

Capítulo 14 Caixa de retenção de óleo e sedimentos

As pessoas ficam surpresas quando aprendem que muito pouco da precipitação destina-se para a recarga de aquíferos subterrâneos.

Darrel I. Leap in The Handbook of groundwater engineering.

Sumário

Ordem	Assunto
	Capítulo 14- Caixa de retenção de óleos e sedimentos
14.1	Introdução
14.2	Densidade gravimétrica
14.3	Tipos básicos de separadores por gravidade óleo/água
14.4	Vazão de pico
14.5	Método Racional
14.6	Equação de Paulo S. Wilken para RMSP
14.7	Vazão relativa ao volume WQv que chega até o pré-tratamento usando o Método Racional para P= 25mm e P=13mm.
14.8	Critério de seleção
14.9	Limitações
14.10	Custos e manutenção
14.11	Lei de <i>Stokes</i>
14.12	Dados para projetos
14.13	Desvantagens da caixa de óleos e graxas
14.14	Caixa de retenção de óleo API por gravidade
14.15	Dimensões mínimas segundo FHWA
14.16	Volume de detenção
14.17	Caixa de retenção coalescente com placas paralelas
14.18	Fabricantes no Brasil de caixas com placas coalescentes
14.19	Flotação
14.20	Sistemas industriais americanos para separação de óleos e graxas
14.21	<i>Skimmer</i>
14.22	Postos de gasolina
14.24	Vazão que chega até o pré-tratamento
14.25	Pesquisas do US Army, 2000
14.26	Princípios de Allen Hazen sobre sedimentação
14.27	Lei de Stokes

51páginas

Capítulo 14- Caixa de retenção de óleo e sedimento (*oil/grit separators*)

14.1 Introdução

O grande objetivo do uso dos separadores óleo/água são os lugares que possuem um alto potencial de contaminação urbana, ou seja, os “*Hotspots*” como postos de gasolina, oficina de conserto de veículos, etc. Outros lugares com estacionamento diário ou de curto período, como restaurantes, lanchonetes, estacionamentos de automóveis e caminhões, supermercados, *shoppings*, aeroportos, estradas de rodagens são potenciais para a contaminação de hidrocarbonetos conforme Figuras (14.1) a (14.3).

Estacionamentos residenciais e ruas possuem baixa concentração de metais e hidrocarbonetos.

Pesquisas feitas em postos de gasolina revelaram a existência de 37 compostos tóxicos nos sedimentos das caixas separadoras e 19 na coluna de água da caixa separadora. Muitos destes compostos são PAHs (*Polycyclic aromatic hydrocarbons*) que são perigosos para os humanos e organismos aquáticos (Auckland, 1996).

Na cidade de Campos do Jordão em São Paulo fizeram um posto de gasolina na entrada da cidade, onde o piso era de elementos de concreto e no meio tinha grama com areia. Em pouco tempo tudo foi destruído. Aquele posto de gasolina é um *hotspot* e nunca deveria ser feito a infiltração no local.

A caixas separadores de óleos e graxas são designadas especialmente para remover óleo que está flutuante, gasolina, compostos de petróleo leves e graxas. Além disto a maioria dos separadores removem sedimentos e materiais flutuantes.

O óleo pode-se apresentar da seguinte maneira:

- **Óleo livre: que está presente nas águas pluviais em glóbulos maiores que 20µm. Eles são separados devido a sua baixa gravidade específica e eles flutuam.**
- *Óleos emulsionados mecanicamente*: estão dispersos na água de uma maneira estável. O óleo é misturado a água através de uma emulsão mecânica, como um bombeamento, a existência de uma válvula globo ou uma outra restrição do escoamento. Em geral os glóbulos são da ordem de 5µm a 20µm.
- *Óleo emulsionado quimicamente*: as emulsões deste tipo são geralmente feitas intencionalmente e formam detergentes, fluidos alcalinos e outros reagentes. Usualmente possuem glóbulos menores que 5µm
- *Óleo dissolvido*: é o óleo solubilizado em um líquido que é um solvente e pode ser detectado usando análises químicas, por exemplo. O separador óleo/água não remove óleo dissolvido.
- *Óleo aderente a sólidos*: é aquele óleo que adere às superfícies de materiais particulados.

O objetivo é remover somente o chamado *óleo livre*, pois o óleo contido nas emulsões e quando estão dissolvidos necessitam tratamento adicional.



Figura 14.1- Posto de gasolina



Figura 14.2- Pistas de Aeroportos



Figura 14.3- Estacionamento de veículos

<http://www.vortech.com/assets/HardingTownship.pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2005.
Firma Vortech.



Figura 14.4- Estradas de rodagem asfaltadas

As águas pluviais em geral contém glóbulos de óleo que variam de 25 μ m a 60 μ m e com concentrações de óleo e graxas em torno de 4 mg/l a 50mg/l (Arizona, 1996), mas entretanto as águas pluviais proveniente de postos de gasolina, etc possuem grande quantidade de óleo e graxas.

A **emulsão** requer tratamento especial e existem varias técnicas, sendo uma delas a acidificação, a adição de sulfato de alumínio e introdução de polímeros conforme Eckenfelder, 1989, ainda com a desvantagem do sulfato de alumínio produzir grande quantidade de lodo.

Dica: a caixa separadora de óleos, graxas e sedimentos que seguem a norma API são para glóbulos maiores ou iguais a 150 μ m, reduzem o efluente para cerca de 50mg/l (Eckenfelder, 1989).

Dica: a caixa separadora de óleos, graxas e sedimentos com placas coalescentes são para globos maiores ou iguais a 60 μ m e reduzem o efluente para 10mg/l (Eckenfelder, 1989).

14.2 Densidade gravimétrica

Há líquidos imiscíveis, como por exemplo, o óleo e a água. Os líquidos imiscíveis ou não solúveis um com o outro formam uma emulsão ou suspensão coloidal com glóbulos menores que 1µm.

Emulsão é uma mistura de dois líquidos imiscíveis: detergente, etc.

Solução: é a mistura de dois ou mais substâncias formando um só líquido estável.

Uma maneira de separá-los por gravidade é a utilização da Lei de Stokes, pois sendo menor a densidade do óleo o glóbulo tende a subir até a superfície. As Tabela (14.1) e (14.3) mostram as densidades gravimétricas de alguns líquidos.

Na *caixa de retenção de óleos e sedimentos* que denominaremos resumidamente de *Separador*, ficam retidos os materiais sólidos e óleo. **O separador de óleo remove hidrocarbonetos de densidade gravimétricas entre 0,68 a 0,95.**

Tabela 14.1- Densidades de vários líquidos

Líquido	Densidade a 20° C
Álcool etílico	0,79
Benzeno	0,88
Tetracloroeto de carbono	1,59
Querosene	0,81
Mercúrio	13,37
Óleo cru	0,85 a 0,93
Óleo lubrificante	0,85 a 0,88
Água	1,00

Fonte: Streeter e Wylie, 1980

A eficiência das caixas separadoras de óleo e graxas é estimada pela Tabela (14.2) para caixas com três câmaras e poços de visita.

Tabela 14.2 –Eficiência das caixas de óleos e graxas

Tipo de caixas	Volume (m ³)	Redução (%)		
		TSS Sólidos totais em suspensão	Metais Pesados	Óleos e graxas
Três câmaras	52	48%	21% a 36%	42%
Poço de visita	35	61%	42% a 52%	50%

Fonte: Canadá, Ontário-http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_024.cfm. Acessado em 8 de novembro de 2005. As três câmaras são das normas API - American Petroleum Institute.

Tabela 14.3- Diversas densidades de líquidos

Líquido	Densidade a 20° C g/cm ³ ou g/mL
Benzeno	0,876
Óleo combustível médio	0,852
Óleo combustível pesado	0,906
Querosene	0,823
Óleo diesel	0,85
Óleo de motor	0,90

Água	0,998
Óleo Diesel	0,90 recomendado (Auckland, 2005)
Querosene	0,79 recomendado (Auckland, 2005)
Gasolina	0,75 recomendado (Auckland, 2005)
Etanol	0,80

A velocidade de ascensão dos glóbulos de óleo depende da viscosidade dinâmica que varia com o tipo de líquido e com a temperatura.

Dica: adotaremos neste trabalho hidrocarboneto com densidade gravimétrica de 0,90.

A Tabela (14.4) mostra os tempos de ascensão com relação ao diâmetro do glóbulo de óleo onde se pode observar que uma partícula com diâmetro de 150 μ m tem um tempo aproximadamente menor que 10min. Quanto menor o diâmetro do glóbulo, maior é o tempo de separação água/óleo.

Tabela 14.4- Tempo de ascensão, estabilidade da emulsão e diâmetro do glóbulo

Tempo de ascensão	Estabilidade da emulsão	Diâmetro do glóbulo (μ m)
< 1 min	Muito fraco	>500
< 10 min	Fraco	100 a 500
Horas	Moderado	40 a 100
Dias	Forte	1 a 40
Semanas	Muito Forte	< 1 (Coloidal)

A distribuição do diâmetro e do volume dos glóbulos está na Figura (14.5).

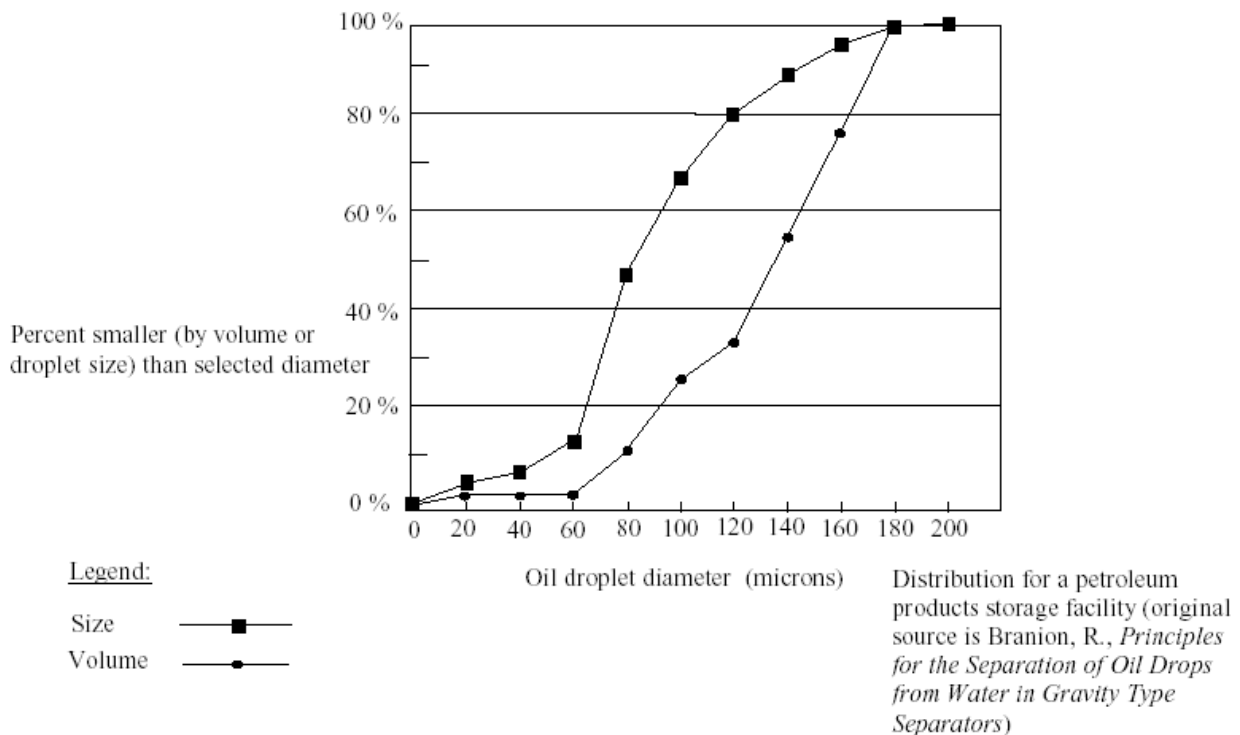


Figura 14.5- Diâmetro e distribuição dos glóbulos de óleos

Fonte: http://www.ci.knoxville.tn.us/engineering/bmp_manual/knoxvilleBMP.pdf. Acessado em 12 de novembro de 2005.

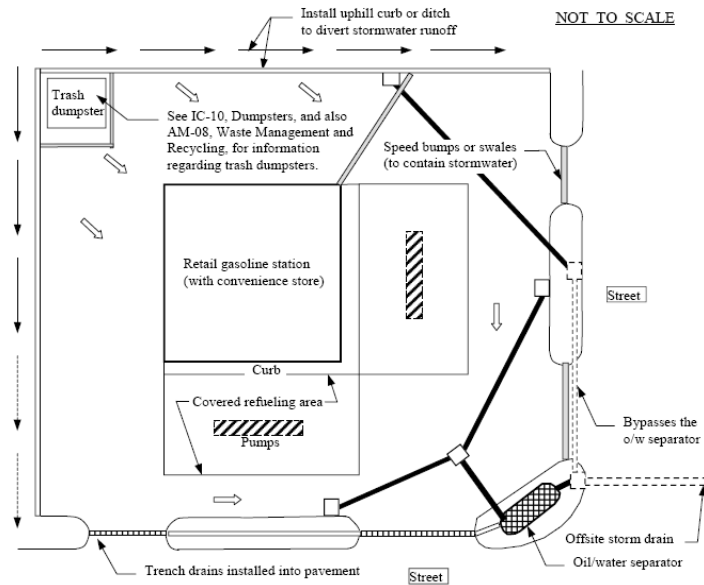


Figura 14.6- Separador de óleo em posto de gasolina

http://www.ci.knoxville.tn.us/engineering/bmp_manual/knoxvilleBMP.pdf. Acessado em 12 de novembro de 2005.

14.3 Tipos básicos de separadores por gravidade óleo/água

Existe basicamente, três tipos de separador água/óleo por gravidade:

- **Separador tipo API** (*American Petroleum Institute*) para glóbulos maiores que 150 μ m
- **Separador Coalescente de placas paralelas** para glóbulos maiores que 60 μ m.
- **Separador tipo poço de visita elaborado por fabricantes**

O *separador tipo API* possui três câmaras, sendo a primeira para sedimentação, a segunda para o depósito somente do óleo e a terceira para descarga. São geralmente enterradas e podem ser construídas em fibra de vidro, aço, concreto ou polipropileno.

A remoção da lama e do óleo podem ser feitas periodicamente através de equipamentos especiais. O óleo é retirado através de equipamentos manuais ou mecânicos denominados *skimmer* quando a camada de óleo atinge 5cm mais ou menos.

O *separador Coalescente* é também por gravidade e ocupa menos espaço, sendo bastante usado, porém apresentam alto custo e possibilidade de entupimento. Possuem placas paralelas corrugadas, inclinadas de 45° a 60° e separadas entre si de 2cm a 4cm. Segundo o dicionário Houaiss *coalescer* quer dizer unir intensamente, aglutinar e *coalescente* quer dizer: que se une intensamente; aderente; aglutinante.

O *separador elaborado por fabricante* possuem tecnologias variadas. São os equipamentos chamados: *Stormceptor*; *Vortech*, *CDS*, *HIL*. No Brasil temos fabricantes como Alfamec com separadores coalescentes de PEAD, fibra de vidro, aço carbono, aço inox cujas vazões variam de 0,8m³/h até 40m³/h.

As demais tecnologias para remoção de óleo/água: flotação, floculação química, filtração (filtros de areia), uso de membranas, carvão ativado ou processo biológico não serão discutidas neste trabalho. Com outros tratamentos poderemos remover óleos insolúveis bem como TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*).

Os separadores de óleo/água podem remover óleo e TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) abaixo de 15mg/l. A sua performance depende da manutenção sistemática e regular da caixa.

As pesquisas mostram que 30% dos glóbulos de óleo são maiores que 150 μ m e que 80% é maior que 90 μ m.

Tradicionalmente usa-se o separador para glóbulos acima de 150 μ m que resulta num efluente entre 50mg/l a 60mg/l (Auckland, 1996).

A Resolução Conama 357/05 no artigo 34 que se refere a lançamentos exige que:

Artigo 34-Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

V- Óleos e graxas

1- óleos minerais até 20mg/L (Nota: este é o nosso caso)

2- óleos vegetais e gorduras animais até 50mg/L

Para postos de gasolina por exemplo, para remover até 20mg/L de óleos minerais é necessário que se removam os glóbulos maiores ou igual a 60 μ m.

A remoção de 10mg/L a 20mg/L corresponde a remoção de glóbulos maiores que 60 μ m.

Tomaremos como padrão a densidade do hidrocarboneto < 0,90 g/cm³, partículas de 60 μ m e performance remoção de até 20mg/L de óleos minerais.

Stenstrom et al,1982 fez pesquisa na Baía de São Francisco sobre óleo e graxa e concluiu que há uma forte conexão entre a massa de óleo e graxa no início da chuva. Constatou que as maiores

quantidades de óleo e graxas estavam nas áreas de estacionamento e industriais que possuíam 15,25mg/l de óleos e graxas, enquanto que nas áreas residenciais havia somente 4,13mg/l.

14.4 Vazão de pico

O projetista deve decidir se escolherá se a caixa separadora estará *on line* ou *off line*. Se estiver *on line* a caixa deverá atender a vazão de pico da área, mas geralmente a escolha é feita *off line*, com um critério que é definido pelo poder público.

Existe o critério do *first flush* que dimensionará o volume para qualidade das águas pluviais denominado WQv. Este volume poderá ser transformado em vazão através do método de *Pitt*, onde achamos o número CN e aplicando o SCS TR-55 achamos a vazão de pico ou aplicar o método racional que será usado neste Capítulo.

A área máxima de projeto é de 0,40ha, caso seja maior a mesma deverá ser subdividida

14.5 Método Racional

A chamada fórmula racional é a seguinte:

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360$$

Sendo:

Q= vazão de pico (m³/s);

C=coeficiente de escoamento superficial varia de 0 a 1.

I= intensidade média da chuva (mm/h);

A= área da bacia (ha). 1ha=10.000m²

Exemplo 14.1

Dada área da bacia A=0,4ha, coeficiente de escoamento superficial C=0,70 e intensidade da chuva I=40mm/h. Calcular o vazão de pico Q.

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360 = 0,70 \times 40\text{mm/h} \times 0,4\text{ha} / 360 = 0,03\text{m}^3/\text{s}$$

14.6 Equação de Paulo S. Wilken para RMSP

$$I = \frac{1747,9 \cdot T_r^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad (\text{mm/h})$$

Sendo:

I= intensidade média da chuva (mm/h);

T_r= período de retorno (anos). Adotar T_r=10anos.

t_c=duração da chuva (min).

14.7 Vazão relativa ao volume WQv que chega até o pré-tratamento usando o Método Racional para P= 25mm e P=13mm.

Usando para o tempo de concentração da *Federal Aviation Agency* (FAA, 1970) para escoamento superficial devendo o comprimento ser menor ou igual a 150m.

$$t_c = 3,26 \times (1,1 - C) \times L^{0,5} / S^{0,333}$$
$$R_v = 0,05 + 0,009 \times A I = C$$

Sendo:

t_c= tempo de concentração (min)

C= coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *Runoff* (está entre 0 e 1)

S= declividade (m/m)

AI= área impermeável em porcentagem (%)

Rv= coeficiente volumétrico (adimensional)

Aplicando *análise de regressão linear* aos valores de C e de I para áreas $A \leq 2\text{ha}$ para a RMSM obtemos:

$$I = 45,13 \times C + 0,98 \quad \text{Para } P=25\text{mm}$$
$$R^2 = 0,86$$

$$I = 9,09 \times C + 0,20 \quad \text{Para } P=13\text{mm}$$
$$R^2 = 0,86$$

Sendo:

I= intensidade de chuva (mm/h)

C= coeficiente de escoamento superficial

P= *first flush*. P=25mm na Região Metropolitana de São Paulo

R^2 = coeficiente obtido em análise de regressão linear. Varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais preciso.

A vazão $Q=CIA/360$ obtido usando $I = 45,13 \times C + 0,98$ nos obterá a vazão referente ao volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv.

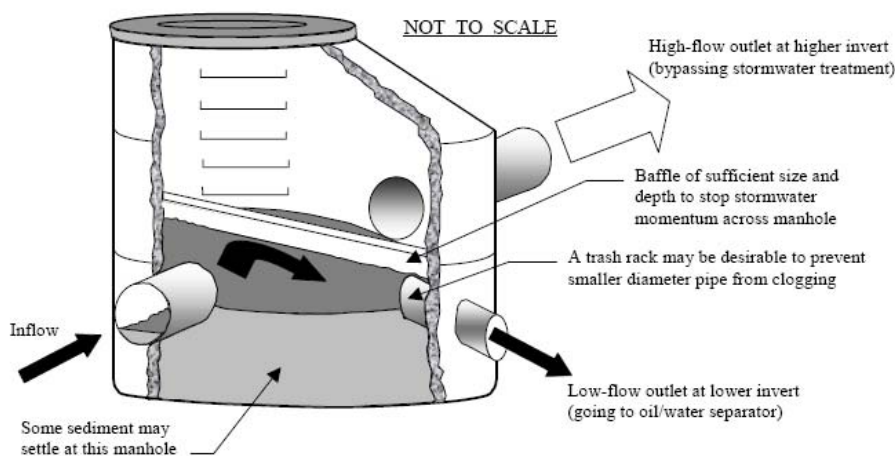


Figure ST-07-3
Typical Stormwater High-Flow Bypass Manhole

Figura 14.7- Poço de visita separador de fluxo. As águas pluviais entram no poço de visita e uma parte referente ao volume WQv para melhoria da qualidade das águas pluviais vai para a caixa separadora de óleos e graxas e a outra vai para o córrego ou galeria mais próxima.

http://www.ci.knoxville.tn.us/engineering/bmp_manual/knoxvilleBMP.pdf. Acessado em 12 de novembro de 2005

WQv (volume para melhoria da qualidade das águas pluviais)

O volume para melhoria da qualidade das águas pluviais é dado pela equação:

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

Sendo:

WQv= volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m^3)

$P = \text{first flush}$ (mm). Para a RMSP $P=25\text{mm}$
 $R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$
 $AI = \text{área impermeável (\%)}$
 $R_v = \text{coeficiente volumétrico (adimensional)}$
 $A = \text{área da bacia em (m}^2\text{)}$

Exemplo 14.2

Achar o volume WQ_v para melhoria da qualidade das águas pluviais para área de 0,4ha com $AI=100\%$ sendo o *first flush* $P=25\text{mm}$.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 100 = 0,95$$

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

$$WQ_v = (25\text{mm}/1000) \times 0,95 \times 4000\text{m}^2 = \mathbf{95\text{m}^3}$$

Exemplo 14.3

Achar a vazão para a melhoria da qualidade das águas pluviais para área de 0,4ha, com 100% de impermeabilização para *first flush* adotado de $P=25\text{mm}$.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 100 = 0,95 = C$$

Para $P=25\text{mm}$ de *first flush* para a Região Metropolitana de São Paulo temos:

$$I = 45,13 \times C + 0,98$$

$$I = 45,13 \times 0,95 + 0,98 = 44\text{mm/h}$$

$$Q = CIA/360$$

$$C = 0,95$$

$$I = 44\text{mm/h}$$

$$A = 0,4\text{ha}$$

$$Q = CIA/360 = 0,95 \times 44 \times 0,4 / 360 = \mathbf{0,050\text{m}^3/\text{s}}$$

14.8 Critério de seleção

- É usada a montante do tratamento juntamente com outras BMPs
- A caixa separadora de óleo e sólido não funciona para solventes, detergentes ou poluentes dissolvidos.
- Temperatura usual= **20 ° C**
- Viscosidade dinâmica= $\mu = 0,01$ poise
- Gravidade específica da água= **0,9975=0,998**
- Gravidade específica do óleo= **0,90**
- Diâmetro do glóbulo de óleo: **150 μm** ou em casos especiais **60 μm** .
- Deve ser feito sempre *off-line*.
- Deve ser usado sempre com o *first flush*.
- A primeira chuva faz uma lavagem do piso em aproximadamente 20min. É o *first flush*. Somente este volume de água denominado WQv é encaminhado à câmara de detenção de sólidos e óleos, devendo o restante ser lançado na galeria de águas pluviais ou córrego mais próximo.
- Para as duas primeiras câmaras: taxa de **28m³/ha** de área impermeável (regra prática).
- Para a primeira câmara: Taxa de **20m²/ha** de área impermeável (regra prática).
- Pode ser usada em ocasiões especiais perto de estradas com tráfego intenso.
- A primeira câmara é destinada a reter os resíduos sólidos; a segunda destinada a separação do óleo da água e a terceira câmara serve como equalizador para a descarga do efluente.
- É instalada subterraneamente não havendo problemas do seu funcionamento.
- Pode remover de **60% a 70% do total de sedimentos sólidos (TSS)**.
- O regime de escoamento dentro da caixa de retenção de óleo deve ter número de Reynolds menor que 500 para que o regime seja laminar.
- Remove 50% do óleo livre que vem nas águas pluviais durante o *runoff*.
- Não haverá ressuspensão dos poluentes que foram armazenados na caixa de óleo
- É aplicável a áreas < **0,4ha** como, por exemplo: área de estacionamento, posto de gasolina, estrada de rodagem, instalação militar, instalação petrolífera, oficina de manutenção de veículos, aeroporto, etc.
- De modo geral o tempo de residência é menor que 30min e adotaremos 20min.

14.9 Limitações

- Potencial perigo de ressuspensão de sedimentos, o que dependerá do projeto feito.
- Não remove óleo dissolvido e nem emulsão com glóbulos de óleo muito pequenos.
- A área máxima deve ser de 0,4ha (4.000m²). Caso a área seja maior deve ser subdividida.
- O FHWA admite que o limite de 0,4ha pode ir até 0,61ha .
- As águas pluviais retêm pouca gasolina e possui concentração baixa de hidrocarbonetos, em geral o óleo e graxas nas águas pluviais está em **torno de 15mg/l**.
- As normas API (*American Petroleum Institute*) 1990, publicação nº 421, referente a Projeto e operação de separadores de óleo/água: recomenda diâmetro dos glóbulos de óleo a serem removidos em separadores por gravidade, devem ser maiores que **150 μm** .
- O tamanho usual dos globos de óleo varia de **75 μm a 300 μm** .
- A gravidade específica do óleo varia de **0,68 a 0,95**.
- Resolução Conama 357/2005 artigo 34: os efluentes de qualquer fonte poluidora podem ter até **20mg/l** de óleos minerais.

14.10 Custos e manutenção.

- Baixo custo de construção.
- O custo de construção varia de US\$ 5.000 a US\$ 15.000 sendo a média de US\$ 7.000 a US\$ 8.000 conforme FHWA
- <http://www.fhwa.dot.gov/environment/ultraurb/3fs12.htm> Acessado em 8 de novembro de 2005.
- O óleo e os sólidos devem ser removidos freqüentemente.
- Inspeção semanal.
- Nas duas primeiras câmaras irão se depositar ao longo do tempo cerca de 5cm de sedimentos, devendo ser feita limpeza no mínimo 4 vezes por ano.
- O material da caixa de óleo deve ser bem vedado para evitar contaminação das águas subterrâneas.
- Potencial perigo de descarga de nutrientes e metais pesados dos sedimentos se a limpeza não for feita constantemente.
- Inspeção após chuva $\geq 13mm$ em 24h.
- Deverá ser feito monitoramento por inspeções visuais freqüentemente.
- Fácil acesso para manutenção.
- Uso de caminhões com vácuo para limpeza.
- Os materiais retirados da caixa de separação de óleo e resíduos deve ter o seu destino adequado.

32.11 Lei de Stokes

Para óleos e graxas, conforme Eckenfelder, 1989 é válida a aplicação da Lei de Stokes.

$$Vt = (g / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times D^2$$

Sendo:

Vt = velocidade ascensional (cm/s)

μ = viscosidade dinâmica das águas pluviais em poise. $1P = 1 \text{ g/cm} \times \text{s}$

ρ_w = densidade da água (g/cm^3)

ρ_o = densidade do óleo na temperatura (g/cm^3) = 1kg/litro

S_w = gravidade específica das águas pluviais (sem dimensão)

S_o = gravidade específica do óleo presente nas águas pluviais (sem dimensão).

D = diâmetro do glóbulo do óleo presente (cm)

$g = 981 \text{ cm/s}^2$

Para $D = 150 \mu\text{m} = 0,15 \text{ mm} = 0,015 \text{ cm}$

$g = 981 \text{ cm/s}^2$

$$Vt = (981 / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times (0,015)^2$$

$$Vt = 0,0123 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$

$$Vt = 0,0123 \times [(1 - S_o) / v]$$

Sendo:

$v = \mu / \rho = 1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

v = viscosidade cinemática das águas pluviais em Stokes.

1 Stoke = $1 \text{ cm}^2/\text{s}$

10.000 Stokes = $1 \text{ m}^2/\text{s}$

Para $D=60\mu\text{m}=0,06\text{mm}=0,006\text{cm}$
 $g=981\text{cm/s}^2$

$$V_t = (981 / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times D^2$$
$$V_t = (981 / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times (0,006)^2$$
$$V_t = 0,002 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$
$$V_t = 0,002 \times [(1 - S_o) / \nu]$$

Sendo:

$$\nu = \mu / \rho = 1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

ν = viscosidade cinemática das águas pluviais em Stokes.

$$1 \text{ Stoke} = 1\text{cm}^2/\text{s}$$

$$10.000\text{Stokes} = 1\text{m}^2/\text{s}$$

Para $D=40\mu\text{m}=0,04\text{mm}=0,004\text{cm}$
 $g=981\text{cm/s}^2$

$$V_t = (981 / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times D^2$$
$$V_t = (981 / 18 \mu) \times (\rho_w - \rho_o) \times (0,004)^2$$
$$V_t = 0,0009 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$
$$V_t = 0,0009 \times [(1 - S_o) / \nu]$$

Sendo:

$$\nu = \mu / \rho = 1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

ν = viscosidade cinemática das águas pluviais em Stokes.

$$1 \text{ Stoke} = 1\text{cm}^2/\text{s}$$

$$10.000\text{Stokes} = 1\text{m}^2/\text{s}$$

Exemplo 14.4

Calcular a velocidade ascensional sendo a gravidade específica das águas pluviais $S_w = 0,998$ e do óleo $S_o = 0,90$ e viscosidade dinâmica de 0,01poise (20°C) para glóbulo de óleo com **diâmetro de 150 μm** .

$$V_t = 0,0123 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$

$$V_t = 0,0123 \times [(0,998 - 0,90) / 0,01] = 0,12 \text{ cm/s} = 0,0012\text{m/s} \text{ (4,3m/h)}$$

Exemplo 14.5

Calcular a velocidade ascensional sendo a gravidade específica das águas pluviais $S_w = 0,998$ e do óleo $S_o = 0,90$ e viscosidade dinâmica de 0,01poise (20°C) para glóbulo de óleo com **diâmetro de 60 μm** .

$$V_t = 0,002 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$

$$V_t = 0,002 \times [(0,998 - 0,90) / 0,01] = 0,02 \text{ cm/s} = 0,0002\text{m/s} \text{ (0,71m/h)}$$

Exemplo 14.6

Calcular a velocidade ascensional sendo a gravidade específica das águas pluviais $S_w = 0,998$ e do óleo $S_o = 0,90$ e viscosidade dinâmica de 0,01poise (20°C) para glóbulo de óleo com **diâmetro de 40 μm** .

$$V_t = 0,0009 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$

$$V_t = 0,0009 \times [(0,998 - 0,90) / 0,01] = 0,009 \text{ cm/s} = 0,00009\text{m/s} \text{ (0,32m/h)}$$

14.12 Dados para projetos

- O uso individual de uma caixa é para aproximadamente 0,4ha de área impermeabilizada (Austrália, 1998) ou no máximo até 0,61ha conforme FHWA..

14.13 Desvantagens da caixa separadora de óleo

- Remoção limitada de poluentes.

- Alto custo de instalação e manutenção.
- Não há controle de volume.
- Manutenção deve ser freqüente.
- Os sedimentos, óleos e graxas deverão ser retirados e colocados em lugares apropriados conforme as leis locais.

14.14 Caixa de retenção de óleo API por gravidade

As teorias sobre dimensionamento das caixas de retenção de óleo por gravidade, seguiu-se a roteiro usado na Nova Zelândia conforme <http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/water-discharges-guidelines-dec98/app-5-separator-design-dec98.pdf> com acesso em 8 de novembro de 2005.

Admite-se que os glóbulos de óleo são maiores que 150 μ m e pela Lei de Stokes aplicado ao diâmetro citado temos: S_o = gravidade específica do óleo presente nas águas pluviais (sem dimensão).

As caixas API só funcionam para óleo livre.

$$V_t = 0,0123 \times [(1 - S_o) / \nu]$$

$$D = 150 \mu\text{m}$$

Sendo:

$$\nu = \mu / \rho$$

ν = viscosidade cinemática das águas pluviais em Stokes.

$$1 \text{ Stoke} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$10.000 \text{ Stokes} = 1 \text{ m}^2/\text{s}$$

V_t = velocidade ascensional (cm/s)

A área mínima horizontal, nos separadores API é dada pela Equação:

$$A_h = F \cdot Q / V_t$$

Sendo:

A_h = área horizontal (m^2)

Q = vazão (m^3/s)

V_t = velocidade ascensional final da partícula de óleo (m/s)

F = fator de turbulência = $F_1 \times F_2$

$F_1 = 1,2$

F_2 = fornecido pela Tabela (14.5) conforme relação V_h / V_t

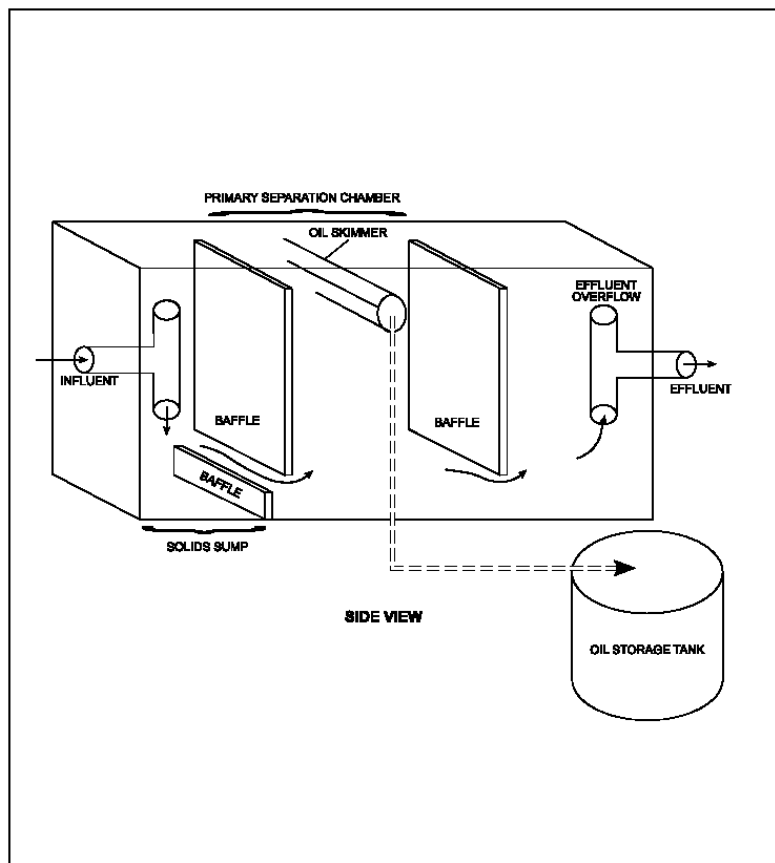


Figura 14.8- Esquema da caixa separadora API

Fonte: Unified Facilities Criteria UF, US Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency. 10 July 2001 UFC-3-240-03

<http://chppm-www.apgea.army.mil/USACHPPM%20Technical%20Guide%20276.htm>. Acessado em 12 de novembro de 2005.

Adotamos $V_h = 0,015$ m/s e $V_t = 0,002$ m/s e a relação $V_h/V_t = 0,015/0,002 = 7,5$. Entrando com $V_h/V_t = 7,5$ na Tabela (14.5) achamos $F = 1,40$. Podemos obter o valor de F usando a Figura (14.9)

Tabela 14.5 – Escolha do valor de turbulência F_2

V_h/V_t	F_2	$F = 1,2F_2$
20	1,45	1,74
15	1,37	1,64
10	1,27	1,52
6	1,14	1,37
3	1,07	1,28

Fonte: <http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/water-discharges-guidelines-dec98/app-5-separator-design-dec98.pdf>. Acessado em 12 de novembro de 2005.

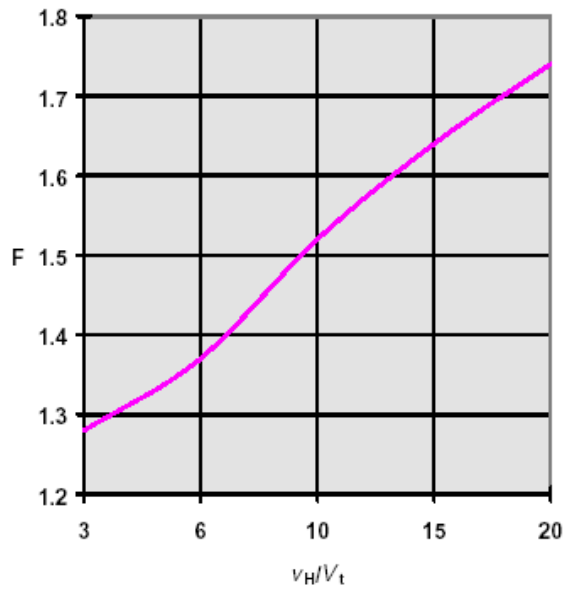


Figura 14.9- Valores de F em função de V_h/V_t

Fonte: <http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/water-discharges-guidelines-dec98/app-5-separator-design-dec98.pdf>. Acessado em 12 de novembro de 2005.

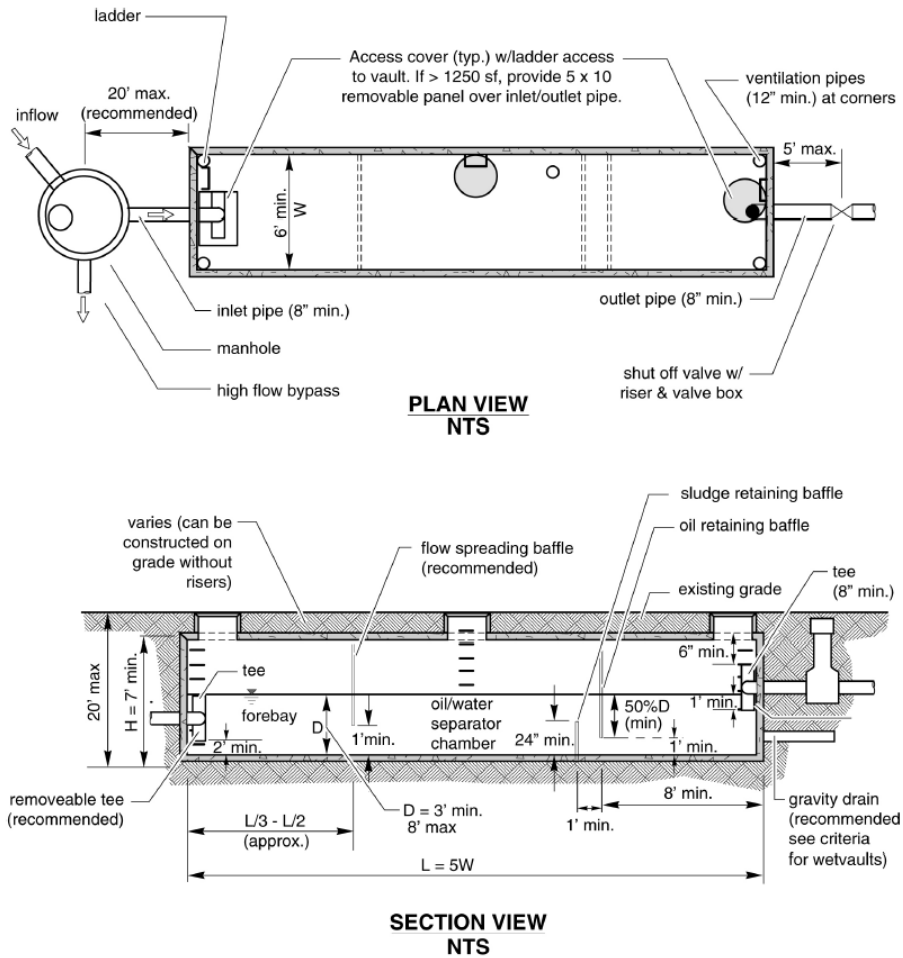


Figura 14.10 - Caixa de retenção de óleos e sedimentos conforme API
 Fonte: City of Eugene, 2001

As dimensões mínimas adotadas na Cidade de Eugene, 2001 que estão na Figura (14.9) são as seguintes:

- Altura de água mínima de 0,90m e máxima de 2,40m.
- Altura mínima da caixa é de 2,10m para facilidade de manutenção..
- A caixa de regularização tem comprimento mínimo de 2,40m
- A caixa de sedimentação tem comprimento mínimo de L/3 a L/2.
- O comprimento mínimo de toda as três câmaras é de 5 vezes a largura W.
- A largura mínima W é de 1,80m
- Observar na Figura (14.9) a caixa separadora, pois, geralmente a caixa separadora de óleo é feita *off line*.
- Geralmente a caixa de captação de óleos e graxas é enterrada.
- Deverá haver dispositivo para a retirada do óleo.

A área mínima transversal A_c é fornecida pela relação:

$$A_c = Q / V_h$$

Sendo:

A_c = área mínima da seção transversal da caixa (m^2).

V_h = velocidade horizontal (m/s) = 0,015m/s

Q = vazão de pico (m^3/s)

O valor da velocidade horizontal V_h muito usado para glóbulos de óleo de diâmetro de 150 μ m é $V_h = 0,015m/s$ o que resultará em:

$$A_c = Q / V_h$$

$$A_c = Q / 0,015 = 67Q$$

Exemplo 14.7

Calcular a área mínima transversal A_c para vazão de entrada de 0,020 m^3/s para caixa de detenção de óleo e graxas a partir do diâmetro de 150 μ m.

$$A_c = 67Q$$

$$A_c = 67 \times 0,020$$

$$A_c = 1,34m^2$$

Número de canais (N)

Geralmente o número de canais é igual a um.

$N=1$ (número de canais). Se $A_c > 16m^2$ então $N > 1$ (Arizona, 1996)

Profundidade da camada de água dentro do separador de óleo e graxas (d).

$$d = (r \times A_c)^{0,5}$$

d = máxima altura de água dentro do separador de óleo (m) sendo o mínimo de $d \geq 0,90m$.

r = razão entre a profundidade/ largura que varia de 0,3 a 0,5, sendo comumente adotado $r=0,3$

Exemplo 14.8

Calcular o valor de d para $r=0,3$ e $A_c = 1,34m^2$

$$d = (r \times A_c)^{0,5}$$

$$d = (0,3 \times 1,34)^{0,5}$$

$$d=0,63m.$$

Portanto, a altura do nível de água dentro da caixa é 0,63m, mas para efeito de manutenção a altura mínima deverá ser de 1,80m.

Largura da caixa (W)

$$r= d/W=0,3$$

$$W= d/0,3= 0,63 / 0,3 = 2,10m$$

Então a largura da caixa separadora de óleo será de 2,10m.

Comprimento (Ls) da caixa separadora API

$$L_s = F \cdot d \cdot (V_h / V_t)$$

Sendo:

Ls=comprimento do separador (m)

d=altura do canal (m)

Vh= velocidade horizontal (m/s)

Vt= velocidade ascensional (m/s)

F=fator de turbulência. Adotamos $V_h/v_t= 7,5$ o valor $F=1,40$

Os dados aproximados de La e Lf foram adaptados de:

<http://www.ci.tacoma.wa.us/WaterServices/permits/Volume5/SWMM%20V5-C11.pdf> de Thurston, janeiro de 2003. Acesso em 8 de novembro de 2005.

Um valor muito usado para o Fator de Turbulência é $F= 1,40$ correspondente a $V_h/v_t = 7,5$. Fazendo as substituições teremos:

$$L_s = F \cdot d \cdot (V_h / V_t)$$

$$L_s = 1,40 \times d \times 7,5 = 10,5 \times d$$

$$L_s = 10,5 \times d$$

Exemplo 14.9

Calcular o comprimento somente da caixa separadora de óleos e graxas, sendo a altura do nível de água de 1,22m.

$$L_s = 10,5 \times d$$

Comprimento da caixa de regularização(La)

O comprimento mínimo é de 2,40m.

Comprimento da caixa de sedimentação (Lf)

A área para sedimentação é dado em função da área impermeável, sendo usado como dado empírico $20m^2/ha$ de área impermeável. Portanto, a área da caixa de comprimento Lf não poderá ter área inferior ao valor calculado.

$$\text{Área} = 20m^2/ha \times A \text{ (ha)}$$

W= largura

$$L_f = \text{Área da caixa de sedimentação} / W$$

Exemplo 14.10

Seja área com $4000m^2$ e largura da caixa de retenção de óleo de $W=2,40m$. Calcular o comprimento Lf.

$$\text{Área da caixa de sedimentação} = 20m^2/ha \times (4000/10000) = 8m^2$$

$$L_f = \text{Área da caixa de sedimentação} / W = 8m^2 / 2,40m = 3,33m$$

Comprimento total (L) da caixa de captação de óleo

O comprimento L será a soma de três parcelas, sendo geralmente maior ou igual a 12,81m :

- Lf corresponde a caixa de sedimentação que ficará no início
- Ls corresponde a caixa separadora de óleo propriamente dita que ficará no meio.
- La corresponde a caixa de saída para regularização da vazão.

$$L = L_f + L_s + L_a$$

O comprimento total do separador é a soma de três componentes das câmaras de sedimentação; separação do óleo da água e regularização conforme Figura (14.11):

= comprimento das três caixas, sendo a primeira para sedimentação, a segunda para separação do óleo propriamente dito e a terceira para regularização.

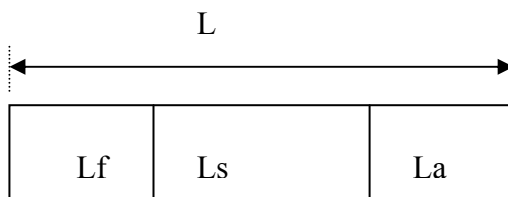


Figura 14.11- Esquema de uma caixa de retenção de óleo e sedimentos.

Exemplo 14.11

Calcular o comprimento total L para área da bacia de 4.000m² (0,4ha) sendo Ls=12,81, Lf= 3,33m. Adotando-se o mínimo para La=2,40 teremos:

$$L = L_s + L_f + L_a = 12,81 + 3,33 + 2,40 = 18,54\text{m}$$

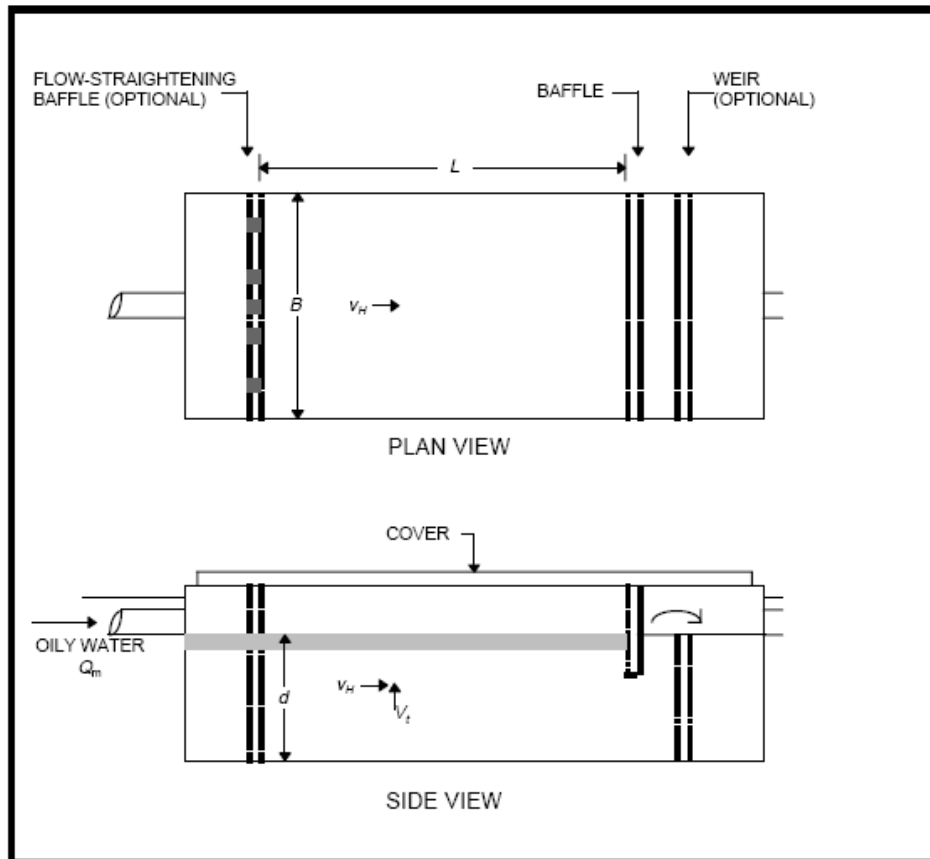


Figura 14.12- Variáveis da caixa separadora de óleos e graxas. Observar que a altura d é a lâmina de água existindo uma folga para até a altura máxima da caixa. O comprimento L ou seja L_s vai da caixa de sedimentação até a caixa de regularização.

Fonte:

<http://www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/water-discharges-guidelines-dec98/app-5-separator-design-dec98.pdf>

Ventilação

Deverá haver ventilação por razão de segurança e se possível nos quatro cantos da caixa. O diâmetro mínimo da ventilação é de 300mm e deve ter tela de aço com ¼”.

Existem caixas com tampas removíveis e outras que podem ser usados insufladores de ar.

A altura da caixa mínima deverá ser de 2,10m para facilitar a manutenção.

14.15 Dimensões mínimas segundo FHWA

As dimensões internas mínimas para uma área de 0,4ha (4.000m²) é a seguinte:

Profundidade= 1,82m

Largura =1,22m

Comprimento = 4,26m

Comprimento da primeira câmara= 1,82m

Comprimento para cada uma das outras duas câmaras= 1,22m

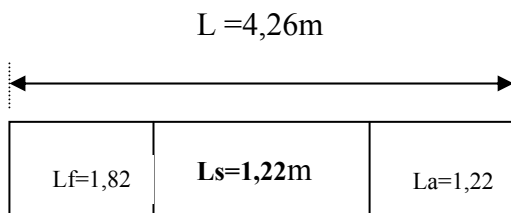
Volume das duas primeiras câmaras =(1,82m+ 1,22m) x 1,82m x 1,82m=10m³.

Taxa= 10m³/ 0,4ha= 25m³/ha (**28m³/ha**)

Taxa= 2,2m²/ 0,4ha = 6 m²/ha (**20m²/ha**)

Volume da caixa separadora= 9,5m³

Área superficial da caixa separadora= 5,2m²



Profundidade=d=1,82m

Figura 14.13- Esquema de uma caixa de retenção de óleo e sedimentos mínima para área até 0,4ha (FHWA) com as dimensões internas.

O comprimento Lf que depende do que vai ser sedimentado pode ser adaptado as condições locais.

14.16 Volume de detenção

O volume de detenção para período de retorno Tr=10anos.

$$V = 4,65 AI \cdot A \quad \text{para Tr= 10anos}$$

A= área da bacia (ha). A≤100ha

V= volume do reservatório de detenção (m³)

AI= área impermeável (%) variando de 20% a 90%

A= área em hectares (ha) ≤ 100ha

A vazão específica para pré-desenvolvimento para período de retorno de 10anos é de 24 litros/segundo x hectare.

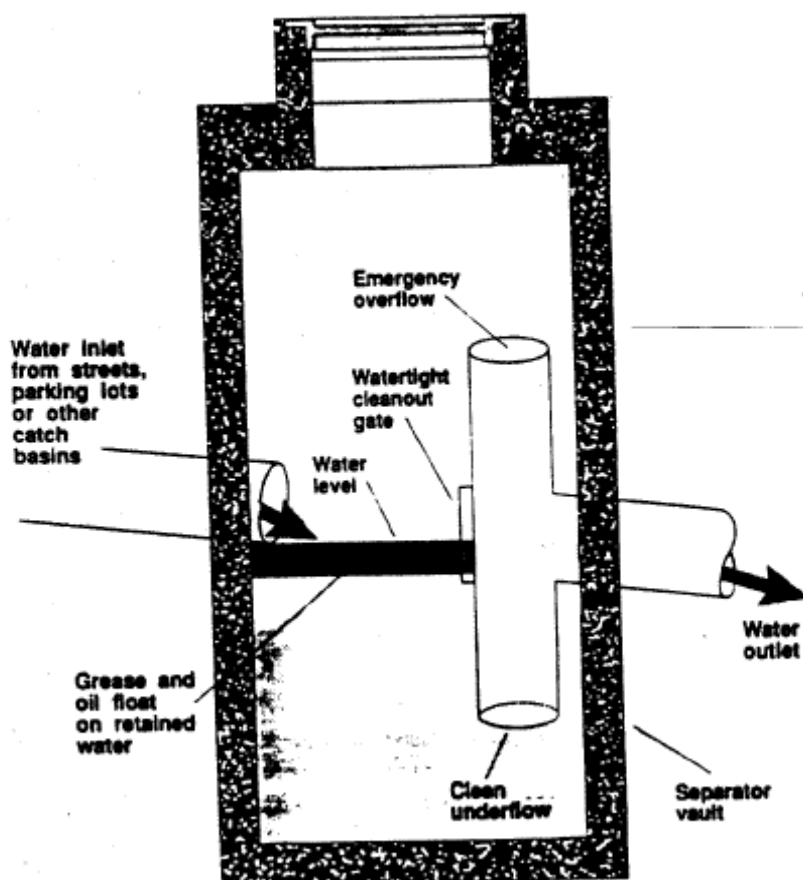


Figura 14.14- Separador de óleo e graxas em forma de um poço de visita. Temos dois tipos básicos de separadores de óleos e graxas. A primeira é a caixa de três câmaras e a segunda é o poço de visita.

<http://www.ci.tacoma.wa.us/WaterServices/permits/Volume5/SWMM%20V5-C11.pdf>. Com acesso em 8 de novembro de 2005.

Exemplo 14.12

Dimensionar uma caixa de retenção óleo/água API para reter glóbulos $\geq 150\mu\text{m}$. A área de um estacionamento de veículos tem 4.000m^2 e a mesma será calculada **off-line**. Supomos *first flush* $P=25\text{mm}$. Supomos que o estacionamento tem 100m de testada com 40m de largura e a declividade é de $0,5\%$ ($0,005\text{m/m}$)

Cálculo da vazão para melhoria da qualidade das águas pluviais.

Coeficiente volumétrico R_v

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

Supomos $C = R_v$

$$C = 0,05 + 0,009 \times 10 = 0,95$$

Intensidade da chuva correspondente ao volume WQ_v em mm/h para a RMSP.

$$I = 45,13 \times C + 0,98$$

Tempo de concentração

Usando para o tempo de concentração da *Federal Aviation Agency* (FAA, 1970)

$$L = 40\text{m}$$

$$S = 0,005\text{m/m}$$

$$C = 0,95$$

$$t_c = 3,26 \times (1,1 - C) \times L^{0,5} / S^{0,333}$$
$$t_c = 3,26 \times (1,1 - 0,95) \times 40^{0,5} / 0,005^{0,333} = 15\text{min}$$

Para São Paulo, equação de Paulo Sampaio Wilken:

$$I = \frac{1747,9 \cdot T_r^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad (\text{mm/h})$$

$$T_r = 10\text{anos}$$

$$I = \frac{1747,9 \times 10^{0,181}}{(15 + 15)^{0,89}} = 128\text{mm/h}$$

Fórmula Racional

Sendo:

$$A = 0,4 \text{ ha}$$

$$I = 96\text{mm/h}$$

Vazão de pico

$$Q = CIA/360 = 0,95 \times 128 \times 0,4 / 360 = 0,135\text{m}^3/\text{s} = 135\text{litros/segundo} \text{ (Pico da vazão para } T_r=10\text{anos)}$$

Portanto, o pico da vazão da área de 4000m^2 para $T_r=10\text{anos}$ é de 130 litros/segundo.

Vazão para melhoria da qualidade das águas pluviais referente ao *first flush*

A vazão que irá para a caixa será somente aquela referente ao volume WQv.

A= 0,4ha

Intensidade da chuva áreas $A \leq 2$ ha para a RMSP.

$$I = 45,13 \times C + 0,98 = 45,13 \times 0,95 + 0,98 = 44\text{mm/h}$$

Fórmula Racional

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360 = 0,95 \times 44 \times 0,4 / 360 = 0,050\text{m}^3/\text{s} = 50\text{litros/segundo}$$

Portanto, a vazão que irá para a caixa de captação de óleo será de 50litros/segundo o restante 135-50= 85 litros/segundo irá para o sistema de galeria existente ou para o córrego mais próximo.

Velocidade ascensional e horizontal

Adotamos velocidade ascensional $v_t=0,002\text{m/s}$ e velocidade horizontal $V_h=0,015\text{m/s}$

Área da seção transversal A_c

$$Q = 0,050\text{m}^3/\text{s}$$

$$A_c = Q / 0,015 = 0,05 / 0,015 = 3,4\text{m}^2$$

Altura d da lâmina de água na caixa

$$d = (r \times A_c)^{0,5}$$

$$r = 0,5 \text{ (adotado)}$$

$$d = (0,5 \times 3,4)^{0,5} = 1,30\text{m.}$$

Comprimento L_s da câmara de separação de óleo propriamente dita

$$L_s = 10,5 \times d = 10,5 \times 1,30\text{m} = 13,65\text{m}$$

Largura W da caixa

$$W = d / 0,5 = 1,30 / 0,5 = 2,60\text{m} > 1,20\text{m mínimo adotado}$$

Câmara de sedimentação

Taxa normalmente adotada para sedimentação = $20\text{m}^2/\text{ha} \times 0,4\text{ha} = 8\text{m}^2$

$L_a = \text{Área da câmara sedimentação} / \text{largura} = 8,0 / 2,60 = 3,10\text{m} > 2,40\text{m OK.}$

Câmara de regularização

Adotado comprimento $L_f = 1,20\text{m}$ conforme FHWA

Comprimento total das três câmaras

$$L = L_a + L_s + L_f = 3,10 + 13,65 + 1,20 = 17,95\text{m}$$

Altura $d = 1,80$ para manutenção. Largura $W = 3,00\text{m}$. Comprimento total = 17,95m

Conferência:

$$V_h = Q / d \times W = 0,050 / (1,3 \times 2,6) = 0,0148\text{m/s} < 0,015\text{m/s OK}$$

Tempo de residência

A área da seção transversal tem 3,00m de largura por 1,30m de altura.

$$S = 2,60 \times 1,30 = 3,38\text{m}^2$$

$$Q = S \times V$$

$$V = Q / S = 0,050\text{m}^3/\text{s} / 3,38\text{m}^2 = 0,01\text{m}/\text{s}$$

Mas tempo = comprimento / velocidade = 17,95m / 0,0148m/s = 1213s = **20,2min > 20min OK.**

14.17 Modelo de Auckland

Vamos apresentar o modelo de Auckland que é muito prático e eficiente para dimensionar caixa API.

Área da projeção da caixa

A área da caixa onde será flotado o óleo é:

$$A_d = (F \times Q_d) / V_t$$

Sendo:

A_d = área da caixa onde será flotado (m^2). Nota: não inclui a primeira câmara de sedimentação e nem a última câmara de equalização.

F = fator de turbulência (adimensional)

Q_d = vazão de pico (m^3/h)

V_t = velocidade ascensional (m/h) que depende do diâmetro do glóbulo e da densidade específica.

O fator de turbulência F é dado pela Tabela (14.6).

Tabela 14.6- Fator de turbulência conforme V_h/V_T conforme Auckland, 2002

V_h/V_t	Fator de turbulência F
15	1,64
10	1,52
6	1,37
3	1,28

Segundo Auckland, 2002 devemos adotar certos critérios que são:

- $V_h \leq 15 \cdot V_T$
- $V_h < 25\text{m}/\text{h}$
- d = profundidade (m)
- $0,3W < d \leq 0,5W$ (normalmente $d=0,5W$)
- $0,75 < d < 2,5\text{m}$
- W = largura da caixa (m)
- $1,5\text{m} < W < 5\text{m}$

As restrições como a profundidade mínima de 0,75m é importante, assim como manter sempre $V_h < 15V_t$.

Exemplo 14.13- Adaptado de Auckland

Dimensionar para um posto de gasolina com área de 300m^2 uma caixa API para captar os óleos e graxas provenientes das precipitações no pátio.

Auckland adota para o first flush com Intensidade de chuva $I=15\text{mm}/\text{h}$

$$Q = CIA/360$$

$$A = 300/10000 = 0,03\text{ha}$$

$$I = 15\text{mm}/\text{h}$$

$$C = 1$$

$$Q = CIA/360 = 1,0 \times 15\text{mm}/\text{h} \times 0,03\text{ha} / 360 = 0,00125\text{m}^3/\text{s} = 4,5\text{m}^3/\text{h}$$

A velocidade ascensional para glóbulo de $60\mu\text{m}$ é $V_t = 0,62\text{m}/\text{h}$.

A velocidade horizontal V_h deve ser:

$$V_h = 15 \times V_t = 15 \times 0,62 \text{ m/h} = 9,3 \text{ m/h}$$

A área da seção transversal será:

$$Q_d / V_h = 4,5 \text{ m}^3/\text{h} / 9,3 \text{ m/h} = 0,48 \text{ m}^2$$

Portanto, a área da seção transversal deverá ter uma área de $0,48 \text{ m}^2$, o que daria uma seção muito pequena e então vamos escolher as dimensões mínimas que são: largura $W=1,50 \text{ m}$ e profundidade $d=0,75 \text{ m}$ resultando a seção transversal: $0,75 \times 1,50 = 1,125 \text{ m}^2$

$$V_h \times A = Q_d$$

$$V_h = Q_d / A = 4,5 \text{ m}^3/\text{h} / 1,125 \text{ m}^2 = 4 \text{ m/h}$$

Vamos achar o fator de turbulência F , mas precisamos da relação V_h/V_t

$$V_h/V_t = 4 \text{ m/h} / 0,62 \text{ m/h} = 6,45$$

Entrando na Tabela (14.6) estimamos $F=1,40$

A área superficial da câmara do meio destinada a flotação do óleo:

$$A_d = F \times Q_d / V_t$$

$$A_d = 1,40 \times 4,5 \text{ m}^3/\text{h} / 0,62 \text{ m/h}$$

$$A_d = 10,2 \text{ m}^2$$

Portanto, a área para a flotação do óleo terá $10,2 \text{ m}^2$. Considerando uma largura de $1,50 \text{ m}$ teremos:

$$10,2 \text{ m}^2 / 1,50 \text{ m} = 6,80 \text{ m}$$

Comprimento de $6,80 \text{ m}$

Para a primeira câmara de sedimentação é usual tomarmos comprimento igual a $L/3$ e para o tanque de equalização $L/4$

Assim teremos:

$$\text{Primeira câmara (sedimentação)} = L/3 = 6,80 \text{ m} / 3 = 2,27 \text{ m}$$

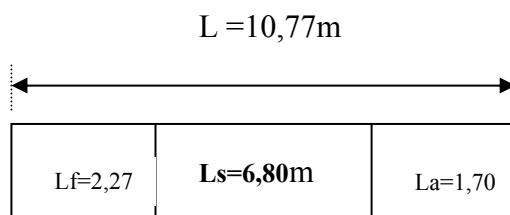
$$\text{Segunda câmara (flotação do óleo)} = L = 6,80 \text{ m}$$

$$\text{Terceira câmara} = L/4 = 6,80 \text{ m} / 4 = 1,70 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento total} = 10,77 \text{ m}$$

$$\text{Profundidade adotada} = d = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = W = 1,50 \text{ m}$$



Profundidade $= d = 0,75$ e largura $= 1,50 \text{ m}$

Placas coalescentes

Caso queiramos usar placas coalescentes verticais teremos:

$$A_h = Q_d / V_t$$

Sendo:

A_h = área mínima horizontal das placas (m^2)

V_t = velocidade ascensional (m/h)

$$A_h = 4,5 \text{ m}^3/\text{h} / 0,62 \text{ m/h} = 7,26 \text{ m}^2$$

Considerando placa com $0,75 \text{ m} \times 1,50 \text{ m}$ temos:

$$7,26 / (0,75 \times 1,50) = 7 \text{ placas}$$

Espessura estimada da placa = 1 cm

Espaçamento entre as placas = 2 cm

Folga: 15 cm antes e depois

Distância= $15+7 \times 2 + 7+15= 51\text{cm}$

Área = $0,51\text{m} \times 1,50=0,77\text{m}^2$ que é bem menor que os $10,2\text{m}^2$ obtidos no filtro API gravimétrico.

$$Aa= Ah/ \cos (\theta)$$

Sendo:

A área da placa (m^2)

Ah= área mínima horizontal (m^2)

θ =ângulo de inclinação da placa com a horizontal

$\theta=60^\circ$

$$Aa= 7,62\text{m}^2/ \cos (60)= 7,62/0,50=15,24\text{m}^2$$

Exemplo 14.14- Dados do Brasil

Dimensionar para um posto de gasolina com área de 300m^2 uma caixa API para captar os óleos e graxas provenientes das precipitações no pátio com glóbulo de $60\mu\text{m}$ usando first flush $P=25\text{mm}$.

Coefficiente volumétrico R_v

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

Supomos $C= R_v$

$$C= 0,05 + 0,009 \times 10 = 0,95$$

Adotando first flush $P=25\text{mm}$

$$WQ_v= (P/1000) R_v \times A= (25/1000) \times 0,95 \times 300\text{m}^2=7,13\text{m}^3$$

Relativamente ao first flush queremos que as primeiras águas, ou seja $P=25\text{mm}$ chegue a caixa de captação de óleos graxas. O restante da água pode passar por cima da mesma e ir para a rua. Detemos somente o denominado first flush.

Intensidade da chuva correspondente ao volume WQ_v em mm/h .

$$Q_d= 0,1 \times WQ_v/ (5\text{min} \times 60\text{s})= 0,1 \times 7,13\text{m}^3/ 300\text{s}= 0,00238\text{m}^3/\text{s}=8,6\text{m}^3/\text{h}$$

$$A= 300/10000=0,03\text{ha}$$

$$I=8,8\text{mm}/\text{h}$$

$$C=0,95$$

Portanto, a vazão de pico que vai para o first flush é $8,6\text{m}^3/\text{h}$.

A velocidade ascensional para glóbulo de $60\mu\text{m}$ é $V_t= 0,71\text{m}/\text{h}$.

A velocidade horizontal V_h deve ser:

$$V_h= 15 \times V_t= 15 \times 0,71\text{m}/\text{h}=10,7\text{m}/\text{h}$$

A área da seção transversal será:

$$Q_d/V_h= 8,6\text{m}^3/\text{h} / 10,7\text{m}/\text{h}=0,80\text{m}^2$$

Portanto, a área da seção transversal deverá ter uma área de $0,80\text{m}^2$, o que daria uma seção muito pequena e adotaremos as dimensões mínimas:

largura $W=1,50\text{m}$

profundidade $d=0,75\text{m}$ resultando a

$$\text{seção transversal: } W \times d= 1,50\text{m} \times 0,75\text{m}=1,125\text{m}^2= A$$

$$V_h \times A= Q_d$$

$$V_h= Q_d/ A= 8,6\text{m}^3/\text{h}/ 1,125\text{m}^2=7,6\text{m}/\text{h}$$

Vamos achar o fator de turbulência F , mas precisamos da relação V_h/V_t

$$V_h/V_t= 7,6\text{m}/\text{h}/ 0,71\text{m}/\text{h}= 10,7$$

Entrando na Tabela (14.6) estimamos $F=1,52$

A área superficial da câmara do meio destinada a flotação do óleo:

$$A_d= F \times Q_d/ V_t$$

$$A_d= 1,52 \times 8,6\text{m}^3/\text{h}/ 0,71\text{m}/\text{h}= 18,41\text{m}^2$$

Portanto, a área para a flotação do óleo terá $18,41\text{m}^2$. Considerando uma largura de $1,50\text{m}$ teremos:

$$18,41\text{m}^2 / 1,50\text{m} = 12,27\text{m}.$$

Portanto, o comprimento de $12,27\text{m}$

Para a primeira câmara de sedimentação é usual tomarmos comprimento igual a $L/3$ e para o tanque de equalização $L/4$

Assim teremos:

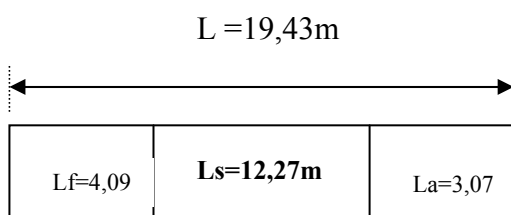
$$\text{Primeira câmara (sedimentação)} = L/3 = 12,27\text{m}/3 = 4,09\text{m}$$

$$\text{Segunda câmara (flotação do óleo)} = L = 12,27\text{m}$$

$$\text{Terceira câmara} = L/4 = 12,27/4 = 3,07\text{m}$$

$$\text{Comprimento total} = 19,43\text{m}$$

$$\text{Profundidade adotada} = 0,75\text{m}$$



$$\text{Profundidade} = d = 0,75 \text{ e largura} = 1,50\text{m}$$

Conferência:

O volume $WQv = 7,13\text{m}^3$ deverá ser menor que o volume da 1ª câmara e da segunda câmara:

$$\text{Volume } 1^{\text{a}} \text{ e } 2^{\text{a}} \text{ câmara} = (4,09 + 12,27) \times 1,50 \times 0,75 = 18,4\text{m}^3 > 7,13\text{m}^3 \text{ OK.}$$

Conclusão:

Como podemos ver o uso de captação de óleo com o método gravimétrico da API resulta em caixas muito grandes e daí se usar caixas com placas coalescentes. Salientamos ainda que as caixas API são geralmente usadas para glóbulos de $150\mu\text{m}$ e não de $60\mu\text{m}$.

Exemplo 14.15

Dimensionar para um posto de gasolina com área de 300m^2 uma caixa API para captar os óleos e graxas provenientes das precipitações no pátio usando glóbulos de $150\mu\text{m}$ e first flush $P=25\text{mm}$.

Coefficiente volumétrico Rv

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

Supomos $C = Rv$

$$C = 0,05 + 0,009 \times 10 = 0,95$$

$$WQv = (P/1000) \times Rv \times A = (25/1000) \times 0,95 \times 300\text{m}^2 = 7,13\text{m}^3$$

A vazão que chega à caixa de detenção pode ser dimensionado como a vazão que chega ao pré-tratamento usando o tempo de permanência mínimo de 5min e então teremos:

$$Qo = 0,1 \times WQv / (5\text{min} \times 60)$$

$$Qo = 0,1 \times 7,13\text{m}^3 / (5\text{min} \times 60) = 0,00238\text{m}^3/\text{s} = 8,6\text{m}^3/\text{h}$$

A velocidade ascensional para glóbulo de $150\mu\text{m}$ é $Vt = 3,6\text{m}/\text{h}$.

A velocidade horizontal Vh deve ser:

$$Vh = 15 \times Vt = 15 \times 3,6\text{m}/\text{h} = 54\text{m}/\text{h}$$

A área superficial da câmara do meio destinada a flotação do óleo:

$$Ad = F \times Qd / Vt$$

$$Vh / Vt = 54\text{m/h} / 3,6\text{m/h} = 15$$

Entrando na Tabela (14.6) achamos $F=1,37$

$$Ad = F \times Qd / Vt$$

$$Ad = 1,37 \times 8,6\text{m}^3/\text{h} / 3,6\text{m/h} = 3,27\text{m}^2$$

Portanto, a área para a flotação do óleo terá $3,27\text{m}^2$. Considerando uma largura de 1,50m teremos:

$$3,27\text{m}^2 / 1,50\text{m} = 2,18\text{m}$$

Portanto, o comprimento de 2,18m

Para a primeira câmara de sedimentação é usual tomarmos comprimento igual a $L/3$ e para o tanque de equalização $L/4$

Assim teremos:

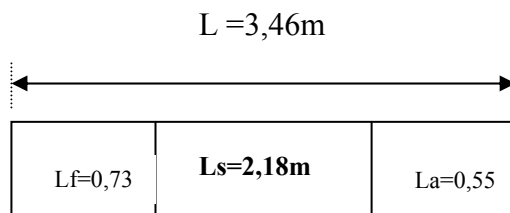
$$\text{Primeira câmara (sedimentação)} = L/3 = 2,18\text{m}/3 = 0,73\text{m}$$

$$\text{Segunda câmara (flotação do óleo)} = L = 2,18\text{m}$$

$$\text{Terceira câmara} = L/4 = 2,18\text{m}/4 = 0,55\text{m}$$

$$\text{Comprimento total} = 3,46\text{m}$$

$$\text{Profundidade adotada} = 0,75\text{m}$$



Profundidade= $d=0,75$ e largura = 1,50m

14.18 Caixa de retenção coalescente com placas paralelas

As equações para a caixa de retenção coalescente com placas paralelas são várias e todas provem da aplicação da Lei de Stokes conforme já visto na caixa de retenção óleo/água da API. Para efeito de aplicação dos princípios de Hazen são usadas somente as projeções das placas.

Geralmente este tipo de caixa é para glóbulos acima de 40 ou 60 μm .

Para lançamento em cursos de água o ideal é que as placas consigam que o efluente tenha no máximo 20mg/L de óleo e para isto necessitamos de glóbulos maiores ou iguais a 60 μm . Usando glóbulos até 20 μm poderemos ter efluente com máximo de 10mg/L.

Os glóbulos de óleo se movem entre as placas de plásticos ou polipropileno e vão aumentando em tamanho e vão indo para a superfície. Podem ser mais barato que as caixas de retenção tipo API.

Os glóbulos vão se formando e vão subindo numa posição cruzada com o escoamento seguindo as placas.

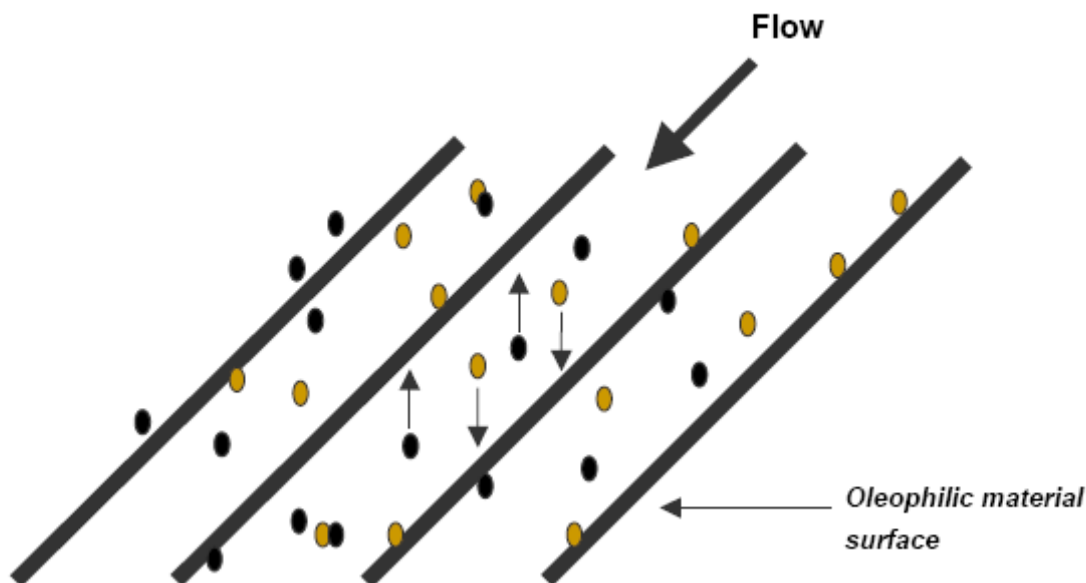


Figura 14.1- Placa coalescentes

Quando prevemos uma grande quantidade de sólidos as placas são instaladas a 60° com a horizontal para evitar o entupimento. Havendo manutenção adequada das placas coalescentes paralelas não haverá entupimento das mesmas.

As placas são ajuntadas em pacotes e podem entupir motivo pelo qual tem que ser estabelecido um intervalo de aproximadamente 6 meses para a limpeza com jatos de água através de mangueiras.

Para o trabalho perfeito das placas coalescente é necessário o regime laminar para escoamento.

Os separadores coalescentes usam meio hidrofóbico (repele a água) ou oleofílico (adora óleo), isto é, meio que repelem a água e atraem o óleo. O óleo pode ser retirado por processo manual ou automático e pode ser recuperado e usado para outros fins.

Os efluentes das caixas separadoras com placas paralelas indicam retiradas de até 60% do óleo em comparação com o sistema convencional API.

Dependendo da temperatura do líquido que vai ser detido o óleo usa-se o material adequado. Assim podem ser usados PVC (60°C), PVC para alta temperatura (66°C), Polipropileno (85°C) e aço inoxidável (85°C).

As caixas coalescentes com placas paralelas da mesma maneira que as caixas API possuem três câmaras:

- ***Câmara de sedimentação;***
- ***Câmara onde estão as placas paralelas e***
- ***Câmara de descarga,***

A ***câmara de sedimentação*** deve ter:

- Área superficial de no mínimo 20m²/ha de área impermeável;
- Comprimento deve ser maior ou igual a L/3
- O comprimento recomendado é L/2 (recomendado).

A ***câmara de descarga*** deve ter:

- Comprimento mínimo de 2,40m.

- Comprimento deve ser maior que L/4 (recomendado).

A **câmara onde estão as placas paralelas** deve ter as seguintes características:

- Confirmar com o fabricante as dimensões para não se ter dúvidas;
- A distância entre uma placa e outra varia de 2cm a 4cm.
- Deverá haver folga de 0,15m antes e depois do pacote de placas paralelas.

As placas paralelas estão inclinadas de 45° a 60° e espaçadas uma das outras de ½” pois possuem corrugações. As placas são instaladas em blocos. São feitas de aço, fibra de vidro ou polipropileno.

Deve haver um espaço mínimo externo de 8m x 5m para a retirada das placas manualmente ou através de equipamentos.

Para $D=0,006\text{cm}$ ($60\mu\text{m}$)

$$V_t = 0,0020 \times [(S_w - S_o) / \mu] \quad (\text{cm/s})$$

A área mínima horizontal, nos separadores coalescente é dada pela Equação:

$$A_h = Q / V_t$$

Sendo:

A_h = área horizontal (m^2)

Q = vazão (m^3/s)

V_t = velocidade ascensional final da partícula de óleo (cm/s)

A velocidade ascensional sendo a gravidade específica das águas pluviais $S_w = 0,998$ e do óleo $S_o = 0,85$ e viscosidade dinâmica de 0,01poise (20° C) para glóbulo de óleo com diâmetro de $60\mu\text{m}$.

$$V_t = 0,002 \times [(S_w - S_o) / \mu]$$

$$V_t = 0,002 \times [(0,998 - 0,85) / 0,01] = 0,0296 \text{ cm/s} = 0,000296 \text{ m/s} = 1,07 \text{ mh}$$

$$A_h = Q / V_t$$

$$A_h = Q / 0,0003 = 3378Q$$

Área de uma placa

$$A_a = A_h / \cos(\theta)$$

Sendo:

A_a = área de uma placa (m^2)

θ = ângulo da placa com a horizontal. Varia de 45° a 60°.

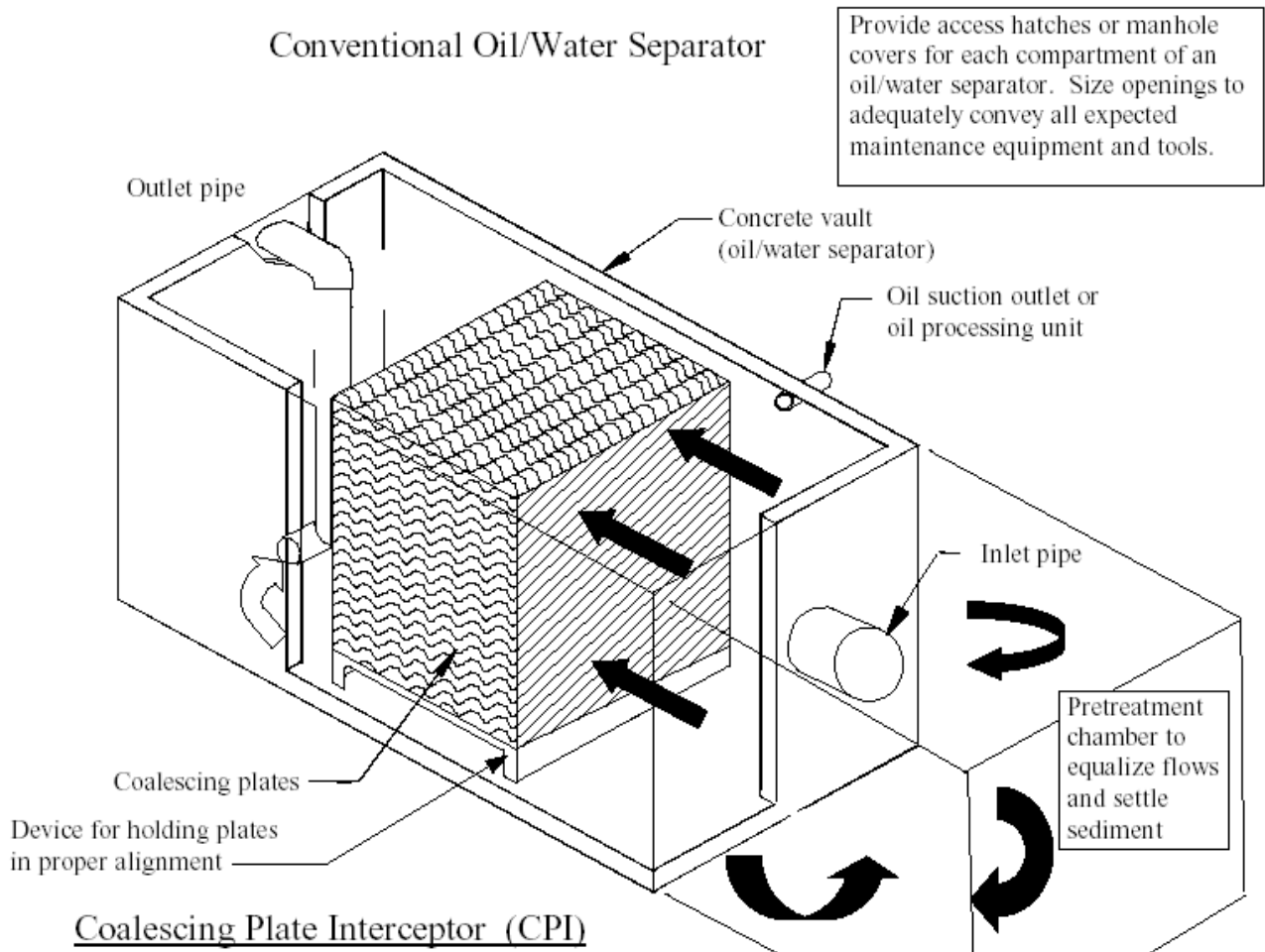


Figura 14.15- Exemplo de placas paralelas por gravidade.
Fonte : Tennessee Manual BMP Stormwater Treatment, 2002

Notar na Figura (14.12) que existem as três câmaras, sendo a primeira de sedimentação, a segunda onde estão as placas coalescentes e a terceira câmara de regularização ou regularização da vazão. As placas coalescentes ocuparão menos espaços e, portanto a caixa será menor que aquela das normas API.

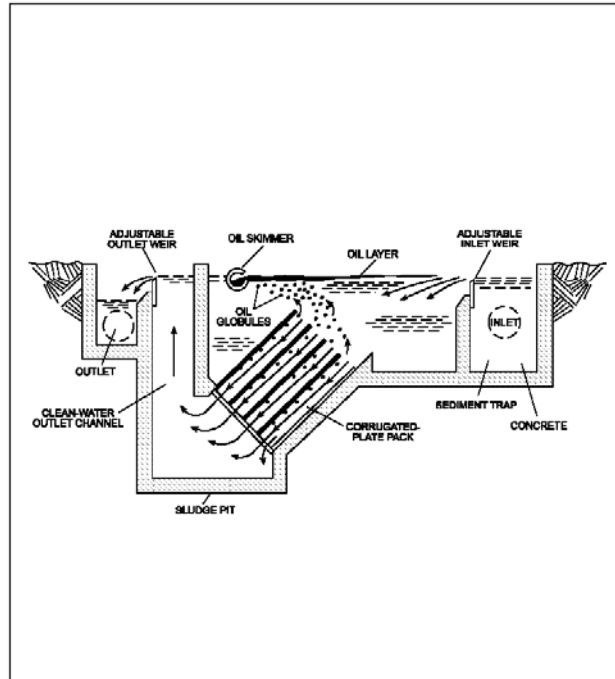


Figura 14.16- Esquema da caixa separadora coalescente com placas separadoras

Fonte: Unified Facilities Criteria UF, US Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency. 10 July 2001 UFC-3-240-03 <http://chppm-www.apgea.army.mil/USACHPPM%20Technical%20Guide%20276.htm>. Acessado em 12 de novembro de 2005.

Notar na Figura (14.16) que as placas coalescentes fazem com que os glóbulos de óleo se acumulem e subam para serem recolhidos.

Quando se espera muitos sedimentos para evitar entupimentos devem-se usar placas com ângulo de 60 °.

Exemplo 14.16

Calcular separador com placas coalescentes para vazão de 0,0035m³/s

$$Ah = 3378 \times Q = 3378 \times 0,0035 = 11,82\text{m}^2$$

$$Aa = Ah / \cos(\theta)$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$Aa = Ah / \cos(\theta) = 11,82\text{m}^2 / 0,707 = 16,72\text{m}^2$$

Portanto, serão necessário 38,2m² de placas coalescentes, devendo ser consultado o fabricante a decisão final.

14.19 Fabricantes no Brasil de caixas com placas coalescentes

No Brasil existe firmas que fazem caixas separadora de óleo para vazão até 40m³/h com **tempo mínimo de residência de 20 minutos**, para densidade de hidrocarboneto $\leq 0,90\text{g/cm}^3$ e performance de 10mg/L para partículas $\geq 40\mu\text{m}$ ou mais fabricado pela *Clean Environment* Brasil (www.clean.com.br).

SEPARADOR COM SKIMMER



Figura 14.17 – Caixa separadora de óleo fabricado http://www.capeonline.com.br/com_sep.htm. Acesso em 17 de julho de 2008 de 10m³/h a 40m³/h com teor máximo de saída de óleo de 20mg/L.



Figura 14.18- Caixa separadora de óleo com placas coalescentes http://www.controleambiental.com.br/sasc_cob_pista2.htm. Acesso em 12 de novembro de 2005.

14.20 Flotação

Iremos reproduzir aula que tive em 1994 com o engenheiro químico Danilo de Azevedo em curso sobre “Efluentes Líquidos Industriais”.

Flotação é um processo para separar sólidos de baixa densidade ou partículas líquidas de uma fase líquida.

A separação é realizada pela introdução de gás (ar) na forma de bolhas na fase líquida.

A fase líquida é pressurizada em uma pressão de 2atm a 4atm, na presença de suficiente ar para promover a saturação da água. Nesse momento o líquido saturado com o ar é despressurizado até a pressão atmosférica por passagem através de uma válvula de redução.

Pequenas bolhas são liberadas na solução devido a despressurização.

Sólidos em suspensão ou partículas líquidas, por exemplo, óleo, tornam-se flutuantes devido à pequenas bolhas, elevando-se até a superfície do tanque.

Os sólidos em suspensão são retirados.

O líquido clarificado é removido próximo ao fundo e parte é reciclado.

Empregam-se em:

- Separação de graxas, óleos, fibras e outros sólidos de baixa densidade,
- Adensamento de lodo no processo de lodos ativados;
- Adensamento de lodos químicos resultantes de tratamento por coagulação.

Componentes básicos:

- Bomba de pressurização
- Injetores de ar
- Tanque de retenção
- Válvula de redução de pressão
- Tanque de Flotação

Uma discussão mais detalhada sobre flotação poderá ser feita no livro “*Wastewater Engineering- Treatment disposal reuse*” de Metcalf & Eddy, 1991 da Editora McGraw-Hill e o livro “*Industrial Water Pollution Control*” de W. Wesley Eckenfelder, 1989.

14.21 Sistemas industriais americanos para separação de óleos e graxas

Nos Estados Unidos existem vários sistemas para melhoria da qualidade das águas pluviais inclusive com caixas separadoras de óleos e graxas e que são fabricadas pelas firmas abaixo relacionadas com o seu site onde poderão ser procuradas mais informações a respeito.

- **Stormceptor Corporation** www.stormceptor.com
- **Vortechncs Inc.** www.vortechncs.com
- **Highland Tank (CPI unit)** www.highlandtank.com
- **BaySaver, Inc.** www.baysaver.com
- **H. I. L. Downstream Defender Tecnology, Inc.** <http://www.hydro-international.biz/>

Cada fabricante tem o seu projeto específico sendo que é usado de modo geral o período de retorno $Tr=1$ ano ou $Tr=0,5$ ano (80% de $Tr=1$ ano) ou $Tr=0,25$ ano = 3 meses (62% de $Tr=1$ ano). As áreas são de modo geral pequenas e variam conforme o fabricante, devendo ser consultado a respeito.

Quanto a eficiência dos sistemas industriais americanos a melhor comprovação é aquelas feitas por universidades. Por exemplo, em dezembro de 2001 o departamento de engenharia civil da Universidade de Virginia fez testes de campos sobre a unidade industrial denominada *Stormvault*.

A grande vantagem destes sistemas industriais é que são compactos em relação aos sistemas convencionais.

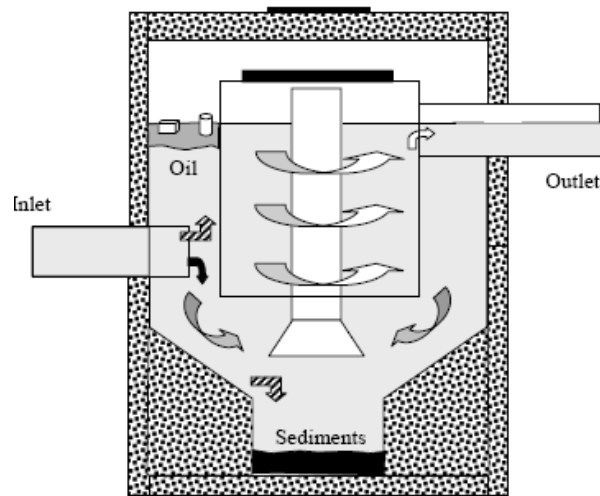


Figura 14.19 – Caixa separadora de óleo e graxa tipo poço de visita patente da firma *Downstream Defender*.

http://www.ci.knoxville.tn.us/engineering/bmp_manual/knoxvilleBMP.pdf. Acesso em 12 de novembro de 2005

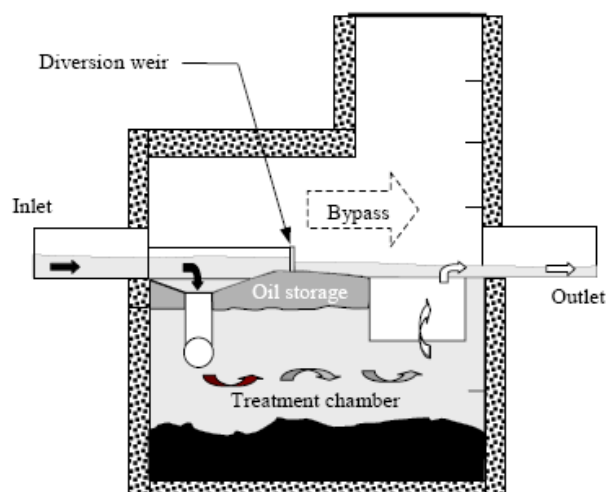


Figura 14.20 – Caixa separadora de óleo e graxa tipo poço de visita patente da firma *Stormceptor*.

http://www.ci.knoxville.tn.us/engineering/bmp_manual/knoxvilleBMP.pdf. Acesso em 12 de novembro de 2005



Figura 14.21- Instalação de *Baysaver*.

http://www.baysaver.com/newweb_cfmtest/sys_details_installation.cfm. Acesso em 12 de novembro de 2005.

14.22 Skimmer

O *skimmer* é feito para retirar o óleo.

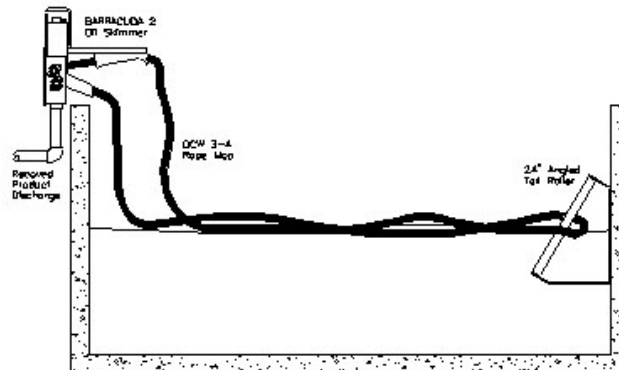


Figura 14.22- Sobre o líquido existe o recolhimento do óleo automático
http://www.ambarenvironmental.com/html/waste_water_plants.html#b2sump



Figura 14.23- Dispositivo que faz rodar a esteira para recolhimento do óleo
http://www.ambarenvironmental.com/html/waste_water_plants.html#b2sump

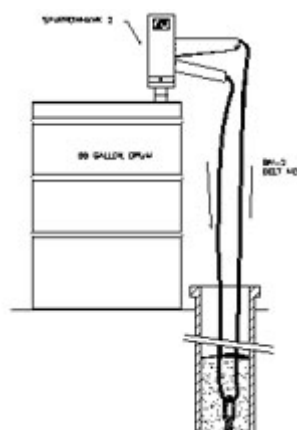


Figura 14.24- Dispositivo que faz rodar a esteira para recolhimento do óleo e o recolhimento.
http://www.ambarenvironmental.com/html/waste_water_plants.html#b2sump

14.23 Postos de Gasolina

O Semasa órgão encarregado do sistema de água potável, esgoto sanitário e águas pluviais de Santo André possui o Decreto 14555 de 22 de setembro de 2000 que trata dos postos de serviços que geram óleos e graxas. Cita que o lançamento de óleo e graxa mineral sendo que **o limite deve ser inferior a 20mg/L**

Nota: isto pode ser atingido com glóbulos de 60 μ m, mas a maioria dos fabricantes de caixas separadoras de óleos e graxas para postos de gasolina com placas coalescentes no Brasil retêm glóbulos igual ou maior que 40 μ m e a *performance* de óleo e graxa mineral é 10mg/L para densidade de hidrocarboneto de 0,90g/cm³, o que é excelente com vazões que atingem até 40m³/h.

É interessante examinarmos também a Conama **Resolução nº 273 de 29** de novembro de 2000 que trata das instalações de postos de gasolina.

14.24 Vazão que chega até o pré-tratamento

Uma das dificuldades que temos é calcular a vazão que chega à caixa de captação de óleos e sedimentos. Temos dois tipos de dimensionamento, sendo um quando trata-se de lavagem de veículos somente e neste caso precisamos da vazão de pico em m³/h. No outro caso trata-se das precipitações que será usada 90% da precipitação anual média, que é o *first flush*. Para a RMSP usaremos *first flush* P=25mm.

Vamos apresentar quatro métodos para estimar a vazão que chega até o pré-tratamento quando o mesmo está *off-line*.

Os métodos são:

- Método SCS TR-55 conforme equação de Pitt
- Método aproximado do volume dos 5min
- Método Santa Bárbara para P=25mm
- Método Racional até 2ha.

14.24.1 Vazão que chega até o pré-tratamento usando o Método TR-55 do SCS

O objetivo é o cálculo do número da curva CN dada a precipitação P e a chuva excedente Q.

De modo geral a obtenção de CN se deve a obras *off-line*. Obtemos o valor de CN e continuamos a fazer outros cálculos.

Os valores de P, Q, S estão milímetros.

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{válida quando } P > 0,2 S \quad \text{(Equação 14.1)}$$

$$\text{sendo } S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{(Equação 14.2)}$$

Dada as a Equação (25.3) e Equação (25.4). São dados os valores de Q e de P. Temos então duas equações onde precisamos eliminar o valor S, obtendo somente o que nos interessa, isto é, o valor do número da curva CN.

Pitt, 1994 in Estado da Geórgia, 2001 achou a seguinte equação utilizando NRCS TR-55,1986 adaptado para P e Q em milímetros.

$$CN = 1000 / [10 + 0,197.P + 0,394.Q - 10 (0,0016Q^2 + 0,0019 .Q.P)^{0,5}] \quad \text{Equação (14.3)}$$

Exemplo 14.17

Seja um reservatório de qualidade da água com $t_c=11\text{min}$, área impermeável de 70% e *first flush* $P=25\text{mm}$ e Área =2ha. Calcular a vazão separadora para melhoria de qualidade das águas pluviais WQ_v .

Coefficiente volumétrico R_v

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68 \text{ (adimensional)}$$

$$Q = P \cdot R_v = 25\text{mm} \times 0,68 = 17\text{mm}$$

Vamos calcular o número da curva CN usando a Equação de Pitt

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \cdot P + 0,394 \cdot Q - 10 (0,0016Q^2 + 0,0019 \cdot Q \cdot P)^{0,5}]$$

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \times 25 + 0,394 \times 17 - 10 (0,0016 \times 17^2 + 0,0019 \times 17 \times 25)^{0,5}]$$

$$CN = 96,6$$

Vamos calcular a vazão usando o método SCS – TR-55

$$S = 25400 / CN - 254 = 25400 / 96,6 - 254 = 9\text{mm}$$

Usa-se a simplificação de $Q=P \times R_v$, que produz o volume do reservatório para qualidade da água em mm.

$$Q = P \times R_v = 25\text{mm} \times 0,68 = 17\text{mm} = 1,7\text{cm} \text{ (notar que colocamos em cm)}$$

$$I_a = 0,2 S = 0,2 \times 9\text{mm} = 1,8\text{mm}$$

$$I_a/P = 1,8\text{mm}/25\text{mm} = 0,072 \text{ e portanto adotamos } I_a/P = 0,10$$

Escolhendo Chuva Tipo II para o Estado de São Paulo.

$$C_0 = 2,55323$$

$$C_1 = -0,6151$$

$$C_2 = -0,164$$

$t_c = 11\text{min} = 0,18\text{h}$ (tempo de concentração)

$$\log(Q_u) = C_0 + C_1 \log t_c + C_2 (\log t_c)^2 - 2,366$$

$$\log Q_u = 2,55323 - 0,6151 \log(0,18) - 0,164 [\log(0,18)]^2 - 2,366$$

$$\log Q_u = 0,55$$

$$Q_u = 3,58\text{m}^3/\text{s}/\text{cm}/\text{km}^2 \text{ (pico de descarga unitário)}$$

$$Q_p = Q_u \times A \times Q$$

$$A = 2\text{ha} = 0,02\text{km}^2$$

$$Q = 1,7\text{cm}$$

$$Q_p = Q_u \times A \times Q \times F_p = 3,58\text{m}^3/\text{s}/\text{cm}/\text{km}^2 \times 0,02\text{km}^2 \times 1,7\text{cm} = 0,12\text{m}^3/\text{s}$$

Portanto, o pico da descarga para o reservatório de qualidade de água, construído *off-line* é de $0,12\text{m}^3/\text{s}$.

Exemplo 14.18

Num estudo para achar o volume do reservatório para qualidade da água WQ_v é necessário calcular a vazão Q_w referente a aquele WQ_v . Seja uma área de 20ha, sendo 10ha de área impermeável. Considere que o *first flush* seja $P=25\text{mm}$.

$$\text{Porcentagem impermeabilizada} = (10\text{ha} / 20\text{ha}) \times 100 = 50\%$$

Coefficiente volumétrico R_v

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 50 = 0,50 \text{ (adimensional)}$$

$$Q = P \cdot R_v = 25\text{mm} \times 0,50 = 13\text{mm}$$

Vamos calcular o número da curva CN usando a equação de Pitt.

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \cdot P + 0,394 \cdot Q - 10 (0,0016Q^2 + 0,0019 \cdot Q \cdot P)^{0,5}]$$

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \times 25 + 0,394 \times 13 - 10 (0,0016 \times 13^2 + 0,0019 \times 13 \times 25)^{0,5}]$$

$$CN = 93,8$$

Portanto, o valor é $CN=93,8$.

Valores de CN em função da precipitação P usando a Equação de Pitt

Exemplo 14.19

Achar o número da curva CN para P=25mm e área impermeável de 70%.
 Entrando na Tabela (14.7) com P e AI achamos CN=96,6.

Tabela 14.7 – Valores de CN em função da precipitação P usando a Equação de Pitt

P	Área impermeável em porcentagem							
	10	20	30	40	50	60	70	80
13	90,6	92,9	94,4	95,7	96,7	97,5	98,2	98,8
14	90,0	92,3	94,0	95,4	96,4	97,3	98,1	98,7
15	89,3	91,8	93,6	95,0	96,2	97,1	97,9	98,6
16	88,7	91,3	93,2	94,7	95,9	96,9	97,8	98,5
17	88,1	90,9	92,9	94,4	95,7	96,7	97,6	98,4
18	87,5	90,4	92,5	94,1	95,4	96,6	97,5	98,4
19	86,8	89,9	92,1	93,8	95,2	96,4	97,4	98,3
20	86,2	89,4	91,7	93,5	95,0	96,2	97,2	98,2
21	85,7	88,9	91,3	93,2	94,7	96,0	97,1	98,1
22	85,1	88,5	90,9	92,9	94,5	95,8	97,0	98,0
23	84,5	88,0	90,6	92,6	94,2	95,6	96,8	97,9
24	83,9	87,6	90,2	92,3	94,0	95,5	96,7	97,8
25	83,4	87,1	89,8	92,0	93,8	95,3	96,6	97,7
26	82,8	86,7	89,5	91,7	93,5	95,1	96,4	97,6
27	82,3	86,2	89,1	91,4	93,3	94,9	96,3	97,6
28	81,8	85,8	88,8	91,1	93,1	94,7	96,2	97,5
29	81,2	85,3	88,4	90,8	92,8	94,6	96,1	97,4
30	80,7	84,9	88,0	90,5	92,6	94,4	95,9	97,3

Vamos explicar junto com um exemplo abaixo.

Exemplo 14.20

Seja bacia com $t_c=11$ min, área impermeável de 70% e *first flush* P=25mm e área =50ha.

Coefficiente volumétrico R_v

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68 \text{ (adimensional)}$$

$$Q = P \cdot R_v = 25\text{mm} \times 0,68 = 17\text{mm}$$

Vamos calcular o número da curva CN usando a Equação de Pitt.

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \cdot P + 0,3925 \cdot Q - 10 (0,0016Q^2 + 0,0019 \cdot Q \cdot P)^{0,5}]$$

$$CN = 1000 / [10 + 0,197 \times 25 + 0,394 \times 17 - 10 (0,0016 \times 17^2 + 0,0019 \times 17 \times 25)^{0,5}]$$

$$CN = 96,6$$

Vamos calcular a vazão usando SCS – TR-55

$$S = 25400 / CN - 254 = 25400 / 96,6 - 254 = 9\text{mm}$$

Usa-se a simplificação de $Q=P \times R_v$, que produz o volume do reservatório para qualidade da água em mm.

$$Q = P \times R_v = 25\text{mm} \times 0,68 = 17\text{mm} = 1,7\text{cm} \text{ (notar que colocamos em cm)}$$

$$I_a = 0,2 S = 0,2 \times 9\text{mm} = 1,8\text{mm}$$

$$I_a/P = 1,8\text{mm}/25\text{mm} = 0,072 \text{ e portanto adotamos } I_a/P = 0,10$$

Escolhendo Chuva Tipo II para a Região Metropolitana de São Paulo.

$$C_0 = 2,55323$$

$$C_1 = -0,6151$$

$$C_2 = -0,164$$

$$t_c = 11 \text{ min} = 0,18 \text{ h (tempo de concentração)}$$

$$\log(Q_u) = C_0 + C_1 \log t_c + C_2 (\log t_c)^2 - 2,366$$

$$\log Q_u = 2,55323 - 0,61512 \log(0,18) - 0,16403 [\log(0,18)]^2 - 2,366$$

$$\log(Q_u) = 0,5281$$

$$Q_u = 3,27 \text{ m}^3/\text{s/cm/km}^2 \text{ (pico de descarga unitário)}$$

$$Q_p = Q_u \times A \times Q$$

$$A = 50 \text{ ha} = 0,5 \text{ km}^2$$

$$F_p = 1,00$$

$$Q_p = Q_u \times A \times Q \times F_p = 3,37 \text{ m}^3/\text{s/cm/km}^2 \times 0,5 \text{ km}^2 \times 1,7 \text{ cm} \times 1,00 = \mathbf{2,87 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Portanto, o pico da descarga para o reservatório de qualidade de água, construído *off-line* é de $2,87 \text{ m}^3/\text{s}$.

14.24.2 Método usando o tempo de permanência 5min para calcular Q_o

Vamos mostrar com um exemplo.

Exemplo 14.21

Seja um reservatório de qualidade da água e *first flush* $P=25\text{mm}$, $AI=70$ e $A=50\text{ha}$.

Coefficiente volumétrico R_v

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68 \text{ (adimensional)}$$

$$WQV = (P/1000) \times R_v \times A = (25/1000) \times 0,68 \times 50 \text{ ha} \times 10000 \text{ m}^2 = 8500 \text{ m}^3$$

$$Q_o = 0,1 WQV / (5 \text{ min} \times 60 \text{ s}) = (0,1 \times 8500 \text{ m}^3) / (5 \times 60) = 850 \text{ m}^3 / 300 \text{ s} = \mathbf{2,83 \text{ m}^3/\text{s}}$$

14.24.3 Cálculo de Q_o usando o método Santa Bárbara

Vamos mostrar com um exemplo.

Exemplo 14.22

Seja uma bacia com *first flush* $P=25\text{mm}$, $AI=70$ e área = 50ha $t_c=11\text{min}$

Coefficiente volumétrico R_v

$$CN_p = 55 \text{ (área permeável)}$$

$$CN_i = 98 \text{ (área impermeável)}$$

$$CN_w = CN_p (1-f) + 98 \times f$$

$$f = 0,70 \text{ (fração impermeável)}$$

$$CN_w = 55 (1-0,70) + 98 \times 0,70 = 85,1$$

Usando o método Santa Bárbara para $P=25\text{mm}$, obtemos:

$$\mathbf{Q_o = 3,09 \text{ m}^3/\text{s}}$$

14.24.4 Vazão relativa ao volume WQ_v que chega até o pré-tratamento usando o Método Racional para áreas $\leq 2\text{ha}$.

Esta é uma estimativa que usa o método Racional e vale somente para áreas menores ou iguais a 2ha e para *first flush* $P=25\text{mm}$ para a RMSP.

Em uma determinada bacia o pré-tratamento pode ser construído *in line* ou *off line*, sendo que geralmente é construído *off line*.

$$\mathbf{Q_o = CIA/360}$$

Sendo:

$$Q_o = \text{vazão de pico que chega até o pré-tratamento (m}^3/\text{s)}$$

C = coeficiente de *runoff*.

$$R_v = C = \mathbf{0,05 + 0,009 \times AI}$$

AI = área impermeável (%)

I = intensidade da chuva (mm/h)

A = área da bacia (ha)

$$A \leq 2\text{ha}$$

$$I = 45,13 \times C + 0,98 \quad \text{Para } P=25\text{mm}$$

$$R^2 = 0,86$$

$$I = 9,09 \times C + 0,20 \quad \text{Para } P=13\text{mm}$$

$$R^2 = 0,86$$

Exemplo 14.23

Calcular o tamanho do reservatório destinado ao pré-tratamento de área com 2ha e AI=70%, sendo adotado o *first flush* P=25mm.

Coeficiente volumétrico Rv

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

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

Vazão de entrada

Uma BMP pode ser construída *in-line* ou *off-line*. Quando for construída *off-line* precisamos calcular a vazão que vai para a BMP.

Usando o método racional.

$$Q_o = CIA/360$$

Sendo:

Q_o = vazão de pico que chega até o pré-tratamento (m³/s)

C = coeficiente de *runoff*.

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

AI = área impermeável (%)

$$I = \text{intensidade da chuva (mm/h)} = 45,13 \times C + 0,98 = 45,13 \times 0,68 + 0,98 = 32\text{mm/h} \quad (\text{Para } P=25\text{mm})$$

A = área da bacia = 2ha

$$Q = CIA/360$$

$$Q = 0,68 \times 32\text{mm/h} \times 2\text{ha} / 360 = 0,12\text{m}^3/\text{s}$$

Portanto, a vazão de entrada é 0,12m³/s.

14.25 Pesquisas do US Army, 2000

O exército dos Estados Unidos fez pesquisas sobre separadores de óleo que passaremos a descrever.

As pesquisas foram feitas nas instalações do exército; nas lavagens de aviões, lavagens de equipamentos, nas áreas de manutenção e lavagem de veículos.

Os resultados estão sintetizados na Tabela (14.8) onde aparece a média em mg/L dos efluentes diversos de acordo com quatro parâmetros.

Tabela 14.8- Média dos influentes no exercito dos Estados Unidos no ano 2000

Parâmetro	Instalações	Lavagem de aviões	Áreas de manutenção	Áreas de equipamentos	Lavagem de veículos
Óleos e graxas	316	594	478	183	58
TSS	1061	625	1272	1856	611
VSS	277	408	416	239	77
COD	2232	8478	1841	692	99

Sendo:

Óleos e graxas: quantidade de média de óleos e graxas do influente (mg/L)

TSS= sólidos totais em suspensão (mg/L)

VSS= sólidos suspensos voláteis (mg/L)

COD= demanda de química de oxigênio (mg/L)

O influente médio de óleo e graxas varia de 58mg/L a 594 mg/L enquanto que o pico varia de 209mg/L a 1584mg/L. O sólido total em suspensão TSS tem valores médios de 210mg/L a 1272mg/L variando os picos de 1386mg/L a 6502mg/L.

O objetivo dos separadores de óleo e graxas do exército americano é que o efluente tenha no máximo 100mg/L de óleos e graxas o que é alcançado usando-se as caixas separadoras de óleo.

A solução atual mais usada no exército americano são as placas coalescentes de polietileno, instalada a 60° do piso, espaçadas de 19,05mm e com área de superfície de 0,32 gpm/ft² (0,26 L/s x m²). Geralmente o glóbulo de óleo adotado é de 60µm.

Para o exército americano o efluente tem como objetivo de ser de 100mg/L antes de ser lançado nos cursos de água.

32.26 Princípios de Allen Hazen sobre sedimentação

Em 1904 Allen Hazen estabeleceu os princípios da sedimentação em um tanque que varia diretamente com a vazão de escoamento dividido pela área da placa plana do mesmo.

Este princípio não se aplica somente à sedimentação, mas também a processos de separação por gravidade de todos os líquidos, incluindo a separação água-óleo.

Vamos detalhar as *Guidelines for Design, Instalation and Operation of Oil-Water Separators for surface runoff treatment de Oldcastle Precast, 1996.*

Movimento uniformemente distribuído: laminar

Quando o movimento do fluido é laminar e uniformemente distribuindo na secção longitudinal da câmara, a velocidade ascensional V_t é o quociente da vazão pela área horizontal.

$$V_t = Q/A_H$$

Sendo:

V_t =velocidade ascensional (m/h) obtida pela aplicação da Lei de Stokes.

Q = vazão de pico (m³/h)

A_H = área plana (m²)

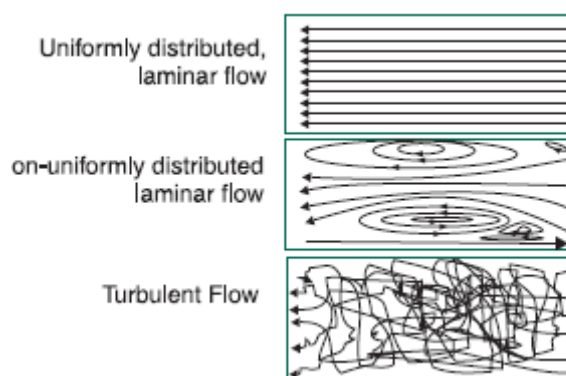


Figura 14.25- Movimento laminar, e movimento turbulento

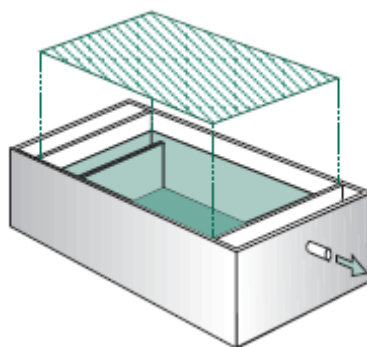


Figura 14.26- Área plana usada por Allen Hazen

Outros regimes de escoamento

O escoamento raramente é uniformemente distribuído e laminar. Em muitos casos as altas vazões, causam turbulências nas beiradas, isto é, perto da entrada, perto da saída e nas imediações do fundo da câmara.

Portanto, haverá uma perda de eficiência no processo de separação por gravidade e devido a isto, foi introduzido o fator F de turbulência pela *American Petroleum Institute –API* conforme *Publication 421- Design and Operation of Oil Separators*, 1990, que recomenda valores de F entre 1,2 a 1,75.

$$A_H = F \times Q / V_t$$

O valor de F não pode ser menor que 1 porque a performance não pode ser maior que os princípios de Hazen.

Muitos separadores por placas coalescentes possuem uma ótima *performance* perto do ideal e em algumas vezes é admitido $F=1$ ou omitido intencionalmente o valor de F, baseado no regime de escoamento que é essencialmente uniforme e radial.

O princípio de Hazen foi validado experimentalmente

A velocidade ascensional V_t para separador água-óleo pode ser achada pela Lei de Stokes.

Lembramos também que além da componente de velocidade vertical V_t , existe a velocidade horizontal V_H .

Portanto, os glóbulos de óleo podem se elevar em varias situações até atingir a superfície. O glóbulo pode estar em situação que demorará mais tempo para subir e o tempo em que todos os glóbulos de óleo irão subir é denominado de “**ts**”, isto é, **tempo de separação**.

Definimos por outro lado, o valor “**tr**” como o tempo em que água leva para percorrer a câmara que é chamado de **tempo de residência**.

O tempo de separação t_s deve ser menor ou igual ao tempo de residência t_r .

$$t_s \leq t_r$$

O tempo de separação t_s pode ser obtido por:

$$t_s = d / V_t$$

Sendo:

t_s = tempo de separação (h)

d = altura da câmara (m)

V_t = velocidade ascensional (m/h)

O tempo de residência t_r pode ser obtido por:

$$t_r = L / V_H$$

Sendo:

t_r = tempo de residência (h)

L = comprimento da câmara (m)

V_H = velocidade horizontal (m/h)

Como $t_s \leq t_r$ podemos fazer:

$$d/Vt \leq L/V_H$$

Fazendo um rearranjo podemos obter:

$$V_H \times d / L \leq Vt$$

Aplicando a equação da continuidade temos:

$$Q = V_H \times A_v$$

$$A_v = B \times d$$

Sendo:

Q= vazão de pico (m³/h)

V_H= vazão horizontal (m³/h)

A_v= área da seção transversal (m²)

d= altura da câmara (m)

B= largura da câmara (m)

Teremos:

$$V_H = Q / A_v = Q / (B \times d)$$

Mas:

$$V_H \times d / L \leq Vt$$

Substituindo V_H temos:

$$Q \times d / (L \times B \times d) \leq Vt$$

Notar que o valor de “d” aparece no numerado e no denominador podendo portanto ser cancelado, o que mostra que a altura da câmara não influencia na performance do separador água-óleo.

Portanto fica:

$$Q / A_H \leq Vt$$

Portanto, fica válido o principio de Hazen:

$$A_H = Q / Vt$$

É importante salientar que a área A_H pode ser área plana de uma câmara API ou área plana em projeção de uma placa coalescente instalada a 45° a 60°.

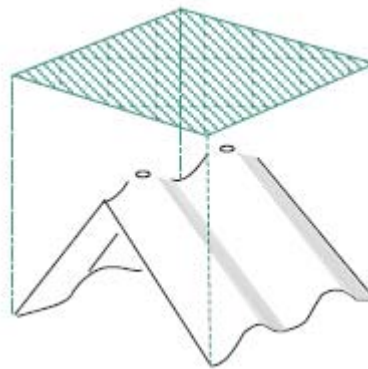


Figura 14.27- Projeção da placa coalescente. Só vale a área plana para o dimensionamento.

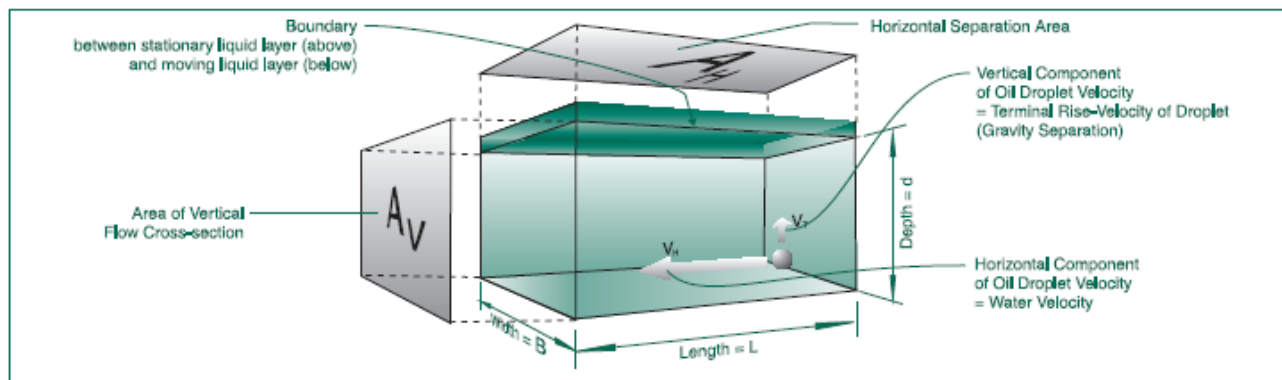


Figura 14.28- Notar a área planta A_H e a área da seção transversal A_V bem como as partículas V_t ascensional e V_H da velocidade horizontal numa caixa de profundidade d , largura B e comprimento L .

14.27 Lei de Stokes

Quando uma partícula sólida cai dentro de um líquido segue o que se chama da Lei de *Stokes*, que assume o seguinte:

- (1) as partículas não são influenciadas por outras partículas ou pela parede dos canais e reservatórios;
- (2) as partículas são esféricas.
- (3) a viscosidade da água e a gravidade específica do solo são exatamente conhecidas.

Mesmo não obedecendo as duas primeiras precisamente, é usado a Lei de Stokes, que também deve ser aplicada a esferas que tenham diâmetro entre 0,0002mm e 0,2mm (*McCuen*, 1998).

A velocidade (uniforme) da queda de esferas, ou seja, a velocidade de deposição (velocidade de queda) da *Lei de Stokes* é a seguinte:

$$V_s = [D^2 (\gamma_s - \gamma)] / 18 \cdot \mu \quad \text{(Equação 14.3)}$$

Sendo:

V_s = velocidade de deposição (m/s);

D = diâmetro equivalente da esfera (partícula) em metros

γ = peso específico da água a 20° C = 9792,34 N/m³ (*Lencastre*, 1983 p. 434)

γ_s / γ = 2,65 (densidade relativa do quartzo em relação a água)

γ_s = peso específico da partícula do sólido (quartzo) = 25949,701 N/m³

μ = viscosidade dinâmica da água a 20° C = 0,00101 N. s / m² (*Lencastre*, 1983)

ρ = massa específica a 20° C = 998,2 kg/m³ (*Lencastre*, 1983)

ν = viscosidade cinemática da água a 20° C = 0,00000101 m²/s (*Lencastre*, 1983)

Granulometria dos sedimentos

Na prática adotam-se os seguintes valores para os cursos de água naturais (*Lloret*, 1984):

γ_s = 2.650 kg/m³ (peso específico seco)

γ'_s = 1650 kg/m³ (peso específico submerso)

Para o reconhecimento do tamanho dos grãos de um solo, realiza-se a análise granulométrica, que consiste, em geral, de duas fases: peneiramento e sedimentação (*Souza Pinto*, 2000).

O peso do material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é considerado como a “porcentagem que passa” representado graficamente em função da abertura da peneira em escala logarítmica (*Souza Pinto*, 2000). A abertura nominal da peneira é considerada como o

“diâmetro” das partículas. Trata-se, evidentemente de um “diâmetro equivalente”, pois as partículas não são esféricas.

A análise por peneiramento tem como limitação a abertura da malha das peneiras, que não pode ser tão pequena quanto o diâmetro de interesse. A menor peneira costumeiramente empregada é a de n.º200, cuja abertura é de 0,075mm.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adota, para classificação das partículas, a Tabela (14.9).

Tabela 14.9- Limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela norma da ABNT
Matacão	de 25cm a 1m
Pedra	de 7,6cm a 25cm
Pedregulho	de 4,8mm a 7,6cm
Areia grossa	de 2mm a 4,8mm
Areia média	de 0,42mm a 2mm
Areia fina	de 0,05mm a 0,42mm
Silte	de 0,005mm a 0,05mm
Argila	inferior a 0,005mm

Fonte: Souza Pinto,2000 p. 4

Souza Pinto, 2000 diz que na prática, diferentemente da norma da ABNT, a separação entre areia e silte é tomada como 0,075mm, devido a peneira nº200, que é a mais fina usada em laboratórios.

Tabela 4.4 - Velocidade de sedimentação de partículas esféricas conforme Lei de Stokes.

Tipo de solo	Diâmetro partícula		Velocidade de sedimentação vs
	µm	(mm)	(m/s)
Argila	1	0,0010	0,0000009
	1,5	0,0015	0,0000020
	2	0,0020	0,0000036
Silte	3	0,0030	0,0000080
	4	0,0040	0,0000142
	5	0,0050	0,0000222
	6	0,0060	0,0000320
	7	0,0070	0,0000435
	8	0,0080	0,0000569
	9	0,0090	0,0000720
	10	0,0100	0,0000889
	12	0,0120	0,0001280
	15	0,0150	0,0002000
	20	0,0200	0,0003555
	25	0,0250	0,0005555
	30	0,0300	0,0007999
	40	0,0400	0,0014220
Areia	50	0,0500	0,0022219
	60	0,0600	0,0031995
	67	0,0670	0,004000
	80	0,0800	0,0056880
	100	0,1000	0,0088874

Fonte: Condado de Dane, USA, 2003. Temperatura a 20° C e partículas com 2,65