112,29 \text{m}^3 + 17,78 \text{m}^3 = 340 \text{m}^3 > 255 \text{m}^3 \text{ OK.}$$



**Figura 57.11 – Tronco de pirâmide cônica**

Temos então 1,14m de água acima da areia para armazenar o volume  $WQ_v$  necessário para ir sendo filtrado tem 1,67dias.

**57.12 Dimensionamento dos tubos perfurados (drenos)**

**Exemplo 57.3**

O volume temporário a ser reservado sobre o filtro de areia é de  $297 \text{m}^3$  com altura máxima de 1,50m. Dividindo-se  $297 \text{m}^3$  por 15 temos  $19,8 \text{m}^3$  cada 0,10m.

$$K = 0,96 \text{m/dia} = 0,000011 \text{m/s}$$

A área longitudinal do filtro de areia é  $103 \text{m}^2$

Aplicando a equação de Darcy:

$$Q = K \times G \times A$$

Achamos para cada abaixo de 0,10m a vazão média correspondente. Para os primeiros 0,10m a vazão média será  $0,0051 \text{m}^3/\text{s}$ , ou seja, 5 L/s e para isto precisamos de 1,1h. Na Tabela (105) podemos ver que em 22,8h teremos filtrada toda a água.

Tabela 57.4 - Processo aproximado de filtração usando a Lei de Darcy.

Filtro areia (m)	Nível Água h (m)	H (m)	L (m)	Gradiente hidráulico $G=(h+L)/L$	Área Seção longitudinal (m <sup>2</sup> )
Coluna 1	2	3	4	5	6
0,6	1,50	2,1	0,6	4,5	103
0,6	1,40	2,0	0,6	4,3	103
0,6	1,30	1,9	0,6	4,2	103
0,6	1,20	1,8	0,6	4,0	103
0,6	1,10	1,7	0,6	3,8	103
0,6	1,00	1,6	0,6	3,7	103
0,6	0,90	1,5	0,6	3,5	103
0,6	0,80	1,4	0,6	3,3	103
0,6	0,70	1,3	0,6	3,2	103
0,6	0,60	1,2	0,6	3,0	103
0,6	0,50	1,1	0,6	2,8	103
0,6	0,40	1,0	0,6	2,7	103
0,6	0,30	0,9	0,6	2,5	103
0,6	0,20	0,8	0,6	2,3	103
0,6	0,10	0,7	0,6	2,2	103
	0,00				

**Tabela 57.5 – Continuação-Processo aproximado de filtração usando a Lei de Darcy (continuação).**

Q (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	Tempo acumulado (h)	Volume para cada 0,10m de água (m <sup>3</sup> )	Volume acumulado (m <sup>3</sup> )
Coluna 7	8	9	10	11
0,0051	1,1	1,1	19,8	20
0,0050	1,1	2,2	19,8	40
0,0048	1,2	3,4	19,8	59
0,0046	1,2	4,6	19,8	79
0,0044	1,3	5,8	19,8	99
0,0042	1,3	7,1	19,8	119
0,0040	1,4	8,5	19,8	139
0,0038	1,4	10,0	19,8	158
0,0036	1,5	11,5	19,8	178
0,0034	1,6	13,1	19,8	198
0,0032	1,7	14,8	19,8	218
0,0030	1,8	16,6	19,8	238
0,0029	1,9	18,5	19,8	257
0,0027	2,1	20,6	19,8	277
<b>0,0025</b>	<b>2,2</b>	<b>22,8</b>	<b>19,8</b>	297

Portanto, no início temos a vazão de 5L/s, mas como vamos por 3 tubos podemos supor que:  
(5L/s) / 3= 1,67 L/s=0,00167m<sup>3</sup>/s e podemos usar tubo de 150mm com declividade de 1%, conforme a Tabela (57.6).

Lembremos que o espaçamento máximo é de 3m e como temos 7,2m de largura do filtro, vamos colocar duas linhas de tubo de 150mm.

Supondo:

n=0,015 concreto.

S=declividade da tubulação=0,01m/m (1%)

D= diâmetro (m)=0,15m

Q= vazão total específica (m<sup>3</sup>/s)

Conforme Tomaz, 2002 temos:

$$D = [(Q \cdot n) / (0,312 \cdot S^{0,5})]^{(3/8)}$$

ou

$$Q = [0,312 \times S^{0,5} \times D^{(8/3)}] / n$$

Na Tabela (57.6) estão as vazões das tubulações de concreto em função da declividade.

**Tabela 57.6- Vazões em m<sup>3</sup>/s de tubulações de concreto de acordo com diâmetro interno e declividade da tubulação em porcentagem ou m/m.**

D (m)	Vazões m <sup>3</sup> /s conforme declividade em % ou m/m								
	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%	2,50%	3,00%	3,50%	4,00%	5,00%
0,10	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009	0,010
0,15	0,009	0,013	0,016	0,019	0,021	0,023	0,025	0,026	0,030
0,20	0,020	0,028	0,035	0,040	0,045	0,049	0,053	0,057	0,064
0,25	0,036	0,052	0,063	0,073	0,082	0,089	0,097	0,103	0,115
0,30	0,059	0,084	0,103	0,119	0,133	0,145	0,157	0,168	0,188
0,40	0,128	0,181	0,221	0,256	0,286	0,313	0,338	0,361	0,404
0,50	0,232	0,328	0,401	0,463	0,518	0,567	0,613	0,655	0,732
0,60	0,377	0,533	0,652	0,753	0,842	0,923	0,997	1,065	1,191

0,70	0,568	0,804	0,984	1,136	1,270	1,392	1,503	1,607	1,797
0,80	0,811	1,147	1,405	1,622	1,814	1,987	2,146	2,294	2,565
0,90	1,111	1,571	1,923	2,221	2,483	2,720	2,938	3,141	3,512
1,00	1,471	2,080	2,547	2,942	3,289	3,603	3,891	4,160	4,651

Colocamos dois tubos de 0,15m com declividade de 1%.

**57.13 Filtro de areia enterrado *Delaware* (filtros perimétricos)**

Existem vários tipos de filtros de areia enterrado como o filtro *Delaware*, também são chamados de filtros de perímetro, pois são usados nos perímetros dos estacionamentos de carros conforme Figuras (57.12) a (57.14).

Contém duas câmaras básicas, sendo a primeira de sedimentação e a segunda onde está a camada de areia. É necessário um volume adicional de armazenamento temporário das águas pluviais.

Quando não há espaço podem ser feitas várias câmaras de maneira que o filtro de areia seja subterrâneo, com vida útil de 5 anos a 20 anos.

Os filtros de areia enterrados são para áreas impermeáveis de no máximo 0,4ha (4.000m<sup>2</sup>) e os custos estimados variam de US\$ 24.700/ha a US\$ 34.600/ha.

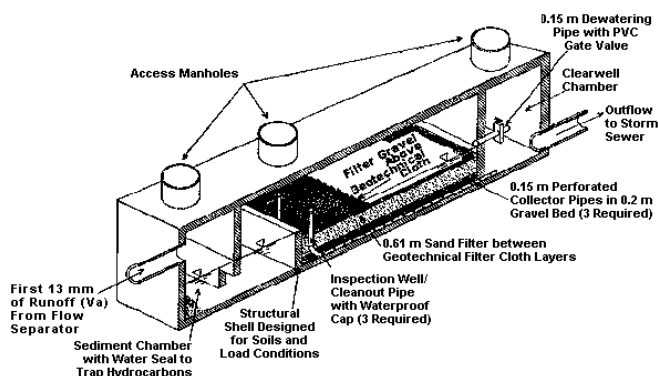
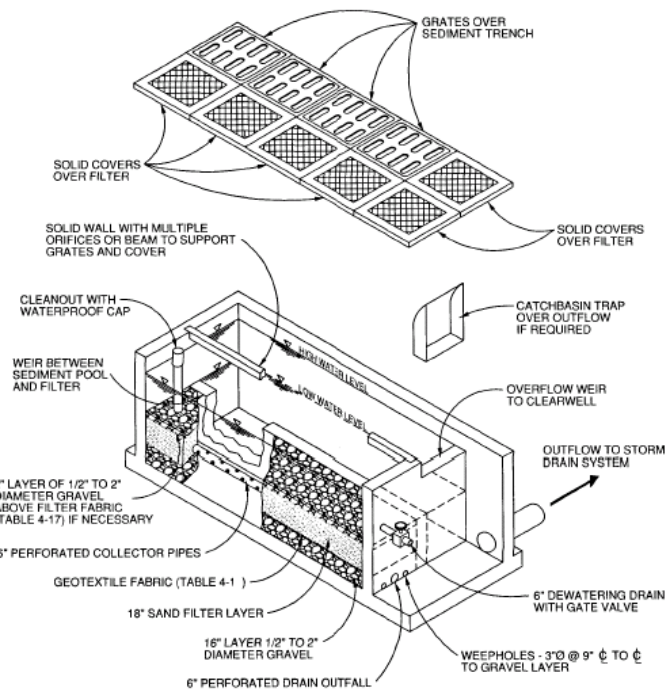


Figura 57.12 - Filtro enterrado chamado *Delaware* observando-se o pré-tratamento, o filtro de areia e a câmara de descarga.  
 Fonte: FHWA, 2004.



Figura 57.13 - Foto de um filtro *Delaware*





**Figura 57.14- Filtro *Delaware* ou filtro perimétrico**  
Fonte: cidade de Modesto, 2001

A Figura (57.14) mostra a esquerda um filtro de areia de superfície e a direita um filtro de areia perimétrico.



Surface Sand Filter



Perimeter Sand Filter

**Figura 57.15- Filtro de areia: superfície a esquerda e filtro perimétrico a direita.**  
Fonte: Estado da Geórgia, 2001