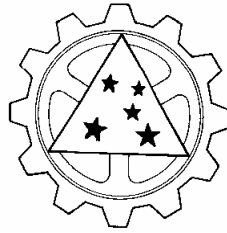


UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS



ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
UFG

APOSTILA DA DISCIPLINA - SATAE

SISTEMAS AVANÇADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO

TÓPICO : TRATAMENTO DE ÁGUA



Apostila elaborada por: Eng^o. Amb. Osmar Martins (Mestrando em Eng. do
Meio Ambiente pela UFG)

MAIO DE 2006

1. INTRODUÇÃO

Classicamente quando se define o tratamento de água descreve-se como uma seqüência de operações que conjuntamente consistem em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano. Nem toda água requer tratamento para abastecimento público. Depende da sua qualidade em comparação com os padrões de consumo e também da aceitação dos usuários.

Normalmente as águas de superfície são as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas e bacteriológicas impróprias, em virtude de sua exposição contínua a uma gama muito maior de processos de poluição.

Apenas na captação superficial de águas de nascentes, a simples proteção das cabeceiras e o emprego de um processo de desinfecção, podem garantir uma água de boa qualidade do ponto de vista de potabilidade. Também se pode comentar que águas de grandes rios, embora não satisfazendo pelo seu aspecto físico ou em suas características organolépticas, podem ser relativamente satisfatórias, sob os pontos de vista químico e bacteriológico, quando a captação localiza-se em pontos menos sujeitos à contaminação. O tratamento da água destinada ao consumo humano tem a finalidade básica de torná-la segura do ponto de vista de potabilidade, ou seja, tratamento da água tem a finalidade de eliminar as impurezas prejudiciais e nocivas à saúde.

Quanto mais poluído o manancial, mais complexo será o processo de tratamento e, portanto, mais cara será a água. Não é raro, porém, sistemas públicos de abastecimento que não requerem o tratamento das suas águas. São casos normalmente em que se aproveitam águas de bacias protegidas ou se abastecem com águas de poços profundos.

O processo de tratamento para abastecimento público de água potável tem as seguintes finalidades básicas:

- Higiênicas - eliminação ou redução de bactérias, substâncias venenosas, mineralização excessiva, teor excessivo de matéria orgânica, algas, protozoários e outros microrganismos;
- Estético - remoção ou redução de cor, turbidez, dureza, odor e sabor;
- Econômico - remoção ou redução de dureza, corrosividade, cor, turbidez, odor, sabor, ferro, manganês, etc.

2. TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

A produção de água que atenda consistentemente o Padrão de Potabilidade, Portaria 357/2005 – CONAMA, Portaria 518/2004 – MS, requer, na maioria dos casos, a filtração, pois somente esta etapa é que são removidas, quase em sua totalidade, partículas coloidais suspensas e microrganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva. A água bruta pode conter componentes químicos que exigem tratamento específico, conduzindo a formação de precipitados e posterior remoção por sedimentação, filtração, ou a adsorção em hidróxidos e óxidos ou carvão ativado.

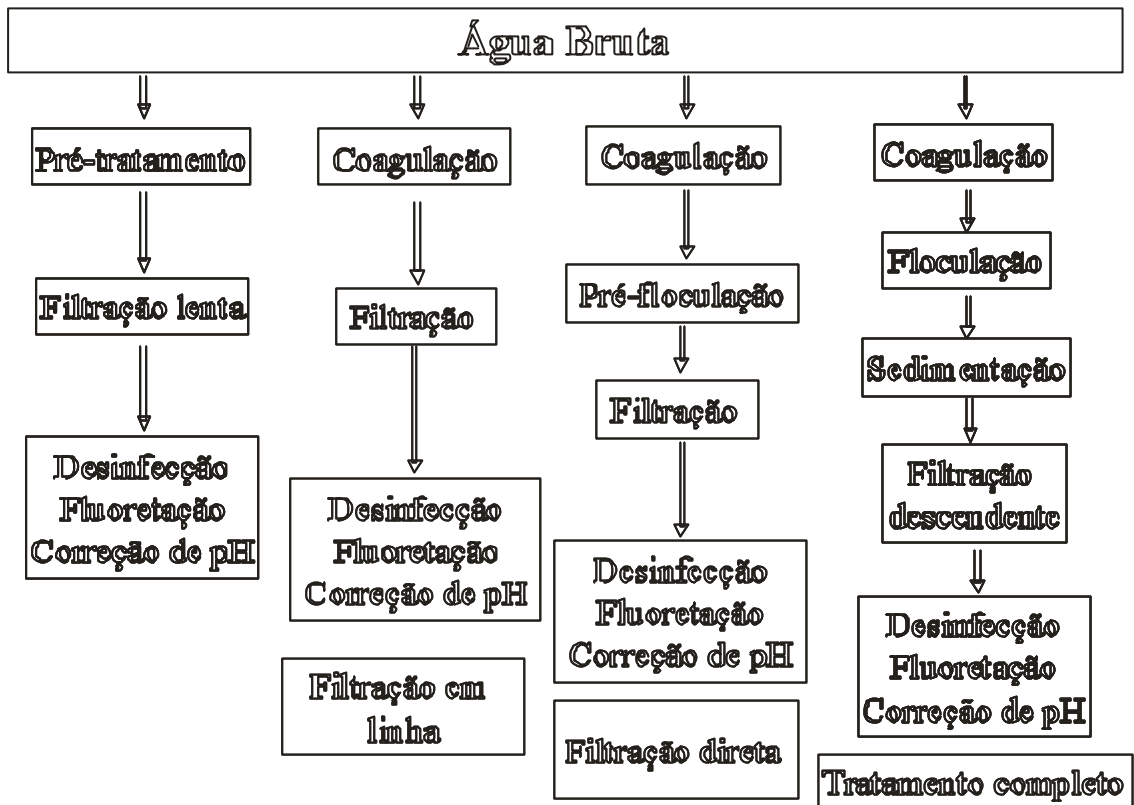


Figura 1. Classificação das tecnologias de tratamento de água destinado ao consumo humano (DI BERNARDO,1993)

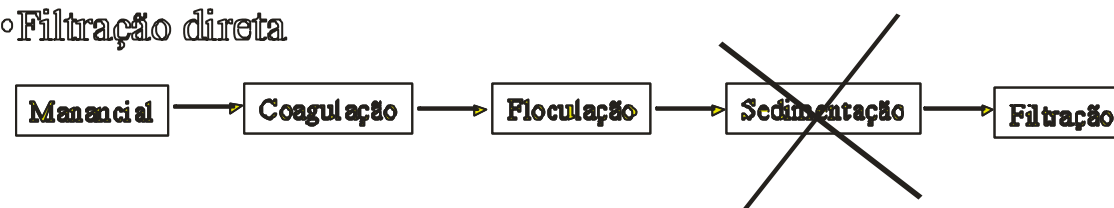
CONCEPÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Com relação ao tratamento

◦ Tratamento convencional



◦ Filtração direta



◦ Filtração em linha

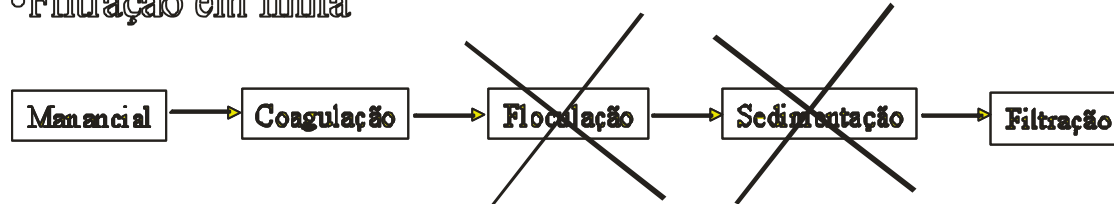


Figura 2. Concepção de estações de tratamento de água (Escola Politécnica da USP- Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária)

3. PROCESSOS DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICOS E DESINFECÇÃO

O procedimento convencional começa pelos ensaios de turbidez, cor e pH. A turbidez ou turvação da água é ocasionada pela presença de argilas, matéria orgânica e microrganismos, mono e policelulares. A cor se deve à presença de tanino, oriundo dos vegetais e, em geral, varia de incolor até o castanho intenso.

A etapa seguinte consiste em ligar esses ensaios às operações de floculação, decantação e filtração. Na estação de tratamento de água chega a água bruta. Em geral o primeiro produto químico colocado na água é o *coagulante*, assim chamado em virtude de sua função. No Brasil comumente emprega-se o sulfato de alumínio líquido ou liquefeito com água. A função do sulfato de alumínio é justamente agregar as partículas coloidais, aquele material que está dissolvido na água, ou seja, a sujeira, iniciando um processo chamado de *coagulação-floculação*.

Na floculação, em seguida, ocorre um fenômeno complexo, que consiste essencialmente em agregar em conjuntos maiores, chamados flocos, as partículas coloidais que não são capazes de se sedimentar espontaneamente. Essa agregação, que diminui a cor e a turbidez da água, é provocada pela atração de hidróxidos, provenientes dos sulfatos de alumínio e ferro II, por íons cloreto e sulfatos existentes na água.

Não há uma regra geral para prever o melhor floculante. O que se faz normalmente é averiguar, por meio de ensaios de laboratório, se determinado floculante satisfaz às exigências previstas. O floculante mais largamente empregado é o sulfato de alumínio, de aplicação restrita à faixa de pH situada entre 5,5 e 8,0. Quando o pH da água não se encontra nessa faixa, costuma-se adicionar cal ou aluminato de sódio, a fim de elevar o pH, permitindo a formação dos flóculos de hidróxido de alumínio. O aluminato de sódio, empregado juntamente com o sulfato de alumínio, tem faixa de aplicação restrita a pHs elevados, onde se salienta, em certos casos, a remoção do íon magnésio.

Removidas a cor e a turbidez, pelas operações de floculação, decantação e filtração, fazem-se uma cloração. Nessa operação, o cloro tem função bactericida e clarificante, podendo ser utilizado sob várias formas: cloro gasoso, hipoclorito de cálcio (35 a 70% de cloro), hipoclorito de sódio (dez por cento de cloro) e monóxido de dicloro ou anidrido hipocloroso.

Uma Estação de Tratamento de Água, ETA, comporta os seguintes processos:

- Remoção de substâncias grosseiras flutuantes ou em suspensão - grades, crivos e telas;
- Remoção de substâncias finas em suspensão ou em solução e de gases dissolvidos - aeração, sedimentação e filtração;
- Remoção parcial ou total de bactérias e outros microrganismos - desinfecção;
- Correção de odor e sabor - tratamentos químicos e leitos de contato com carvão ativado;

- Correção de dureza e controle da corrosão - tratamentos químicos;
- Remoção ou redução de outras presenças químicas.

4. ESQUEMA DE UMA ETA CONVENCIONAL

- Com filtros lentos

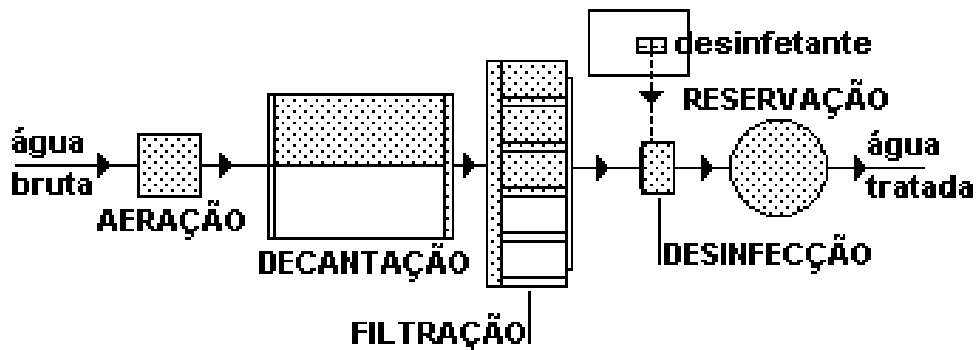


Figura 3. Esquema fluxométrico de ETA com filtros lentos

- Com filtros rápidos – convencional

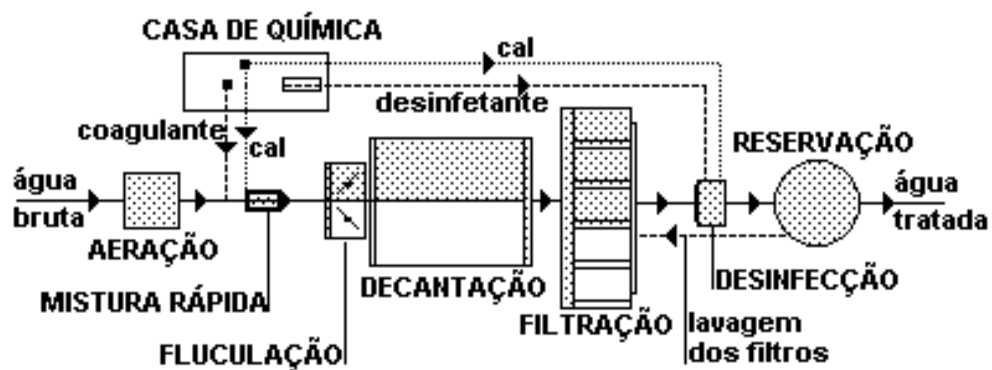


Figura 4. Esquema fluxométrico de ETA com filtros rápidos

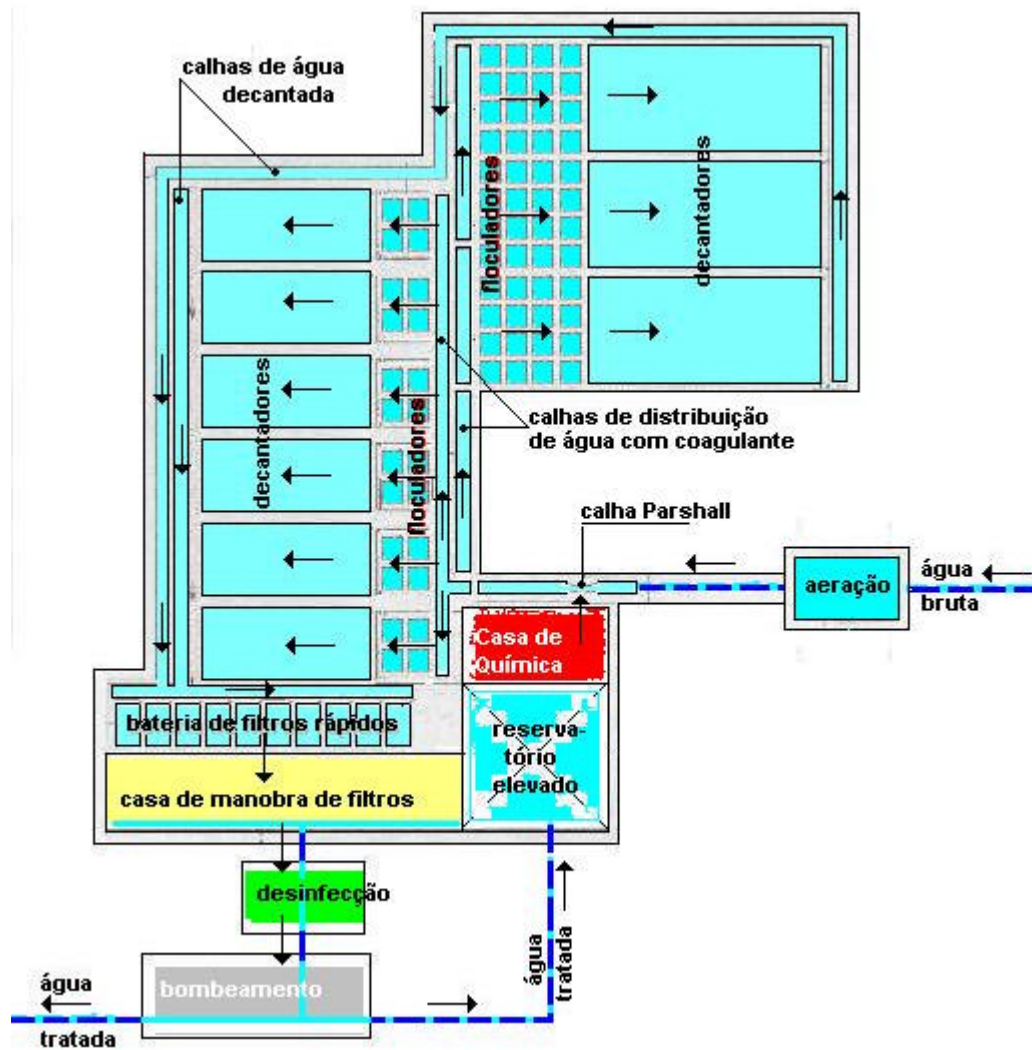


Figura 5. - Esquema do posicionamento das unidades de uma ETA convencional

5. CAPTAÇÃO

A captação de águas superficiais depende de cuidados que devem ser levados em conta quando da elaboração do projeto. Qualquer tipo de captação deverá atender em qualidade e quantidade a demanda prevista da população futura no horizonte (alcance de projeto).

A escolha das obras de captação deve ser antecedida da avaliação dos seguintes fatores:

- Dados hidrológicos da bacia em estudo ou de bacias na mesma região;
- Nível de água nos períodos de estiagem e enchente;
- Qualidade da água;

- Monitoramento da bacia, para localização de fontes poluidoras em potencial;
- Distância do ponto de captação ao ponto de tratamento e distribuição;

Composição de uma captação:

- Barragens ou vertedores para manutenção do nível ou para regularização de vazão;
- Órgãos de tomada d'água com dispositivos para impedir a entrada de materiais flutuantes;
- Dispositivos para controlar entrada de água;
- Canais ou tubulações de interligação e órgãos acessórios;
- Poços de sucção e casa de bombas para alojar os conjuntos elevatórios, quando necessário.

Dispositivos encontrados na captação das águas superficiais:

- Barragem de nível: são obras executadas em um rio ou córrego, ocupando toda a sua largura, com a finalidade de elevar o nível de água do manancial, acima de um mínimo conveniente e predeterminado;
- Grades: são dispositivos destinados a impedir a passagem de materiais flutuantes e em suspensão, bem como sólidos grosseiros, as partes subseqüentes do sistema;
- Caixas de areia: são dispositivos instalados nas captações destinados a remover da água as partículas por ela carregadas com diâmetro acima de um determinado valor.

6. TRATAMENTO PRELIMINAR

6.1 AERAÇÃO

6.1.1 Finalidades

Para remoção de gases dissolvidos, de odor e sabor e ativação dos processos de oxidação da matéria orgânica, particularmente porque os processos aeróbicos de oxidação são mais rápidos e produzem gases inodoros, emprega-se a introdução de ar no meio aquoso de modo a oxigenar o líquido. Este procedimento é denominado de *aeração*.

No caso de águas retiradas de poços, fontes ou de pontos profundos de grandes represas, estas podem conter ferro e outros elementos dissolvidos, ou ainda ter perdido o oxigênio em contato com as camadas que atravessou e, em conseqüência, ter, por exemplo, um gosto desagradável. Assim, embora não seja prejudicial à saúde do consumidor, torna-se necessário arejá-la para que melhorar sua condição de potabilidade

Em águas superficiais a aeração é também usada para a melhoria da qualidade biológica da água e como parte preliminar de tratamentos mais completos. Para as pequenas instalações, a aeração pode ser feita na entrada do próprio reservatório de água; bastando que este seja bem ventilado e que essa entrada seja em queda livre.

6.1.2 Métodos de aeração

Nos aeradores mais simples a água sai de uma fonte no topo do aerador, que pode ser constituído por um conjunto de bandejas, sobrepostas, espaçadas e fixadas na vertical por um eixo, ou um tabuleiro de vigas arrumadas em camadas transversais às vizinhas. A água cai atravessando os degraus sucessivamente sobre um efeito de cascata, que permite a entrada de ar oxigenado em seu meio, até ser recolhida na parte inferior da estrutura (Figura 6). As bandejas ou tabuleiros ainda podem conter cascalho ou pedra britada.

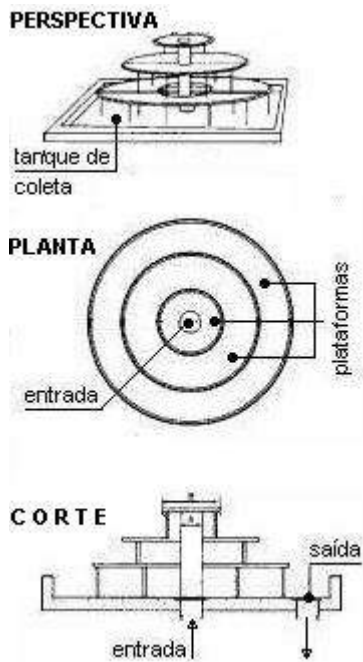


Figura 6a- Aerador de cascata

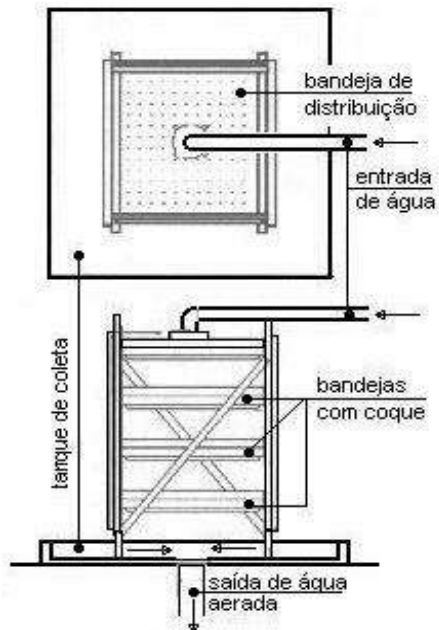


Figura 6b- Aerador de bandejas

Tabela I (a) -Dimensões para aeradores tipo cascata.

Capacidade L/s	A mm	B m	C m	D m
7	75	0,30	1,40	0,75
14	100	0,60	1,70	0,75
21	150	1,00	2,00	0,75
35	200	1,60	2,65	0,75

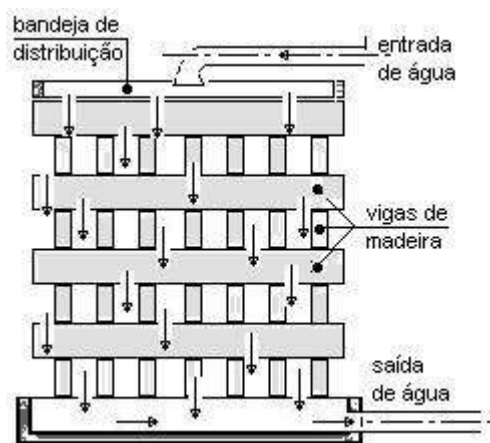


Figura 6c- Aerador de tabuleiro

Tabela I (b) - Dimensões para aerador de tabuleiros.

Capacidade (L/s)	A m	B m	C m	D m	E m	F mm	G mm
30	0,90	0,90	1,80	1,80	2,30	75	100
60	1,20	1,20	2,10	2,10	2,40	100	150
95	1,50	1,50	2,40	2,40	2,40	100	150
160	1,80	1,80	2,70	2,70	2,50	150	200
240	2,10	2,10	3,00	3,00	2,50	150	200
330	1,80	3,60	2,70	4,50	2,60	200	250
460	2,10	4,20	3,00	5,20	2,70	250	300

Também se pode empregar um simples sistema de cascatas, fazendo a água tombar sucessivamente sobre diversos degraus ou levando a água a sair de bocais sob a forma de jato, recebendo oxigênio quando em contato com o ar.

Outra maneira de aeração pode ser desenvolvida através de aeradores por borbulhamento que consistem, geralmente, de tanques retangulares, nos quais se instalam tubos perfurados, placas ou tubos porosos difusores que servem para distribuir ar em forma de pequenas bolhas. Essas bolhas tendem a flutuar e escapar pela superfície da água. A relação largura-profundidade deve manter-se inferior a dois, sendo que a profundidade varia entre 2,70 e 4,50 metros. O comprimento do tanque é calculado em função do tempo de permanência que varia entre 10 a 30 minutos. A quantidade de ar varia entre 75 e 1.125 litros por metro cúbico de água aerada. Este processo deve requerer projetos mais sofisticados e provavelmente um consumo maior de energia, o que implica em melhores estudos sobre a dualidade *custo-benefício*.

Exercício resolvido:

Com o intuito de melhorar a qualidade da água de uma comunidade com 20 000 habitantes, e com consumo de 50 L/s, dimensionar um aerador tipo cascata. Considerar uma taxa de aplicação de $800 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, e que o mesmo é constituído de 3 plataformas circulares.

Solução:

Área da maior plataforma (A):

$$A = \frac{0,05m^3}{s} \times \frac{m^2 \times dia}{800m^3} \times \frac{86400s}{1dia} = 5,4m^2$$

Diâmetro da plataforma (d):

$$A = pr^2 = p \frac{d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4xA}{p}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 5,4}{p}} = 2,65 \text{ m}$$

Logo o comprimento da plataforma C é 2,65 m. Com auxílio da Tabela I(a) encontramos as seguintes dimensões:

- Plataforma inferior: 2,65 m.
- Plataforma menor (superior): 1,60 m.
- Plataforma intermediária: $(2,65 + 1,60)/2 = 2,13 \text{ m}$.
- Separação (altura parcial) das plataformas: 0,35 m.

6.2 SEDIMENTAÇÃO SIMPLES

Como a água tem grande poder de dissolver e de carrear substâncias, esse poder aumenta ou diminui com a velocidade da água em movimento. Quanto menor a velocidade de escoamento da água, menor será seu poder de carregamento, e as substâncias mais grosseiras sedimentáveis e partículas mais pesadas tendem a se depositarem no fundo do canal. O material sólido ao se depositar arrasta consigo microorganismos presentes na água, melhorando sua qualidade.

Artificialmente obtém-se a sedimentação, fazendo passar ou detendo a água em reservatórios, reduzindo sua velocidade de escoamento. Quando a água for captada em pequenas fontes superficiais, deve-se ter uma caixa de areia antes da tomada. A função dessa caixa é decantar a areia, protegendo a tubulação, as bombas etc., contra o desgaste excessivo que seria promovido por efeitos abrasivos. O próprio manancial de captação pode funcionar naturalmente como um grande reservatório de sedimentação simples, como no caso de barragens onde no tempo de chuvas em geral apresenta-se com um grau de turbidez bem superior ao registrado durante a estiagem. A sedimentação simples, desde a simples caixas de areia até um tanque de decantação, como processo preliminar é muito empregada nos casos de emprego de filtros lentos (Figura 7).

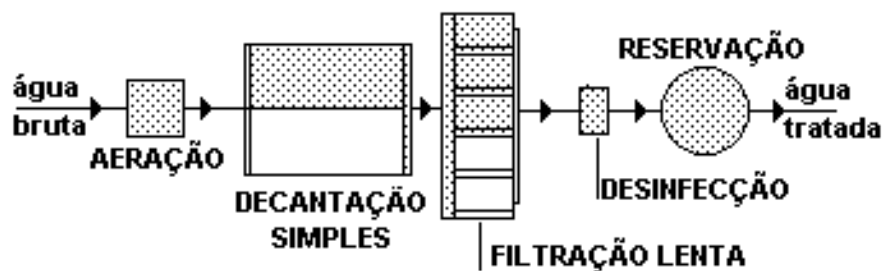


Figura 7- Esquema típico de um ETA com sedimentação simples

7. SEDIMENTAÇÃO COM COAGULAÇÃO QUÍMICA

As águas para abastecimento público, notadamente as procedentes de mananciais superficiais, necessitam na sua transformação em água potável, passarem por um processo de sedimentação precedido de coagulação química, tendo em vista que as águas com cor e turbidez elevadas, características especialmente de águas no período chuvoso, exigem esse tipo de tratamento químico, seguido de filtração rápida e a indispensável desinfecção. Na literatura técnica de saneamento público de água esse tratamento é dito *convencional*. Assim uma estação convencional de tratamento de água compreende as seguintes unidades: mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Instalações que envolvem o tratamento químico exigem bons operadores, bem treinados e bem remunerados. A preparação e aplicação de reagentes químicos, com a otimização de dosagens, requerem habilidade e dedicação. Para desenvolvimento da etapa do tratamento convencional são necessários os seguintes órgãos constituintes: casa de química, câmara de mistura rápida, câmara de floculação e decantador.

O emprego da coagulação química promove redução de turbidez, colóides, bactérias, cor, ferro, ferro e manganês oxidados e alguma dureza. Os coagulantes mais empregados são sulfato de alumínio e sais de ferro, especialmente no Brasil o sulfato de alumínio por ser o de menor custo.

DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

Um produto para apresentar uma ação pretendida, deve ser aplicado na quantidade necessária a se atingir um teor pré-fixado (capaz de reagir adequadamente).

Dosagem também significa o teor necessário de um produto, para que haja uma ação esperada.

Controle da dosagem

Se a vazão ou as características da água variarem ou se mantiverem constantes a quantidade de produto químico, deve ser reajustada ou mantida constante. A esse reajuste é dado o nome de CONTROLE DA DOSAGEM. Esse controle pode ser:

- **Controle manual:** quando as variações de vazão ou de características ocorrem lentamente ao longo do tempo ou são previsíveis.

- **Controle automático:** quando a água apresenta variações apreciáveis e freqüentes. Sendo exercido por equipamento que mede continuamente uma característica da água e ajusta a dosagem para manter constante um parâmetro relacionado com a medida feita.

- **Controle programado:** quando as variações são função de tempo ou quando pode ser associado a uma indicação simples (exemplificando: sistema de cloração condicionado ao regime de funcionamento de bombas).

DOSADORES DE PRODUTOS QUÍMICOS

- Métodos de dosagem

Dosagem a seco

É a dosagem direta de produtos sólidos, sem colocá-los em solução ou em suspensão.

Dosagem por via úmida

Quando os produtos sólidos são previamente dissolvidos ou colocados em suspensão em água, e dosando-se essa solução ou suspensão.

Os produtos líquidos podem ser dosados como se apresentam, ou após dissolução prévia em água.

Os produtos gasosos são geralmente dosados no próprio estado.

a) Dosadores a seco

Medem a quantidade de produtos secos liberados volumetricamente ou gravimetricamente. Há de se levar em conta os seguintes aspectos:

- Os dosadores volumétricos são mais robustos que os dosadores gravimétricos, e não devem ser usados para produtos químicos que apresentam índice de vazão inconstante.

- Os dosadores gravimétricos são mais exatos que os dosadores volumétricos.

b) Dosadores a seco volumétricos

A medida do volume liberado é feita mediante a formação de uma camada uniforme, sobre uma superfície que se desloca com velocidade constante. Alterando-se a velocidade de deslocamento, a faixa de aproveitamento, ou a espessura da camada, ou ainda a associação dessas alterações, obtém-se a dosagem desejada. São os seguintes tipos normalmente encontrados de dosadores volumétricos:

- Disco giratório, com eixo vertical.
- Cilindro giratório com eixo horizontal.
- Bandeja oscilante.
- de Hélice.

c) Dosadores a seco gravimétricos

A medida da quantidade liberada pode ser feita por pesagem do material, ou por diferença de pesagem do material disponível para ser dosado.

Dosadores de líquidos

Usados para dosagem por via úmida ou para dosagem de líquidos, fundamentam-se em medidores de vazão ou em dispositivos medidores volumétricos. Como medidores de vazão, são usados orifícios, venturis, rotâmetros, etc. Como medidores volumétricos, são usados bombas de diafragma, bombas de pistão e recipientes calibrados. Entre outros se encontram os seguintes tipos de dosadores:

- Orifícios variáveis sob carga constante.
- Frasco de Mariotte.
- Vertedores ou orifícios sob carga variável.
- Venturis e medidores magnéticos de vazão.
- Rotâmetros.
- Medidores volumétricos.
- Jato móvel com vazão constante, sobre abertura variável.

- Bomba dosadora.
- Dosadores de gases.

EMBALAGENS DE PRODUTOS QUÍMICOS

Embalagem de produto sólido – quando não são agressivos nem deliqüescentes, são embalados em sacos de papel multifoliados.

Embalagem de produto líquido – normalmente em bombonas ou em tambores de aço, revestidos se necessário.

Embalagens de gases – empregam-se cilindro de aço.

TRANSPORTE DE PRODUTOS A GRANEL

- Transporte de produtos secos.
- Transporte de produtos líquidos.
- Transporte de gases.

ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS

- Armazenamento de produtos embalados.
- Armazenamento de produtos a granel.
- Armazenamento de produtos a granel : - sólidos, líquidos e gases.

Emprego de produtos químicos para tratamento de água, Tabela II

Tabela II – Principais produtos químicos empregados

Tipo de aplicação	Principais produtos
Para coagulação	Sulfato de alumínio
Como auxiliares de coagulação	Bentonita, poli-eletrólitos
Para ajustagem de pH	Cal hidratada, barrilha
Controle da corrosão	Cal hidratada
Abrandamento	Cal hidratada
Oxidante	Cloro
Controle e remoção de odor e sabor	Carvão ativado
Desinfecção	Cloro, amônia
Remoção do excesso de cloro	Carvão ativado

7.1 Mistura rápida ou Coagulação

A mistura rápida tem a finalidade de dispersar os coagulantes rápida e uniformemente na massa líquida, de tal maneira que cada litro de água a tratar receba aproximadamente a mesma quantidade de reagente no menor tempo possível, já que o coagulante se hidrolisa e começa a se polimerizar em fração de segundo após o seu lançamento na água. Essa dispersão pode ser feita por meios hidráulicos ou mecânicos, sob um gradiente de velocidade da ordem de 700 a 2000s⁻¹, mais comumente 1500s⁻¹. Essa mistura tem de ser desenvolvida no menor espaço de tempo possível de modo a não possibilitar a reação dos ions coagulantes com as OH⁻ presentes na água e, assim, não se atingir o objetivo. A prática moderna recomenda o tempo de dispersão igual a um segundo, ou menos, tolerando-se o máximo de cinco segundos. Por isso mesmo, assume grande importância a escolha do ponto de aplicação do coagulante em relação àquele onde se promove a agitação da água.

Em princípio, qualquer dispositivo capaz de provocar intensa agitação, isto é, turbulência na água, mecanizado ou não, pode ser utilizado para a mistura rápida, como bombas, ressaltos hidráulicos, agitadores mecânicos, vertedores etc.

7.1.1 Misturador hidráulico

CALHA PARSHALL

No caso dos misturadores hidráulicos, o mais adequado é o emprego de um ressalto hidráulico de grande turbulência. Em geral o dispositivo empregado é uma calha Parshall* com características adequadas. Além promover a mistura em um tempo adequado também possibilita a medição da vazão (Figura 8). Nessas figuras percebe-se que o coagulante em solução com água, é despejado na corrente de água através de uma canaleta vazada com vários furos (tubo verde no detalhe à direita) e logo a seguir ocorre à dispersão hidráulica na turbulenta passagem para o regime de escoamento subcrítico. Ou seja, um ressalto hidráulico de grande turbulência, provocado na saída da

calha Parshall, promove condições adequadas para a dispersão homogênea e rápida do coagulante.



Figura 8 – Calha parshall em operação como misturador rápido
ETA Gravatá, CAGEPA, Sistema Boqueirão-Campina Grande

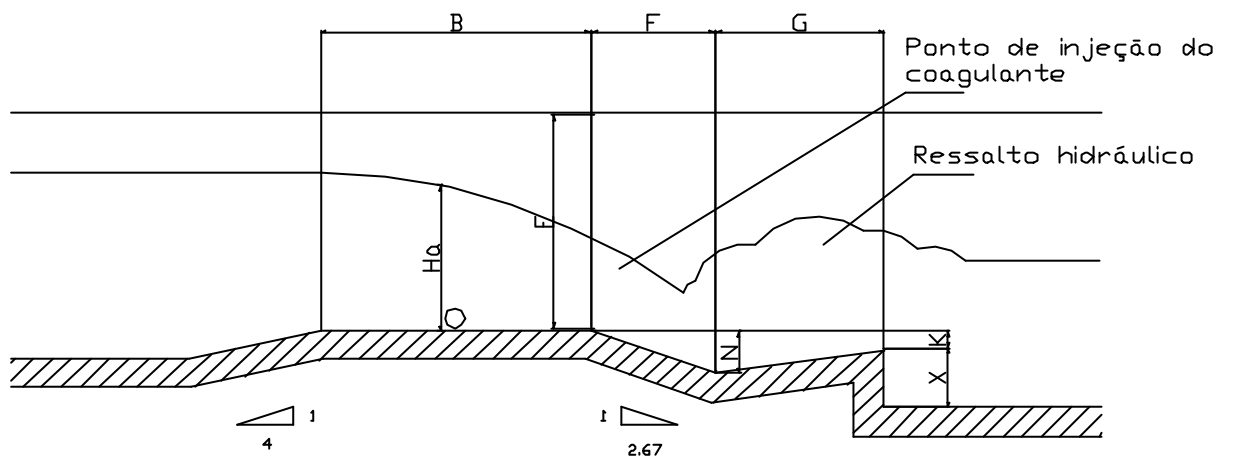
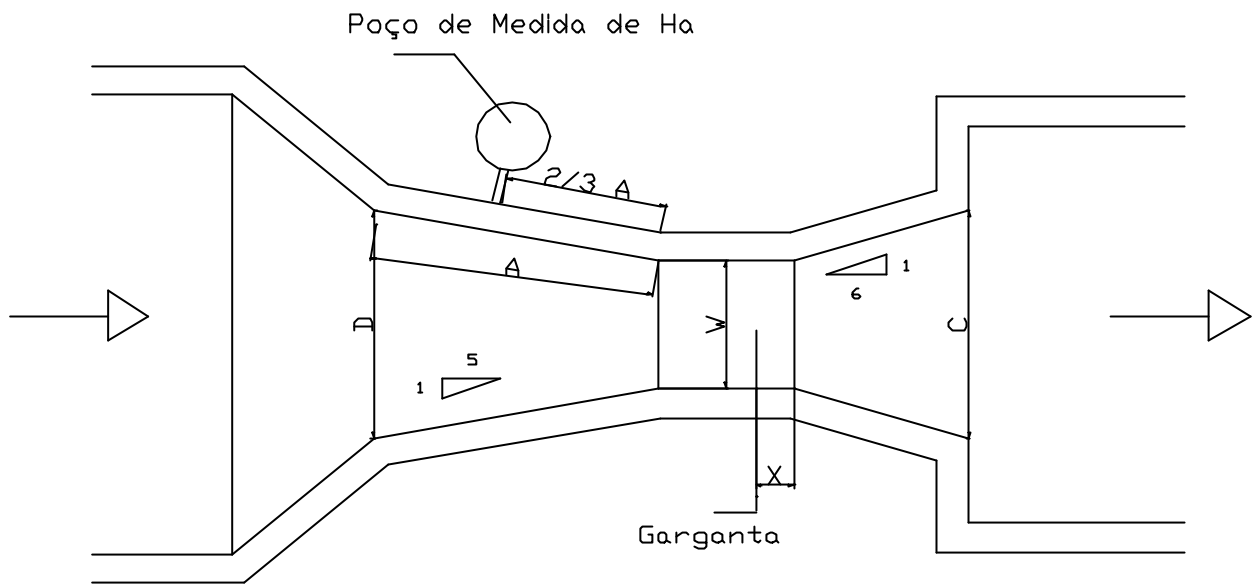
O lançamento do coagulante ocorre em condições adequadas de pH e na dosagem determinada em laboratório. Geralmente usa-se o lançamento de solução aquosa de cal para regular esse pH, considerando-se também o coagulante reduz o pH e que fora da faixa determinada ele perde eficiência. Assim a solução reguladora deve ser lançada a montante da dosagem do coagulante como mostrado na Figura 9. Observe-se a posição dos canos que trazem as soluções dos reservatórios na casa de química, em relação às canaletas de distribuição.



Figura 9 – Dosador de cal e de coagulante em calha parshall

Tabela III – Dimensões do Medidor Parshall (cm) e Vazão com escoamento livre (L/s)

W (pol)	W (cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	Vazão com Escoamento Livre (L/s)
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	0,3 - 5,0
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7	2,5	3,8	0,8 - 53,8
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	5,1	7,6	1,4 - 110,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4	5,1	7,6	2,5 - 252,0
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	3,1 - 455,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	4,2 - 696,6
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	11,9 - 937,3
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	17,3 - 1427,2
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	36,8 - 1922,7
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	45,3 - 2423,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	73,6 - 2930,8
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	85,0 - 3437,7
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	349,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	99,1 - 3950,2
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	200,0 - 5660,0



Medidor Parshall – Planta e Corte

Exercício resolvido:

Seleção de um vertedor Parshall para ser usado, simultaneamente, como medidor de vazão e como unidade de mistura rápida, para as seguintes condições:

$$Q_{1a\text{ etapa}} = 1,3\text{m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{2a\text{ etapa}} = 2,6\text{m}^3 / \text{s}$$

SOLUÇÃO:

a) De acordo com a Tabela III, qualquer medidor com $W \geq 1,8m$ pode ser usado, porém é desejável que dentro de certos limites a altura de água y_1 seja a menor possível. No caso, é assumido que na 2ª etapa, a altura y_1 seja no máximo igual a 30cm. Portanto, o vertedor adotado tem $W = 2,44m$.

b) Altura de água e velocidade de escoamento na seção de medição de vazão.
Equações:

$$W = 7,6cm \rightarrow Q = 0,1765Ha^{1,547}$$

$$W = 15,2cm \rightarrow Q = 0,381Ha^{1,580}$$

$$W = 22,9cm \rightarrow Q = 0,535Ha^{1,530}$$

$$30,5 \leq W \leq 2,44cm \rightarrow Q = 0,372.W[3,281.Ha]^{1,568.W^{0,026}}$$

$$\text{onde } Q = m^3/s \text{ e } W = m$$

$$\text{para } W = 2,44m \rightarrow Q = 6,11Ha^{1,605}$$

$$Q = V.A = V.D'.Ha \rightarrow Q/D'.Ha$$

$$A = D'.Ha \text{ área onde se mede a vazão}$$

$$D' = \frac{2}{3}(3,49 - 2,44) + 2,44 = 3,14m$$

$$Ha_1^{1,605} = \frac{1,3}{6,11} = 0,213 = \sqrt[1,605]{0,213} = 0,381m$$

$$Ha_2 = \sqrt[1,605]{\frac{2,6}{6,11}} = 0,587m$$

$$Va_1 = 1,09m/s$$

$$Va_2 = 1,41m/s$$

c) Energia total disponível

$$Ea = Ha + \frac{Va^2}{2g} + N, N = 0,229m$$

$$Ea_1 = 0,381 + \frac{(1,09)^2}{2.9,81} + 0,229 = 0,671m$$

$$Ea_2 = 0,587 + \frac{(1,41)^2}{2.9,81} + 0,229 = 0,917m$$

Ângulo ℓ (ângulo fictício representando a variação da quantidade da massa líquida)

$$\cos \ell = \frac{-gQ}{W(0,67gEa)^{1,5}} \rightarrow \begin{matrix} \ell_1 = 124,33^\circ \\ \ell_2 = 135^\circ \end{matrix}$$

d) Velocidade de escoamento e altura de água no início do ressalto

$$V_1 = 2 \cos\left(\frac{\ell}{3}\right) \left[\frac{2gEa}{3} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ onde } \ell \text{ é dado por } \begin{cases} \ell_1 = 124,33^\circ \\ \ell_2 = 135^\circ \end{cases}$$

$$y_1 = Ea - \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_{11} = 3,13 \text{ m/s}$$

$$V_{12} = 3,46 \text{ m/s}$$

$$y_{11} = 0,17 \text{ m}$$

$$y_{12} = 0,31 \text{ m}$$

e) Número de Froude – fundo horizontal responsável pela distribuição uniforme de velocidade imediatamente à montante e jusante das seções 1 e 2 (na garganta)

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} \rightarrow \begin{cases} Fr_{11} = 2,43 \\ Fr_{12} = 1,99 \end{cases}$$

Quanto $> Fr_1$ melhor a mistura!

f) Altura do ressalto no final do trecho divergente

$$y_3 = \frac{y_1}{2} \left[(1 + 8Fr^2) - 1 \right]$$

$$y_2 = y_3 (N - K)$$

$$N = 0,229 \text{ e } K = 0,076 \text{ (veja tabela)}$$

$$y_{31} = 0,51 \text{ m}$$

$$y_{32} = 0,73 \text{ m}$$

$$y_{21} = 0,36 \text{ m}$$

$$y_{22} = 0,58 \text{ m}$$

g) Velocidade de escoamento na saída do trecho divergente

$$V_2 = \frac{Q}{y_2 \cdot C}, \text{ onde } C = 2,745 \text{ m (veja tabela)}$$

$$V_{21} = 1,32 \text{ m/s}$$

$$V_{22} = 1,63 \text{ m/s}$$

h) Perda de carga

$$Eh = Ha + N - y_3, \quad N = 0,229 \text{ m (tabela)}$$

$$Eh_1 = 0,10 \text{ m}$$

$$Eh_2 = 0,086 \text{ m}$$

i) Tempo médio de detenção da água no trecho divergente

$$Tmr = \frac{G}{\frac{(V_1 + V_2)}{2}}, \quad G = 0,915(\text{tabela})$$

$$Tmr_1 = 0,41s$$

$$Tmr_2 = 0,36s$$

j) Gradiente de velocidade médio

$$Gmr = \sqrt{\frac{P}{mVol}}, \quad \text{como } P = g.Q.Eh$$

$$Gmr = \sqrt{\frac{g.Q.Eh}{mVol}} = \sqrt{\frac{g.Eh}{mTmr}}$$

$$Gmr_1 = 1444s^{-1}$$

$$Gmr_2 = 1429s^{-1}$$

7.1.2 Misturador mecânico

Nas câmaras mecanizadas, a água que nelas se escoia é intensamente agitada por meio de hélices, turbinas, rotores ou palhetas giratórias e essas câmaras são geralmente de seção horizontal. Os misturadores mecânicos modernos, em geral são do tipo de turbina e pouco comuns no Brasil. No caso de agitação mecânica, Camp estabeleceu a seguinte fórmula para determinação do gradiente de velocidade:

$$G = 827 (P / T)^{1/2}$$

Sendo **P** a potência em *HP* introduzida no líquido por mil metros cúbicos por dia, e **T** o período de detenção em *minutos*.

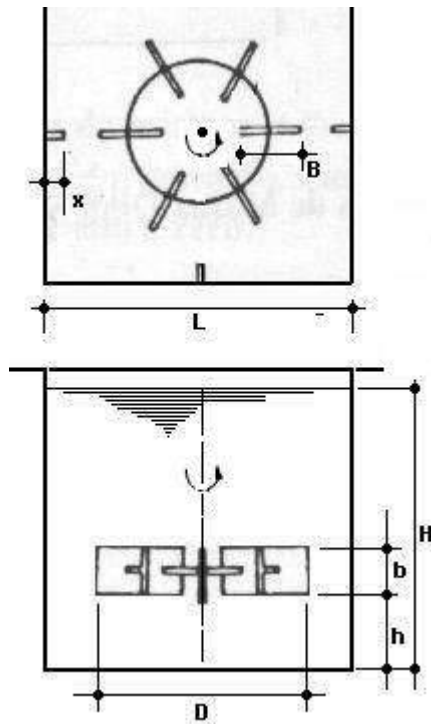


Figura 10 – Misturador tipo turbina

Segundo normas da ABNT os agitadores mecanizados devem obedecer às seguintes condições:

- A potência deve ser estabelecida em função do gradiente de velocidade;
- Períodos de detenção inferiores a 2 s exigem que o puxo incida diretamente sobre as pás do agitador;
- O produto químico a ser disperso deve ser introduzido logo abaixo da turbina ou hélice do agitador.

Evidentemente cada misturador tipo turbina, por suas características físicas, tem comportamento hidráulico peculiar.

Relações geométricas do reator de turbina mostrado na figura ao lado:

- $2,7 < L/D < 3,3$;
- $2,7 < H/D < 3,9$;
- $0,75 < B/D < 1,3$;
- $B = D/4$;
- $b = D/5$;
- $x / D = 0,10$.

O número de Reynolds dessas turbinas é calculado através da expressão:

$$R_e = (N \cdot r \cdot D^2) / \mu$$

onde:

N= número de rotações por segundo da turbina;

r= massa específica da água ($102 \text{ kgf} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$);

D = diâmetro da turbina, em metros;

m = viscosidade absoluta da água (a 20°C = 10⁻⁴ kgf/m².s).

Sabendo-se que $G = (P / m.V)^{1/2}$, então

$$G = 4,86 \cdot 10^{-2} (N^3 \cdot D^5 / m.V)^{1/2}$$

Expressão que permite calcular o valor do gradiente de velocidade correspondente a esse tipo de turbina.

* **Ralph Leroy Parshall (1881-1960)**. Engenheiro americano, professor da Colorado State University, localizada em Fort Collins, que inventou (1922-1925), com base nos estudos de Venturi, um revolucionário medidor de vazões no campo da irrigação, que passou a ser denominado de *Calha Parshall*. Como estudante foi um dos diplomados distintos da Faculdade e desfrutou de uma longa e prestigiosa carreira em irrigação, trabalhando em Forte Collins, especialmente depois de desenvolveu a sua Calha. Este medidor foi desenvolvido para o United States Bureau of Reclamation, e teve publicadas suas dimensões padronizadas, pela primeira vez, pelo Bureau of Reclamation do U.S. Department of the Interior, no Water Measurement Manual. O sucesso de seu invento aumentou sua bolsa de estudos, enquanto era professor no Colorado Agricultural and Mechanical College. Hoje é largamente empregada em todo o mundo, além de medidor de descargas industriais e de vazões de água de irrigação, também como medidor de vazões e efetivo misturador de soluções químicas nas estações de tratamento de água.

Exercício resolvido:

Dimensionar uma unidade de mistura rápida mecanizada com agitador tipo turbina de paletas planas, para uma vazão de 500l/s, temperatura de 20°C, gradiente de velocidade da ordem de 1000s⁻¹ e tempo médio de detenção na câmara de 5s.

SOLUÇÃO:

a) Volume útil da câmara

$$V_c = Q.t = 0,5.5 = 2,5m^3$$

b) Características da câmara

$$V = Axh$$

$$h = 1,5(\text{adotado})$$

$$A = 1,67m^2 = 1,3 \times 1,3$$

- lado (Lc) = 1,3m

- profundidade útil (Hu) = 1,5m

- largura dos estatores (le) = 0,05m

- distância entre a turbina e a base da câmara (hf) = 0,45m

c) Características da turbina

- diâmetro (Dtb) = 0,45m

- largura da paleta (btb) = $\frac{Dt b}{4} = 0,11m$

- número de paletas = 6

- rotação (N) = 185rpm

d) Potência útil e potência do motor

$$Pu = Ktb.r.D_t^5.N_r^3$$

$$K + b = 5(\text{adotado})$$

$$r = 998,2Kg / m^3$$

$$Dt = 0,45m$$

$$Nr = 185rpm$$

$$Pu = 5.998,2.0,45^5 \cdot \left(\frac{185}{60}\right)^3$$

$$Pu = 2699,68N.m / s$$

$$Pm = 2.Pu$$

$$Pm = 2.2699,68$$

$$Pm \cong 5400N.m / s$$

$$1cv = 720N.m / s$$

$$Pm = 7,5cv$$

e) Gradiente de velocidade médio

$$Gm = \sqrt{\frac{Pu}{mVc}} = \sqrt{\frac{2699,68}{10^{-3}.2,5}}$$

$$Gm = 1039s^{-1}$$

7.2 Mistura Lenta ou Floculação

O fundamento da mistura lenta, também chamada de floculação é a formação de flocos sedimentáveis de suspensões finas através do emprego de coagulantes. A floculação tem por finalidade aumentar as oportunidades de contato entre as impurezas das águas e os flocos que se formam pela reação do coagulante, pois os flocos até então formados bem como as impurezas ainda dispersas não têm peso suficiente para se sedimentarem por peso próprio.

Depois da adição do sulfato de alumínio, a água chega aos floculadores, onde pode receber cloro para uma desinfecção preliminar e polieletrólito, um produto químico que vai ajudar na floculação. Os flocos formados têm aspecto

gelatinoso o que facilita o agregamento de partículas na superfície do floco original. Com esses encontros e ao longo do tempo os flocos aumentam de tamanho (acima de 1 mm de diâmetro) e tornam-se mais sedimentáveis na fase seguinte, a decantação.

Os seguintes parâmetros intervêm no processo:

- Velocidade de escoamento (m/s);
- Tempo de detenção (minutos);
- Gradiente de velocidade (s^{-1}).

A velocidade de escoamento deve ser maior que 0,10 m/s para evitar a sedimentação de flocos no próprio floclador. Por outro lado não pode ser muito elevada para não quebrar ou romper os flocos já formados. Uma grandeza fundamental no dimensionamento hidráulico de floclador é o tempo de detenção, que depende, inclusive, muito da temperatura da água. No Brasil costuma-se trabalhar valores de 15 a 20 minutos. Também o gradiente de velocidade é um parâmetro usual no projeto de flocladores e, tradicionalmente pode-se empregar as seguintes expressões:

- Agitação hidráulica - $G = 3115 (hf / t)^{1/2}$
- Agitação mecânica - $G = 685 (P / Qt)^{1/2}$

Sendo:

G = Gradiente em s^{-1}

h ,= perda de carga, em m

t = período de detenção em segundos

P = potência aplicada, em HP

Q = vazão, em m^3/s .

Há vários tipos de flocladores hidráulicos, o mais comum sendo constituído por chicanas, conjunto de cortinas verticais formando compartimentos em série. Dependendo da disponibilidade dessas cortinas o fluxo da água pode ser vertical ou horizontal (Figura 11). É preferível o movimento vertical da água, para cima e para baixo, alternadamente. Nos flocladores de chicanas costuma-se projetar seções variáveis no

espaçamento entre cortinas., não necessariamente em um espaçamento variável e continuamente crescente. Muito se projeta em conjuntos de três secções, adotando os valores de G decrescente (80 s^{-1} até 15 s^{-1}) e t de 15 a 20 minutos. A perda de carga em cada chicana pode ser calculada pela expressão " $1,5 \cdot V^2 / 2g$ ".



Figura 11 – - Floclador em chicanas verticais (seco) vendo-se, à direita, o vertedor para medição de vazão. ETA Alto Branco, CAGEPA, Campina Grande.

Exercício resolvido:

A floclação em uma estação de tratamento de água com vazão de 250l/s, será realizada em 4 canais providos de chicanas, com escoamento vertical. Em ensaios feitos em laboratório, o tempo total de floclação resultou em 20 minutos e o gradiente de velocidade médio ficou compreendido entre 30 e 50 s^{-1} . Estudar a opção do uso de malhas nas aberturas.

SOLUÇÃO:

a) Dimensões dos canais

profundidade total: 4m(inicial) e 4,15m (final)

comprimento de cada canal: 15m

largura de cada canal: 1,25m

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

$$Vol = Q.t = 0,25 \frac{m^3 s}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60s}{1 \text{ min}} \cdot 20 \text{ min} = 300m^3$$

$$Vol \text{ de cada canal} = \frac{300}{4} = 75m$$

$$75 = 4,075 \cdot 15 \cdot b \therefore b = 1,25m$$

b) Gradiente de velocidade médio e tempo médio de detenção

canal 1: $G_1 = 50s^{-1}$ $Td_1 = 5 \text{ min}$

canal 2: $G_2 = 45s^{-1}$ $Td_2 = 5 \text{ min}$

canal 3: $G_3 = 35s^{-1}$ $Td_3 = 5 \text{ min}$

canal 4: $G_4 = 30s^{-1}$ $Td_4 = 5 \text{ min}$

c) Número de compartimentos nos canais e espaçamento entre chicanas

canal 1: $n^\circ \text{ comp.} = 20$ $a_1 = 0,75m$

canal 2: $n^\circ \text{ comp.} = 18$ $a_2 = 0,83m$

canal 3: $n^\circ \text{ comp.} = 16$ $a_3 = 0,94m$

canal 4: $n^\circ \text{ comp.} = 14$ $a_4 = 1,07m$

d) Velocidade Ve_1 e Ve_2

$$Ve_1 = \frac{Q}{b.a} \text{ e } Ve_2 = \frac{2}{3}Ve_1$$

canal 1: $Ve_1 = 0,27m/s$ $Ve_2 = 0,18m$

canal 2: $Ve_1 = 0,24m/s$ $Ve_2 = 0,16m$

canal 3: $Ve_1 = 0,21m/s$ $Ve_2 = 0,14m$

canal 4: $Ve_1 = 0,19m/s$ $Ve_2 = 0,12m$

e) Extensão média percorrida pela água e raio hidráulico dos canais:

$$L = 60.Ve_1.Td \text{ e } Rh = \frac{a.b}{2(a+b)}$$

canal 1: $L_1 = 81m$ $Rh_1 = 0,23m$

canal 2: $L_2 = 72m$ $Rh_2 = 0,25m$

canal 3: $L_3 = 63m$ $Rh_3 = 0,27m$

canal 4: $L_4 = 57m$ $Rh_4 = 0,29m$

f) Perdas de carga hp_1 , hp_2 e hpt

$$hp_1 = \frac{hc.Ve_1^2 + (nc-1).Ve_2^2}{2g}$$

hp_1 = perda de carga (m)

nc = nº de chicanas igualmente espaçadas

Ve_1 = velocidade média de escoamento entre chicanas (m/s)

Ve_2 = velocidade média de escoamento nas voltas (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

$$hp_2 = L.J = L \frac{(Ve_1.nm)^2}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

hp_2 = perda de carga por atrito (m)

L = percurso total percorrido pela água (m)

J = gradiente hidráulico (m/m)

nm = coeficiente de Manning (0,013 para concreto e 0,011 para madeira)

Rh = raio hidráulico (m)

canal 1: $hp_1 = 0,106$ $hp_1 = 0,0031$ $ht = 0,109$

canal 2: $hp_2 = 0,075$ $hp_2 = 0,002$ $ht = 0,083$

canal 3: $hp_1 = 0,051$ $hp_2 = 0,0012$ $ht = 0,052$

canal 4: $hp_1 = 0,035$ $hp_2 = 0,0008$ $ht = 0,0358$

g) Gradiente de velocidade médio

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot hp \cdot t}{m T d}} \quad T = 20^\circ C \quad \begin{array}{l} m = 10^{-3} N \cdot s / m^2 \\ g = 9789 N / m^3 \end{array}$$

canal 1: $G_1 = 59,6 s^{-1}$

canal 2: $G_2 = 52 s^{-1}$

canal 3: $G_3 = 41 s^{-1}$

canal 4: $G_4 = 34 s^{-1}$

Para aproximar os G, deve:

- aumentar o espaço entre chicanas
- diminuído a largura
- aumentado o nº de canais

h) Altura das passagens inferiores

$hif = 1,5 \cdot a$

canal 1: $hif_1 = 1,13m$

canal 2: $hif_2 = 1,25m$

canal 3: $hif_3 = 1,41m$

canal 4: $hif_4 = 1,61m$

i) Colocação de malhas nas passagens inferiores e superiores

- Características: espaçamento entre fios de plástico = 5cm

- diâmetro dos fios = 4,8mm

$$hm = 0,55 \left(\frac{1 - e^2}{e^2} \right) \frac{Ve^2}{2g}$$

$$G = \sqrt{\left(\frac{1 - e^2}{e^2} \right) \frac{0,55 \cdot g \cdot Ve^3}{b \cdot g \cdot m \cdot e \cdot f}}$$

hm = perda de carga (m)

Ve = velocidade de escoamento à montante da malha (m/s)

g = aceleração da gravidade

e = porosidade $e \geq 0,70$

g = peso específico da água (N / m^3)

m = viscosidade absoluta da água ($N \cdot s / m^2$)

ef = espaçamento entre fios (m)

canal 1: $hm_1 = 0,00078m$ $G_1 = 55,16 s^{-1}$

canal 2: $hm_2 = 0,00061m$ $G_2 = 46s^{-1}$

canal 3: $hm_3 = 0,00047m$ $G_3 = 38s^{-1}$

canal 4: $hm_4 = 0,00038m$ $G_4 = 30s^{-1}$

Os flocculadores mecânicos devem ser projetados com flexibilidade com três compartimentos em série, para reduzir curto-circuitos. A agitação pode ser conseguida com pás rotativas ou com turbinas verticais, de tipo especial (Figura 12).



Figura 12 – - Floculador mecânico vendo-se as tampas (amarelas), para proteção do motor de acionamento do misturador. (ver detalhe figura 13)

ETA Gravatá, CA GEPA, Sistema Boqueirão-Campina Grande.

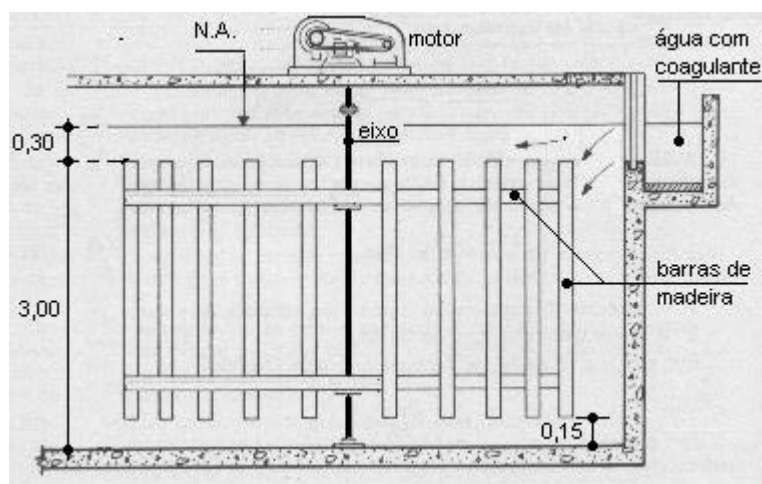


Figura 13 – - Corte esquemático de um floculador mecanizado tipo fotografado na Figura 12

Lembrar que nesta unidade não interessa que ocorra sedimentação de partículas. Todo o material floculado deverá ser escoado e retido na etapa seguinte, a *decantação*.



Figura 14 – Equipamento de agitação com eixo vertical – escoamento axial

Exercício resolvido

Projetar a unidade de floculação de uma estação de filtração direta descendente com vazão de $1,25 \text{ m}^3 / \text{s}$, a ser realizada em duas câmaras em série, para as seguintes condições: gradiente de velocidade médio otimizado em instalação piloto; $50 - 100 \text{ s}^{-1}$; tempo de floculação: $4 - 8 \text{ min}$.

SOLUÇÃO:

a) Tempo de floculação e dimensões das câmaras

$$T_d = 6 \text{ min (adotado)}$$

$$Q = \frac{V}{t} \therefore V = Q \cdot t = 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 6 \text{ min} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 450 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume de 1 câmara: } V = 225 \text{ m}^3$$

Seção da câmara em planta: quadrada

$$V = A \cdot h$$

$$\text{Adotando } h = 4 \text{ m} \Rightarrow A = 56,25 \text{ m}^2$$

$$A = b \cdot b \Rightarrow b = 7,5 \text{ m}$$

b) Características do Equipamento

- tipo de equipamento: escoamento axial

- tipo de rotor: paletas inclinadas a 45° ($K_{tb} \cong 1,4$), tabela 8.7 (pg335- Métodos e

Técnicas de Tratamento de Água vol 1 – Di Bernardo)

- diâmetro do rotor (D_f)

$$2,0 \leq \frac{L_f}{D_f} \leq 6,6$$

$$\text{Assumindo } D_f = 1,4 \Rightarrow \frac{L_f}{D_f} = \frac{7,5}{1,4} \cong 5,36$$

- distância do rotor ao fundo da câmara (hf)

$$0,9 \leq \frac{hf}{D_f} \leq 1,1, \quad \text{Assumindo que } hf = 1,5m$$

$$\frac{hf}{D_f} = \frac{1,5}{1,4} \cong 1,07$$

c) Relações Geométricas

$$\frac{L_f}{D_f} = 5,36; \quad \frac{hf}{D_f} = 1,07; \quad \frac{P_f}{D_f} = 2,85$$

$$2,7 \leq \frac{P_f}{D_f} \leq 3,9, \quad \text{Assumindo } \frac{P_f}{D_f} = 2,85 \Rightarrow Pf = 3,99m$$

d) Gradiente de velocidade médio e rotação

$$G_{\max} = 100s^{-1}; \quad G_{\min} = 50s^{-1}; \quad T = 20^\circ C; \quad P = mV.G^2;$$

$$m = 10^{-3} N.m/s^2$$

$$P_{\max} = 10^{-3} . 225 . 100^2 = 2250 Nm/s$$

$$P_{\min} = 10^{-3} . 225 . 50^2 = 562,5 Nm/s$$

$$N_p = \frac{Pu}{r.N^3.D^5} \Rightarrow N \sqrt[3]{\frac{Pu}{Np.r.D^5}}$$

Np = número de potência

Pu = potência introduzida à água ($N.m/s$)

r = massa específica da água (Kg/m^3)

N = rotação ($r.p.s$)

D = diâmetro do rotor (m)

$Np = K.t.b$ (regime turbulento)

$$N = \sqrt[3]{\frac{Pu}{Np.r.D^5}}$$

$$Nm_{\max} = \sqrt[3]{\frac{2250}{1,4.998.1,4^5}} = 0,669r.p.s \cong 40r.p.m$$

$$Nm_{\min} = \sqrt[3]{\frac{562,5}{1,4.998.2,1,4^5}} = 0,421r.p.s. \cong 25r.p.m$$

7.3 Decantação

No floculador, mecânica ou hidráulicamente a água é agitada em velocidade controlada para aumentar o tamanho dos flocos para, em seguida, a água passar para os decantadores, onde os flocos maiores e mais pesados possam se depositar. Essas águas, ditas floculadas, são encaminhadas para os decantadores, onde após processada a sedimentação, a água já decantada (o sobrenadante) é coletada por calhas superficiais separando-se do material sedimentado junto ao fundo das unidades constituindo o lodo, onde predominam impurezas coloidais, matéria orgânica, hidróxido de Alumínio (ou de Ferro) e impurezas diversas.

Decantação ou sedimentação é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas nas águas.

Diminuindo-se a velocidade de escoamento das águas reduzem-se os efeitos da turbulência, provocando a deposição de partículas mais pesadas do que a água, suspensas nas correntes líquidas.

O processo de sedimentação para remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento da água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. As partículas que não são removidas na sedimentação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas na filtração.

Normalmente a água contém materiais finamente divididos, no estado coloidal, ou em solução, que não podem ser removidos por sedimentação simples, sendo necessária à adição de coagulante para formar aglomerados ou flocos que sedimentam com facilidade. A sedimentação, com coagulação prévia, é um processo de clarificação usado na maioria das estações de tratamento, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros.

A sedimentação de partículas floculentas é usualmente chamada de decantação e, as unidades onde se realiza este processo, de tanque de decantação, ou simplesmente de decantadores.

Os decantadores mais utilizados são: decantadores de fluxo horizontal, apresentam alta eficiência e baixa sensibilidade a condições de sobrecarga e; decantadores tubulares ou de alta taxa.

Velocidade de sedimentação

Velocidade de sedimentação a 20° C, de partícula com densidade de 2,65 .

Partículas	Tamanho das partículas	Velocidade de sedimentação	Tempo necessário para cair 3,00 m
Areia	0,20 mm	2,4 cm/s	2 minutos
Areia fina	0,10 mm	0,9 cm/s	6 minutos
Silte	0,01 mm	0,01 cm/s	8 horas

Objetivos e aplicações da sedimentação

- Remoção de areia: para evitar erosão, depósitos e entupimentos em bombas e instalações mecânicas.
- Remoção de partículas sedimentáveis finas (sem coagulação): quando se utilizam águas de rios com grande transporte de sólido (alta turbidez).
- Retenção de flocos: decantação após coagulação: quando se utilizam processos de coagulação para remoção de matéria coloidal, cor e turbidez, após floculação química.

Tipos de decantadores

a) Em função do escoamento da água

- Decantadores de escoamento horizontal: a água escoar na direção longitudinal, sendo que o comprimento é a dimensão predominante.
- Decantadores de escoamento vertical: a água escoar em movimento ascendente da parte inferior até a superfície dos tanques.

b) Em função das condições de funcionamento

- Decantadores do tipo clássico ou convencional: são aqueles em que se processa apenas a sedimentação com água já floculada.

- Decantadores com contato de sólidos: são aqueles que promovem simultaneamente a agitação, floculação e a decantação.

- Decantadores com escoamento laminar: o escoamento se dá em regime laminar.

7.3.1 Esgotamento

Os lodos gerados no decantador são mais ou menos instáveis, dependendo principalmente da fração de matéria orgânica de que ele seja composto, e precisam ser retirados, em geral por gravidade através de adufas de fundo, e dispostos adequada e periodicamente. Quando se trata de água bruta de má-qualidade, especialmente por excesso de matéria orgânica, o lodo deve ser retirado antes que entre em processo de fermentação.

O processo de retirada de lodo dos decantadores pode ser mecanizado ou não. No caso de instalações de grande capacidade e que produzem grandes quantidades de lodo, ou em casos em que se deseja economizar água com o descarte do lodo, prevalecem os mecanizados. Em pequenas instalações ou onde a perda de água não é tão importante costuma-se usar o esgotamento automático pelas adufas de fundo. A saída de água pela adufa arrasta o lodo depositado.

7.3.2 Dimensionamento Hidráulico

No dimensionamento hidráulico os parâmetros principais a serem considerados são:

- Taxa de escoamento superficial, relacionando-se o fluxo com a superfície horizontal, em $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$;
- Período de detenção ou tempo de residência, em horas;
- Velocidade de escoamento, em cm/s .

A velocidade de água nos decantadores deve ser limitada para evitar o arrastamento de flocos, impedindo-os de serem retidos nos tanques de decantação.

Quanto ao aspecto hidráulico da sedimentação devem ser considerados dois tipos de decantação:

- Decantação turbulenta ou convencional;
- Decantação laminar ou de alta taxa.

No primeiro caso, o escoamento se realiza em regime turbulento com números de Reynold acima de 2.000. Para conseguir o escoamento laminar são utilizados módulos na área de escoamento junto à saída de água, para reduzir consideravelmente o número de Reynolds.

A taxa de escoamento superficial antes limitada a $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ atualmente, desde que seja assegurada uma boa operação, poderá elevar-se até $45 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ nos decantadores convencionais de fluxo horizontal e até $60 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, no caso de escoamento vertical. O período de detenção em decantadores com escoamento turbulento geralmente fica compreendido entre 2,5 e 4,0 horas.

Taxa de escoamento superficial

A eficiência de um decantador está relacionada com a taxa de escoamento superficial/ tempo, expressa em m³ de água por m² de superfície de decantação por dia.

Essas taxas são dotadas em função da qualidade da água:

Tipo de sedimentação	Taxa (m ³ /m ² x dia)
Remoção de areia	600 a 1200
Sedimentação simples (s/ coagulação)	5 a 20
Clarificação de águas coloidais	15 a 45
Clarificação de águas turvas	30 a 60

Relação entre comprimento e a largura

Nos decantadores de fluxo horizontal, deve-se ter uma relação conveniente entre o comprimento e a largura. Comprimentos relativamente pequenos dificultam a boa distribuição da água. Comprimentos relativamente grandes podem resultar em velocidades longitudinais elevadas que causam o arrasto de flocos.

Geralmente são aceitos os limites seguintes:

$$2,25 \leq \frac{L}{B} < 10$$

Mais comumente: $\frac{L}{B} = 3$ a 4

Onde:

L = comprimento

B = largura

Período de detenção

Deve-se assegurar um certo tempo de permanência para a água nos decantadores, para possibilitar a sedimentação das partículas que se deseja remover.

Adota-se:

$$\text{Período de detenção (horas)} = \frac{\text{volume} - \text{do} - \text{decantador}}{\text{vazão} - \text{no} - \text{decantador}}$$

Onde:

Vazão = em m³/h

Volume do decantador = em m³

Para decantadores clássicos adota-se geralmente entre 2h e 2h30.

Profundidade dos decantadores

Com o período de detenção e a vazão, obtém-se o volume do decantador, que juntamente com a área superficial, fornecerá a profundidade.

$$H = \frac{\text{volume}}{\text{área} - \text{sup} - \text{erficial}}$$

$$H = \frac{T \times Q}{B \times L}$$

Onde:

H = profundidade

Q = vazão

T = tempo de detenção

B = largura

L = comprimento

A velocidade de escoamento das águas, deve ser inferior a velocidade de arraste das partículas sedimentadas, $V < 1,25 \text{ cm/s}$.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{B \times H}$$

O número mínimo de decantadores em uma E.T.A deve ser de 2 unidades, para possibilitar limpeza e reparos, sem interromper o tratamento.

7.3.3 Decantadores convencionais

Decantadores de fluxo horizontal.

A relação Q/A é conhecida como taxa e escoamento superficial e é, usualmente dada em $m^3/m^2 \times dia$. A taxa de escoamento superficial é numericamente igual à velocidade crítica de sedimentação. Todas as partículas com velocidade de sedimentação igual ou superior a V_{cs} serão integralmente removidas no decantador. Partículas com velocidade de sedimentação menores que V_{cs} só serão removidas se entrarem no decantador, Figura 15, a uma profundidade do fundo não superior a $x = V_s \times t_o$, sendo t_o tempo nominal de detenção.

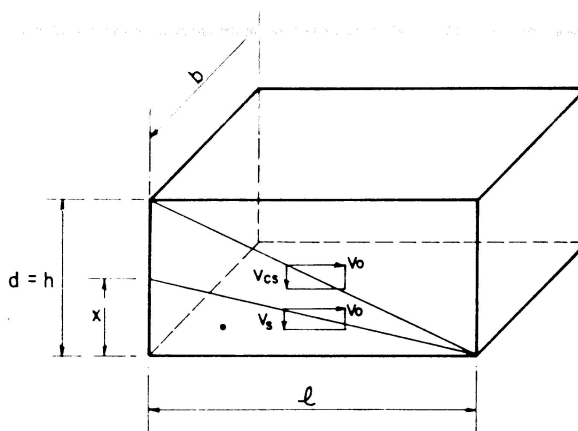


Figura 15 – Trajetória de partículas discretas na zona de sedimentação

$$\text{Como } t_o = \frac{V}{Q} = \frac{b \times l \times h}{A \times V_{cs}} = \frac{b \times l \times h}{b \times l \times V_{cs}} = \frac{h}{V_{cs}}$$

Os flocos de sulfato de alumínio geralmente sedimentam a uma velocidade compreendida entre 0,02 e 0,08 cm/s, ou seja, entre 18 e 70 $m^3/m^2 \times dia$. Em primeira análise, poder-se-ia concluir, pois que a taxa e escoamento superficial deve ficar entre esses valores.

Com os recursos modernos, compreendendo a dispersão de reagentes, a coagulação com agentes auxiliares e a floculação mais eficiente, consegue-se obter flocos com melhores condições de sedimentação.

A limitação da velocidade longitudinal máxima a um valor adequado para evitar o arrasto e a resuspensão de flocos já depositados, irá impor uma condição de profundidade mínima nos decantadores dado pela seguinte equação:

$$\frac{l}{h} = \frac{A}{a} \leq 18$$

Onde:

h e l são respectivamente o comprimento e a profundidade do decantador; A e a, áreas da superfície e da secção transversal.

A profundidade dos decantadores convencionais tem sido adotada geralmente entre 3,5 a 4,5 m. Pode-se adotar profundidades menores quando se faz remoção contínua de lodos.

Com a fixação de uma profundidade mínima resulta um tempo de detenção, parâmetro indevidamente usado como critério básico de projeto há algum tempo.



Figura 16 – - Decantador convencional de fluxo horizontal- ETA Gravatá, CAGEPA, Sistema Boqueirão-Campina Grande.

Exercício Resolvido:

Uma E.T.A, com 2 decantadores deverá purificar 60 L/s (216 m³/hora; 5.184 m³/dia) de águas coloidais. Calcular os decantadores.

SOLUÇÃO:

a) Área do decantador

Taxa de escoamento superficial adotada: 30 m³/m²xdia

$$Q = AxV$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{5184m^3 / dia}{30m^3 / m^2 x dia} = 173m^2$$

Área para um decantador: 173/2 = 86,5 m²

b) Largura e comprimento

$$\text{Adotando-se } \frac{L}{B} = 2,5$$

$$L \times B = 86,5$$

$$2,5B \times B = 86,5$$

$$B^2 = \frac{86,5}{2,5}$$

$$B = \sqrt{\frac{86,5}{2,5}}$$

$$B = 5,9 \text{ m}$$

$$L = 2,5 B$$

$$L = 2,5 \times 5,9 = 14,75 \text{ m}$$

A nova área será (área corrigida):

$$A_c = L \times B = 14,75 \times 5,9 = 87 \text{ m}^2$$

c) Profundidade

Adotando-se um período de detenção de detenção de 3 horas.

$$H = \frac{T \times Q}{B \times L} = \frac{3(216/2)}{5,9 \times 14,8} = \frac{3 \times 108}{87,3} = 3,71m$$

d) Verificação da velocidade

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{(0,06/2)}{B \times H} = \frac{0,03}{5,9 \times 3,71} = 0,00137m/s = 0,137cm/s$$

$$V = 0,137 \text{ cm,/s} < 1,25 \text{ cm/s}$$

7.3.4 Decantadores de alta taxa

As pesquisas dos engenheiros sanitaristas em busca de novas técnicas, visando a redução dos custos de implantação, manutenção e sobretudo o aperfeiçoamento das ETA, resultaram no desenvolvimento dos módulos de decantação tubulares ou decantadores com regime laminar e também chamados de decantadores de alta taxa. Utilizando então, perfis tubulares, os projetistas têm sido muito bem sucedidos na redução do tempo de detenção da água floculada nos decantadores. No caso de decantadores com regime laminar, a taxa de escoamento pode atingir 200 m³ / m².dia ou pouco mais, em relação à área coberta por módulos, tubos ou placas, que vão possibilitar o fluxo laminar, e o tempo de detenção se reduz à metade (Figura 17). Assim cmm a necessidade de aumento de produção de água tratada, em vez de se construir novos decantadores ou se ampliar os existentes, transformam-se os existentes em decantadores com regime laminar e a aumento de produção é resolvido com um mínimo investimentos.

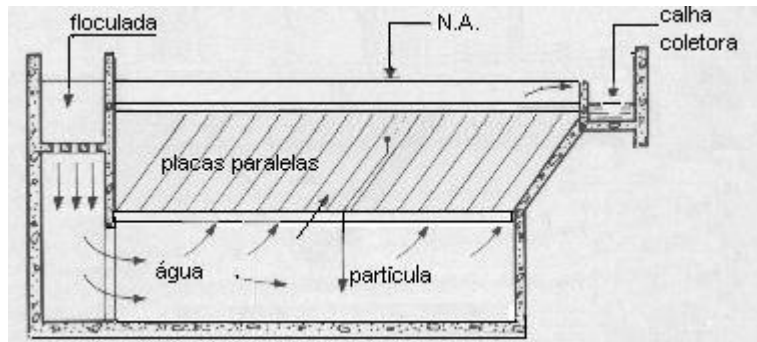
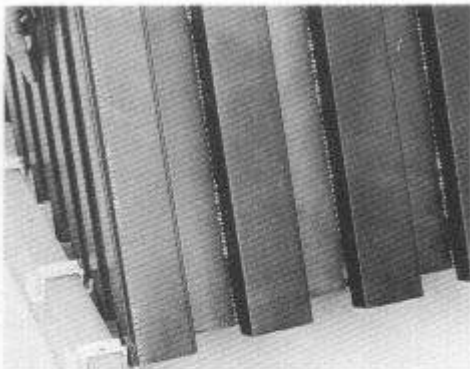


Figura 17 - Corte esquemático de um decantador de placas paralelas



Os módulos obtidos devem ser colocados nos apoios utilizando-se os suportes de PVC rígido TIGRE, que podem ficar inclinados, se o ângulo do projeto assim determinar. Os diversos módulos podem ser soldados entre si no decantador, usando-se o mesmo processo citado anteriormente.

Assim por exemplo, a Tubos e Conexões Tigre desenvolveu um perfil retangular de PVC rígido para construção dos referidos módulos, como pode ser observado na figura ao lado.

Os perfis são fornecidos na cor preta, nas dimensões 50 x 90 mm e em comprimentos de acordo com as necessidades do projeto. Como complemento, dispõe de suportes de PVC rígido, que simplificam a montagem e a desmontagem do sistema instalado no decantador, e a solução THF, um solvente especial para a soldagem dos perfis entre si.

7.3.5 Forma

Quanto a forma, os decantadores retangulares em planta funcionam melhor quando a relação comprimento/largura é maior do que 5:1, por reduzirem curto-circuitos, com 4 a 6 m de profundidade. O número de decantadores em uma estação depende, essencialmente, da capacidade da instalação, bem como do número de etapas de construção, ao longo do período de projeto. As menores estações têm pelo menos duas, em geral três unidades. As maiores podem ser projetadas com até mais de dez decantadores.

7.3.6 Informações complementares

a) Dispositivos de entrada

A finalidade de tais dispositivos é criar condições para que o fluxo horizontal da água seja o mais uniforme possível, aproximando-se daquele concebido para a bacia ideal de sedimentação. É mais comum entre nós o emprego de uma cortina de madeira ou de concreto perfurada, cujos orifícios devem ser dimensionados para velocidades de 0,12 a 0,24 m/s.



Figura 18 - Um detalhe da calha coletora de água decantada

b) Dispositivos de saída.

É mais comum o emprego de vertedores e canaletas, colocados no extremo de jusante dos decantadores retangulares ou na periferia dos tanques circulares com entrada central. A vazão por metro linear do vertedor ou borda da canaleta não deve ultrapassar 15 l/s, recomendando-se valores de 2 a 7 l/s.

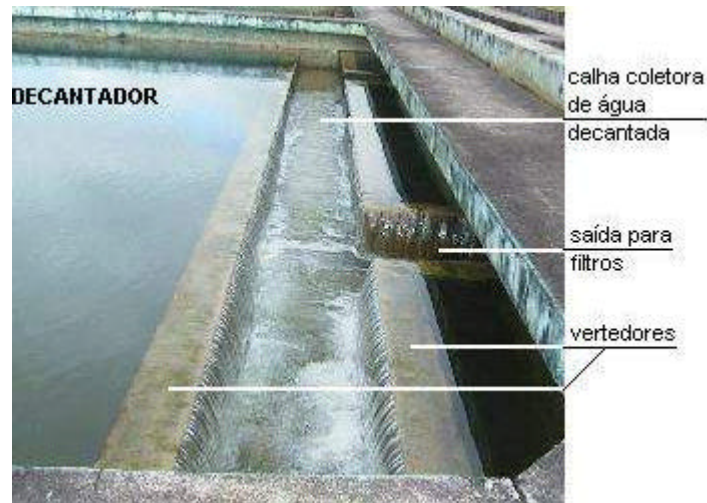


Figura 19 - Um detalhe da calha coletora de água decantada



c) Eficiência.

A eficiência dos decantadores é tanto maior quanto mais suas condições de funcionamento se aproximarem daquelas que caracterizam a bacia ideal de sedimentação. Em outras palavras, o decantador é tanto mais eficiente quanto maior o seu tempo de escoamento T_i se aproximar do tempo de detenção T . A eficiência é caracterizada pelo fator de deslocamento f , expresso em

percentagem, ou seja, $f = 100T_i/T$, onde o valor de f não deve ser inferior a 40%.

Na prática a eficiência dos decantadores é medida pela turbidez da água decantada que é conduzida para os filtros. A turbidez deve ser inferior a 5 unidades.

8. Filtração

A filtração é um processo físico em que a água atravessa um leito filtrante, em geral areia ou areia e carvão, de modo que partículas em suspensão sejam retidas produzindo um efluente mais limpo. Tradicionalmente existem dois processos distintos de filtração: filtração lenta e filtração rápida. A opção por um dos métodos depende principalmente da qualidade da água bruta e do volume a ser tratado e implica em profundas diferenças no projeto da ETA.

O processo de filtração lenta é um pouco estático em suas alternativas de projeto. O processo de filtração rápida é bastante dinâmico em termos de alternativas de desenhos, podendo ser projetado com materiais diferentes no leito filtrante, dispositivos para aumento da capacidade de filtração, bem como fluxos por gravidade ou forçados, ascencionais ou descendentes.

8.1 Filtração lenta

A filtração lenta é um processo simples e de grande eficiência. O inconveniente é que ele funciona com taxas de filtração muito baixas, sendo aplicável apenas às águas de pouca turbidez (até 50 ppm), exigindo, por isso, grandes áreas de terreno e volume elevado de obras civis.

A velocidade ou taxa de filtração pode ser determinada a partir de exames de observações em instalações semelhantes que tratam água de qualidade comparável. Geralmente essa taxa varia entre 3 e 9 m^3/m^2 .dia, sendo mais freqüente entre 3 e 4 m^3/m^2 .dia. Acima dessa taxa pode resultar em uma água qualidade insatisfatória.

A estrutura vertical dos filtros lentos compreende as seguintes camadas
:

- Altura livre sobre a água de 0,25 - 0,30 m;
- Altura da coluna de água de 0,85 -1,40;
- Camada de areia de 0,90 -1,10m;
- Camada de pedregulho de 0,25 - 0,35;
- Drenos de 0,25 - 0,45.

Essa distribuição resulta em uma altura total da ordem de 2,50 a 3,60 m.

A areia deve ter as seguintes características:

- Ser isenta de matérias orgânicos;
- Situar-se entre as peneiras de 0,15mm a 1,41mm;
- Obedecer os parâmetros de caracterização com $D_e = 0,30\text{mm}$ e

$D_{60} = 0,75\text{mm}$.

O fundo de filtro geralmente é constituído por drenos compreendendo uma tubulação principal ao longo da linha central, alimentado por laterais igualmente espaçadas e perfuradas, nos seguintes diâmetros:

- No principal, de 0,20 a 0,60 m;
- Nas laterais de 0,05 a 0,15 m, dependendo do tamanho do filtro.

Esses drenos devem ser projetados com velocidades baixas, da ordem de 0,30 m/s no principal e 0,20 m/s nas laterais. Também podem ser construídos empregando-se manilhas com juntas abertas.

A limpeza, ou recuperação da taxa de filtração, consiste na remoção de 2 a 4cm da camada superior a medida que o filtro perder sua capacidade de produção. Quando a altura do leito arenoso estiver reduzida à espessura de 0,60m, devido às sucessivas operações de limpeza, deve-se providenciar a reposição da areia até o restabelecimento da altura do leito original.

Quanto aos resultados os filtros lentos têm um excelente desempenho na remoção de bactérias, superiores aos filtros rápidos quanto à uniformidade dos resultados. Em geral podem-se apresentar como expectativa os seguintes valores:

- Remoção de turbidez - 100%;
- Remoção de cor (baixa) - < 30%;
- Remoção de Ferro - até 60%;
- Boa remoção de odor e sabor;
- Grande remoção de bactérias - > 95%.

A operacionalmente tem as vantagens de facilidade e simplicidade de operação e fácil controle, porém são importantes desvantagens a sua inviabilidade para turbidez superior a 40ppm ou para turbidez + cor acima de 50ppm e, tamém, sua baixa velocidade de filtração, o que implica em grandes áreas de ocupação. Assim os filtros lentos têm sua aplicabilidade restrita a tratamento de pequenas vazões de consumo, águas pré-sedimentadas ou de baixa turbidez, e para localidades onde os terrenos não sejam muito valorizados.

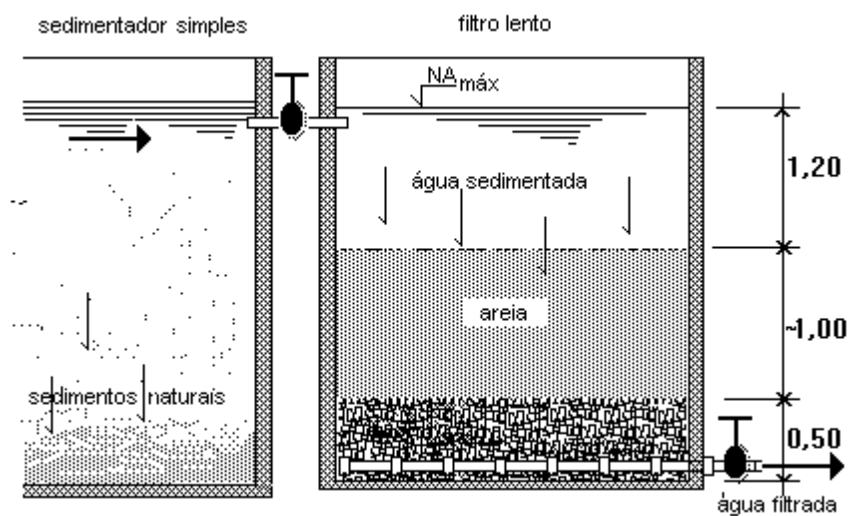


Figura 20 - Esquema vertical de um filtro lento

8.2 Filtração rápida

8.2.1 . Introdução

Cinqüenta a sessenta por cento das impurezas ficam retidas no decantador. A água com o restante das impurezas, flocos mais leves e partículas não floculadas, sai dos decantadores e segue para o processo de filtração, para retirada desse restante das impurezas. Nesta fase os filtros rápidos tornam-se unidades essenciais em uma estação convencional, e por isso exigem cuidadosa operação. Eles constituem uma "barreira sanitária" importante, podendo reter microrganismos patogênicos que resistem a outros processos de tratamento.

8.2.2 Taxas de filtração

São projetados a partir da taxa de filtração geralmente compreendida entre 120 (com leito simples de areia) e 300 m³/m².dia, dependendo da qualidade de operação, do sentido do fluxo, se de leito simples ou duplo etc. Unidades com capacidade de filtração além de 150 m³/m².dia, em geral são denominadas de filtros de alta taxa, sendo por emprego de mecanismos ou recursos que promovam o aumento da produção de água têm por objetivo a redução da área filtrante.

8.2.3 Quantidade

O número de filtros em uma estação depende da magnitude da instalação, do número de etapas de construção, do arranjo geral e tamanho das tubulações e de fatores econômicos (Figura 21). Tradicionalmente sugere-se um mínimo de três unidades para vazões de até 50 litros/s, 4 para 250, 6 para 500, 8 para 1000, 10 para 1500 como exemplos. Quando os filtros forem lavados diretamente com a água por eles produzida o número mínimo é quatro. Por medida prática geralmente se adota um número par de filtros (além de três).



Figura 21 - Vista parcial da bateria de filtros da ETA Gravatá

8.2.4 Dimensões

O tamanho dos filtros varia desde alguns metros quadrados até área de 40 m². Além disso, em estações grandes geralmente adotam-se filtros duplos por razões econômicas. Atualmente reconhece-se as grandes vantagens dos filtros de dupla camada: carvão antracito e areia. São mais seguros e mais eficientes.

8.2.5 Limpeza

À medida que o filtro vai funcionando acumula impurezas entre os interstícios do leito filtrante, aumentando progressivamente a perda de carga e redução na sua capacidade de filtração. Quando essa perda atinge um valor preestabelecido ou a turbidez do efluente atinge além do máximo de operação, deve ser feita a lavagem. O tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra consecutivas é chamado de *carreira de filtração*. Ao final desse período, deve ser lavado para a retirada da sujeira que ficou retida no leito de filtragem. Uma carreira de filtração fica em torno de 20 a 30 horas, podendo em situações esporádicas, principalmente no início do período chuvoso, ocorrer mais de uma lavagem por dia. Esta lavagem tem aspectos bem peculiares.

Os filtros rápidos são lavados contracorrente com velocidade e vazão suficientes para criar turbulência suficiente para causar o desprendimento das impurezas retidas e naturalmente grudadas nos grãos do leito filtrante. Neste processo ocorre a expansão do leito filtrante e o transporte da sujeira antes retida pela água de lavagem. Essa água suja efluente deve ter um destino adequado e, dependendo da escassez de água, recuperada para novo tratamento (Figura 22).

Para filtros de fluxo operacional descendente, durante a lavagem a água deve atingir taxas da ordem de 800 a 1300 m³/m².dia, durante 6 a 10 minutos, conforme a necessidade de limpeza e a quantidade de sujeira. Emprega-se água completamente tratada, de preferência com o mesmo pH da encaminhada aos filtros para filtração, proveniente de um reservatório em cota mais alta, ou ser impulsionada por bombas, em situações menos comuns.



Figura 22 - Lavagem de filtros. Na foto de cima o início (areia fluidificando) e na de baixo a lavagem em pleno funcionamento (observar o funcionamento das calhas coletoras)

A experiência tem demonstrado a conveniência de complementar a lavagem contracorrente por um sistema adicional de lavagem superficial dos filtros. Há dois tipos de lavagem auxiliar: o sistema fixo com jatos produzidos por bocais regularmente espaçados (Figura 23) e o sistema móvel, rotativo, com bocais espargidores.



Figura 23 - Fotografia de um filtro seco onde se vê a malha de tubos do sistema fixo de contracorrente ou lavagem auxiliar

8.2.6 Filtro rápido convencional de areia (Figura 24)

Os filtros rápidos convencionais de areia, fluxo descendente, apresentam as seguintes características:

- Taxa de filtração: $120\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$;
- Lavagens 1 a 2 vezes por dia, tempo de 10 minutos, taxa de 800 a $1300\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, consumo aproximado de 6% da água produzida;
- Características da areia: $0,60\text{mm} \leq D \leq 1,41\text{mm}$ com $0,40\text{mm} \leq D_e \leq 0,60\text{mm}$ e coeficiente de uniformidade inferior a 1,55;
- Acamada de pedregulho, suporte do leito filtrante, deve ter uma altura aproximada de 50 cm e ser constituída na seguinte granulometria de cima para baixo: de 3/16 e 3/32" numa espessura de cerca de 0,06 m; de 1/2 e 3/16" 0,07 m; 3/4 e 1/2" 0,10 m; 1 1/2 e 3/4" 0,12 m; 2 1/2 e 1 1/2" 0,15 m.

Sob a camada de pedregulho fica o sistema de fundo com dimensões e forma que dependem do tipo selecionado pelo projetista, inclusive algumas padronizadas tradicionais como o tipo *Manifold*.

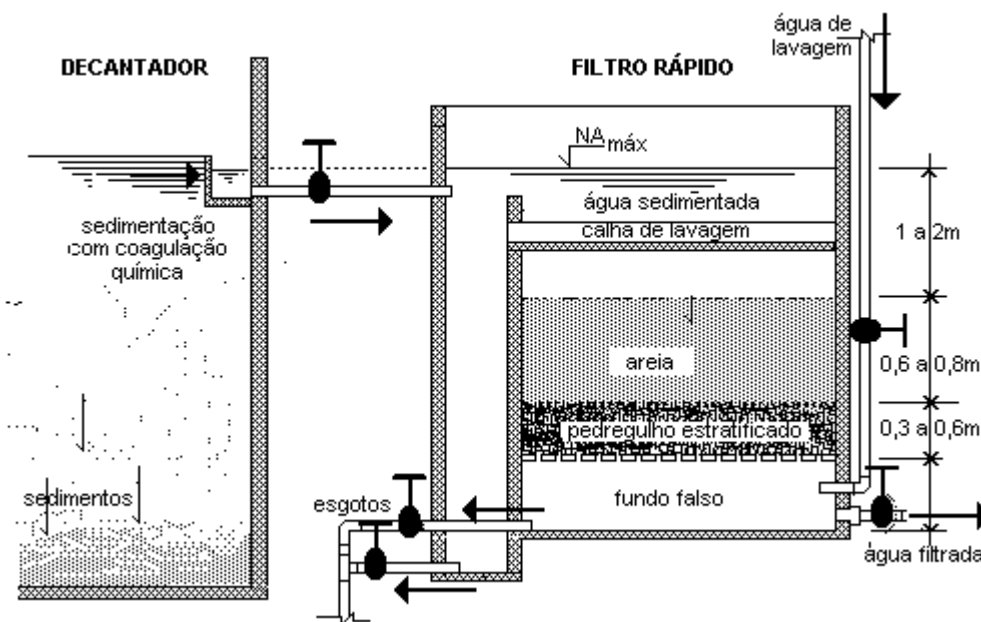


Figura 24- Esquema vertical de um filtro rápido

Como resultados apresentam uma boa remoção de bactérias (90 a 95%), grande remoção de cor e turbidez, pouca remoção de odor e sabor. Como vantagens são citadas

maior rendimento, menor área, aproveitamento de águas de pior qualidade, e como desvantagens requerem um controle rigoroso da ETA, pessoal habilitado e especializado, casa de química, laboratório de análise, além de um significativo consumo de água tratada. Esse consumo pode atingir cerca de 8% da produção diária de água tratada em uma ETA.

8.2.7 Filtração em leitos duplos (areia + antracito)

A estrutura dos filtros compreende as seguintes camadas:

- Altura livre acima da água 0,20 a 0,40 m;
- Camada de água a filtrar 1,40 a 1,80 m;
- Camada de antracito 0,45 a 0,60 m;
- Camada de areia 0,20 a 0,30 m;
- Camada de pedregulho 0,20 a 0,50 m;
- Altura total 2,45 a 3,60 m.

Sob a camada de pedregulho fica o sistema de fundo com dimensões que dependem do tipo selecionado.

Os materiais filtrantes devem seguir a seguintes especificações:

- Tamanho efetivo da areia: 0,4 a 0,5 mm;
- Coeficiente de uniformidade: inferior a 1.55;
- Tamanho efetivo do antracito: 0,8 a 1,0 mm.

Existem estudos onde o antracito foi substituído por carvão vegetal (coco babaçu) com resultados bastante satisfatórios.

8.2.8 Filtração direta

Excepcionalmente, em situações em que certas águas apresentam condições favoráveis o tratamento de pode-se prescindir da decantação, procedendo-se diretamente à filtração rápida. São caso em que a turbidez não ultrapassa as 40 unidades e a cor não exija dosagens significantes de coagulante. As águas provenientes de reservatórios de acumulações, com baixa turbidez e pequena variação de qualidade durante o ano, são as mais indicadas para esse tipo de tratamento.

Nestes casos, após a mistura rápida pode-se proceder à coagulação em flocoadores de detenção relativamente curta, com cerca de 15 minutos, e a taxa de filtração pode ser maior do

que a usual e o consumo de água para lavagem dos filtros é mais elevado. Porém a filtração direta possibilita economia de 20% a 40% na construção de estações de tratamento.

8.2.9 Parâmetros de Projeto

- Definição da concepção do sistema de filtração (simples, dupla camada ou tripla camada)
- Definição da granulometria dos materiais filtrantes e sua respectiva espessura
- Definição do controle hidráulico do sistema de filtração (Taxa de filtração constante (com variação ou não de nível) ou taxa de filtração declinante)
- Concepção do fundo falso e sistema de drenagem
- Definição das características da camada suporte
- Fixa-se a taxa de filtração
 - Camada simples de areia (def=0,5 mm): 120 m³/m²/dia
 - Dupla camada areia-antracito: 240 m³/m²/dia
 - Camada simples de areia (def=1,2 a 2,0 mm): 360 m³/m²/dia a 480 m³/m²/dia
- Cálculo da área total de filtração

$$q = \frac{Q}{A_{\text{filtração}}}$$

- Cálculo aproximado do número de filtros

$$N = 1,2 \cdot Q^{0,5}$$

Q =vazão em mgd
1 mgd = 3.785 m³/d

- Definição do número de filtros
- Determinação da área individual de cada filtro Recomendável (25 m² a 100 m²)

$$A_f = \frac{A_{\text{total}}}{N}$$

- Definição das dimensões de cada filtro. Recomendável que seja efetuado em função das dimensões dos decantadores

- Definição do método e sistema de lavagem
- Cálculo da velocidade mínima de fluidificação e velocidade ascensional de água de lavagem para valores pré-determinados de expansão do meio filtrante
- Dimensionamento do sistema de lavagem (Tubulações, válvulas demais e acessórios)
- Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem
- Definição da carga hidráulica disponível e cálculo do perfil hidráulico

Exercício Resolvido:

DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES
DE FILTRAÇÃO

Parâmetros de Projeto

Vazão: 1,0 m³/s

Filtros de dupla camada areia-antracito

Taxa de filtração: 240 m³/m²/dia

Lavagem com ar seguido de água em contra-corrente

Sistema de drenagem composto por blocos Leopold

Taxa de filtração constante com variação de nível

Número de decantadores: 04

Largura do decantador: 12,0 m

- Cálculo da área total de filtração

$$q = \frac{Q}{A_{tf}}$$

$$A_{tf} = \frac{Q}{q} = \frac{86.400 \text{ m}^3 / \text{dia}}{240 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{dia}} = 360 \text{ m}^2$$

- Cálculo aproximado do número de filtros

Utilizando a formulação empírica proposta por KAWAMURA, tem-se que:

$$N = 1,2.Q^{0,5}$$

N=número de filtros

Q=vazão em mgd (1 mgd = 3.785 m³/dia)

$$N = 1,2.22,83^{0,5} = 5,7$$

Em função do número de decantadores, serão admitidos um total de 08 filtros, sendo 02 filtros associados a cada decantador.

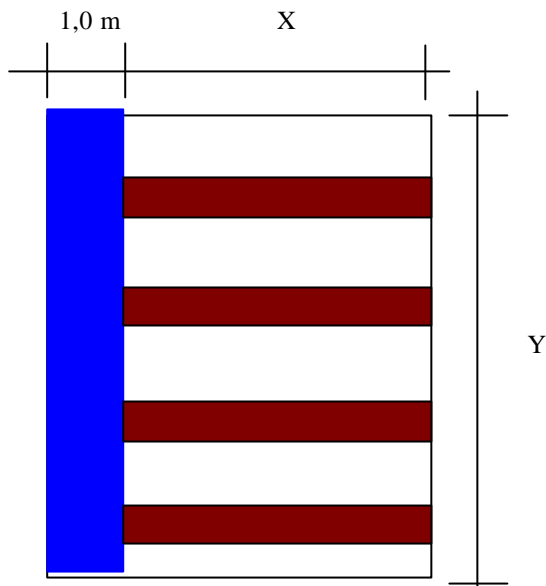
- Cálculo da área de cada filtro

$$A_f = \frac{A_{tf}}{N} = \frac{360 \text{ m}^2}{08} = 45 \text{ m}^2$$

- Definição das dimensões básicas de cada filtro

Cada filtro será composto por uma única célula e canal lateral de coleta de água de lavagem, com largura igual a 1,0 metros a fim de que seja possível a instalação da comporta de saída de água de lavagem.

Cada decantador apresenta uma largura individual de 12,0 metros e, admitindo-se que a cada um esteja associado 02 filtros, tem-se que:



$$1,0 \text{ m} + X = 6,0 \text{ m}$$

$$X = 5,0 \text{ m}$$

$$X.Y = 45,0 \text{ m}^2$$

$$Y = 9,0 \text{ m}$$

Portanto, vamos adotar:

$$X = 5,0 \text{ m}$$

$$Y = 9,0 \text{ m}$$

- Características dos materiais filtrantes

Os filtros serão do tipo dupla camada, constituídos de areia-antracito. As suas características granulométricas a serem adotadas estão apresentadas na Tabela 1.

Material	Altura (m)	Diâmetro efetivo (mm)	C.Unif.	d₆₀ (mm)	Massa específica (kg/m³)	Porosidade	Coef. Esfericidade
Areia	0,3	0,5	1,5	0,75	2.750	0,45	0,80
Antracito	0,5	1,0	1,5	1,5	1.600	0,55	0,55

- Verificação da grandeza L/d_{ef} .

$$\frac{L}{d_{ef}} = \sum \frac{L}{d_{ef}} = \frac{300}{0,5} + \frac{500}{1,0} = 1.100 \quad (\geq 1.000 \text{ OK})$$

- Definição da camada suporte

Dado que a lavagem do material filtrante será efetuado com ar e água, utilizando-se o bloco Leopold como sistema de drenagem, a camada suporte deverá ter a seguinte composição (Recomendação do fabricante)

Tabela 1 – Composição da camada suporte sugerida para a ETA

Camada	Granulometria	Altura
Camada 1	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (Topo)
Camada 2	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 3	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 4	1,6 mm a 3,2 mm	5,0 cm
Camada 5	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 6	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 7	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (Fundo)
Total		35 cm

Será adotada uma velocidade ascensional de água de lavagem igual a 1,3 cm/s, que corresponde a uma taxa igual a 1.123,20 m³/m²/dia.

- Cálculo da vazão de água de lavagem

$$Q_{AL} = v.A_f = 1,3.10^{-2} \text{ m/s} . 45 \text{ m}^2 = 0,585 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Cálculo do volume de água de lavagem

Admitindo que a duração da lavagem do meio filtrante seja de 10 minutos, tem-se que:

$$\text{Volume} = Q_{AL} . t = 0,585 \text{ m}^3 / \text{s} . 10 \text{ min} . 60 \text{ s} / \text{min} = 351 \text{ m}^3$$

$$\text{Re servação} = 2 . \text{Vol} = 702 \text{ m}^3$$

$$\text{Re servação} = 750 \text{ m}^3 \text{ (Adotado)}$$

- Dimensionamento da tubulação de água de lavagem

Será adotada uma velocidade igual a 2,5 m/s. Portanto, tem-se que:

$$Q_{AL} = V . \frac{p . f^2}{4} \qquad f = \sqrt{\frac{4 . 0,585}{p . 2,5}} = 0,564 \text{ m}$$

$$f = 600 \text{ mm (Adotado)}$$

- Cálculo da vazão de ar

Será adotado uma vazão de ar durante a lavagem de 15 l/s/m^2 . Deste modo, tem-se que:

$$Q_{AR} = 15 \text{ l/s/m}^2 \cdot 45 \text{ m}^2 = 675 \text{ l/s}$$

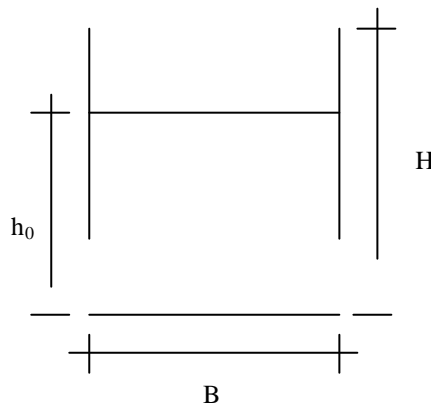
- Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem

Serão admitidas inicialmente 5 calhas por filtro. Assim sendo, a sua vazão individual será de:

$$Q_{calha} = \frac{0,585 \text{ m}^3 / \text{s}}{5} = 0,117 \text{ m}^3 / \text{s}$$

O nível d'água máximo de água na calha coletora pode ser calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = 1,38 \cdot B \cdot h_0^{1,5}$$



Para diferentes valores de largura de calha, tem-se que:

B (m)	h_0 (m)
0,2	0,564
0,4	0,655
0,5	0,306
0,6	0,271
0,8	0,224

Será adotada calha com largura igual a 0,5 metros e altura igual a 0,4 metros.

A altura da calha em relação ao meio filtrante pode ser estimada pela seguinte relação:

$$(0,5.L + D) \leq H_0 \leq (L + D)$$

$$(0,5.0,8 + 0,4) \leq H_0 \leq (0,8 + 0,4)$$

$$(0,8) \leq H_0 \leq (1,2)$$

Portanto, será adotado um valor de H_0 igual a 1,0 metro.

O espaçamento entre as calhas é dado por:

$$Esp = \frac{9,0 \text{ m}}{05 \text{ calhas}} = 1,8 \text{ m}$$

$$1,5H_0 \leq S \leq 2,5H_0$$

$$1,5.1,0 \leq S \leq 2,5.1,0$$

- Dimensionamento do vertedor de saída de água filtrada

A vazão por filtro é de 125 l/s. Admitindo que o vertedor seja retangular, tem-se que:

$$Q = 1,84 \cdot B \cdot h_0^{1,5}$$

Para alguns valores de B, tem-se que:

B (m)	h_0 (m)
0,5	0,264
0,8	0,193
1,0	0,166
1,2	0,147
1,5	0,127

Será adotado uma câmara vertedora por filtro com largura igual a 1,0 metros.

9. Desinfecção

Depois de filtrada, a água deve receber a adição de cal para correção do pH, a desinfecção por cloro e a fluoretação. Nesta fase a desinfecção por cloro é freqüentemente

chamado de *pós-cloração*. Só então ela está própria para o consumo, garantindo a inexistência de bactérias e partículas nocivas à saúde humana. que poderiam provocar surtos de epidemias, como de cólera ou de tifo. É essencial o monitoramento da qualidade das águas em seus laboratórios, durante todo o processo de produção e distribuição. A desinfecção é o processo de tratamento para a eliminação dos microrganismos patogênicos eventualmente presentes na água. Quase todas as águas de abastecimento são desinfetadas para melhoria da qualidade bacteriológica e segurança sanitária.

A ação por oxidação consegue-se empregando MnO_4K , H_2O_2 e O_3 e a ação por envenenamento tratando-se com halogênios: F, Cl, Br e I ou compostos destes como, por exemplo, o hipoclorito de cálcio. O tratamento com *ultra violeta* definiu-se como ação física, embora este tratamento seja mais empregado na *esterilização*.

9.1 Cloração

A cloração é considerada, aqui, um processo de desinfecção aplicável a todas as águas. Por razões econômicas e de praticabilidade operacional, deve-se adotar em cada caso sempre os processos mais simples: Em ordem de complexidade os processos de tratamento são:

- simples desinfecção;
- processos sem coagulação química: filtração lenta;
- processos que envolvem coagulação química, filtração rápida e desinfecção;
- processos complementares e especiais.

9.1.1 Simples desinfecção

A simples desinfecção somente é admitida no caso de águas que sempre permanecem com um número baixo de bactérias do tipo coliforme: NPM ou *Número Mais Provável* inferior a 50 por 100 ml, ou seja, aplicável às águas de qualidade relativamente boa. No caso de cloração simples, o processo mais usual, ela será tanto mais efetiva quanto mais baixo for o pH e quanto mais elevada for a temperatura da água.

9.1.2 Desinfecção da água pelo Cloro

O método mais econômico e usual para a desinfecção da água em sistemas públicos é a cloração. Em instalações médias e grandes emprega-se o cloro gasoso, obtido em cilindros de aço contendo líquido e gás. Em instalações pequenas, menos de 40 l/s, o emprego de soluções de hipoclorito pode ser mais vantajoso.

O cloro aplicado à água reage, podendo produzir vários compostos, com capacidades diferentes de desinfecção, inclusive inativos. É muito importante verificar quais compostos serão formados.

- HOCl excelente desinfetante predomina em pH abaixo de 6,0;
- OCl⁻ desinf. menos ativo predomina em pH acima de 7,5;
- dicloroamina bom desinfetante predomina em pH abaixo de 6,0;
- monocloroamina desinfetante pouco ativo predomina em pH acima de 7,5

Assim verifica-se a conveniência de realizar a desinfecção em pH relativamente baixo, onde se formam desinfetantes mais ativos.

9.1.3. Métodos de cloração da água

Há diversos métodos de cloração da água, os quais na prática devem ser examinados para que se adote a solução mais vantajosa do ponto de vista técnico-econômico. A qualidade da água e a segurança que se deve ter são fatores predominantes nessa seleção. Outros fatores são os problemas de cheiro e gosto e o tempo disponível para contato com o desinfetante. Conforme o método utilizado pode-se empregar mais ou menos cloro e deve-se exigir maior ou menor tempo de contato, podendo-se, ainda, evitar a não formação de compostos clorados indesejáveis.

Os métodos mais usuais de acordo com a ordem crescente de quantidade e a segurança necessária são:

- cloração simples (processo mais usual);
- pré e pós-cloração;
- cloração ao ponto de quebra;
- supercloração;
- amônio-cloração;
- cloração com bióxido de Cloro

A *cloração simples* é aplicável às águas de qualidade relativamente boa e normalmente é feita como última (podendo ser a única) etapa do tratamento. A *pré-cloração* é feita no caso de águas cuja poluição recomenda maiores cuidados e deve ser realizada antes da filtração, de preferência após decantação.

A chamada *cloração ao ponto de quebra* é um processo mais seguro, aplicável para águas muito poluídas e que exige, portanto, doses bem mais elevadas de cloro. São produzidos residuais livres e mais estáveis, após a oxidação total de amônia, cloraminas e outros compostos. A superdoração, mais raramente empregada, é aplicável às águas ainda de pior qualidade. Ela é feita com dosagens bastante elevadas de cloro, para assegurar residuais da ordem de 3 ppm, sendo posteriormente seguida da remoção do excesso de cloro mediante a aplicação de bissulfito de sódio.

A *amônio-cloração* pode ser adotada em substituição a outras formas de cloração que possam produzir mau cheiro e mau gosto devido a interferência com impurezas que reagem desfavoravelmente ao cloro, como os fenóis que formam clorofenóis. É uma opção para a desinfecção com cloraminas, produzindo-se, portanto, residuais combinados. Os residuais combinados são menos ativos e mais lentos do que os residuais de cloro livre, sendo, porém, mais estáveis.

No caso em que o propósito é simplesmente de eliminar cheiro e gosto desagradável da água clorada indica-se a cloração com o *dióxido de cloro*. O dióxido também é recomendado nos casos em que a cloração venha a produzir compostos clorados indesejáveis na água, como os perigosíssimos *trihalometanos*. O dióxido de cloro normalmente é preparado na própria estação de tratamento, fazendo-se a reação de uma solução concentrada de cloro com o clorito de sódio (NaClO_2), em pH bem baixo.

9.1.4. Procedimentos iniciais do processo de desinfecção pelo cloro

- Exame da qualidade da água a desinfetar e sua variação;
- Análise de eventuais problemas relativos a odor e sabor após a cloração;
- Estimativa da temperatura mínima da água;
- Verificação de pH da água no ponto a ser aplicado o cloro;
- Avaliação do tempo de contato que se precisa ter ou que se pode ter;
- Verificação da demanda de cloro pela água, em diferentes ocasiões;
- Seleção do método de cloração e realização de ensaios;
- Fixação do residual de cloro a ser mantido;
- Previsão da dosagem máxima de cloro e cálculo da quantidade;

- Projeto do sistema de dispersão e mistura do cloro na água;
- Estudo, especificações e dimensionamento dos aparelhos, equipamentos e instrumentos necessários, inclusive balanças e material de segurança;
- Determinação das reservas de cloro (estoques) a serem mantidas.

Os sistemas de empregados para se efetivar a cloração, incluindo aparelhos, equipamentos, tubos e instrumentos necessários, inclusive balanças e o clorador propriamente dito, é denominado de *sistema de cloração*. Na figura abaixo (Figura 25) observa-se um esquema para um clorador de gás.

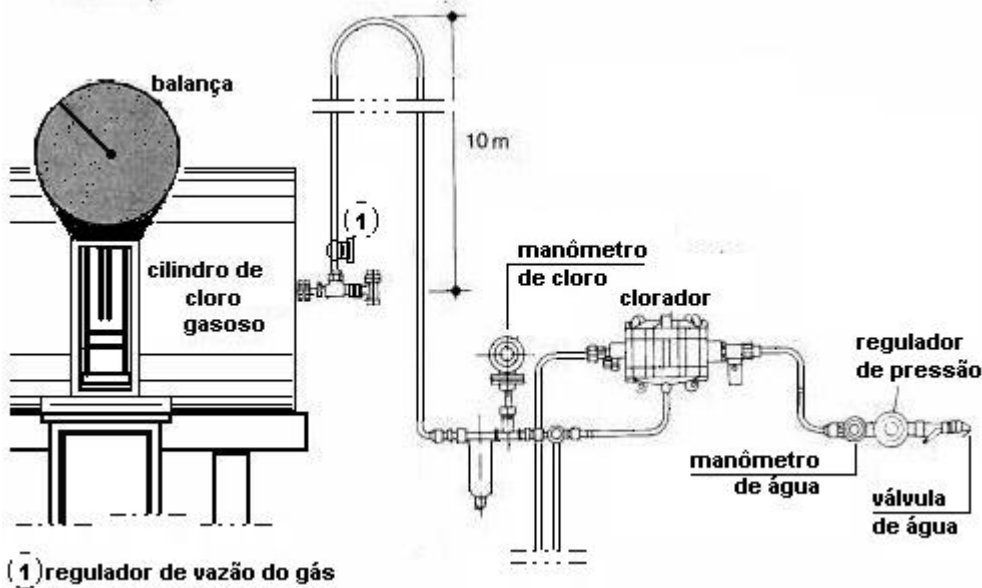


Figura 25 - Esquema típico de um clorador com cloro gasoso

9.1.5. Residuais mínimos e tempos de contato

Os residuais mínimos de cloro a serem mantidos na água logo após a cloração e o tempo do contato a prevalecer antes do consumo da água são de 0,2 ppm livre por 20 min e combinados (pH 6 a 7) de 1,0 ppm por 120 min.

9.1.6. Medida do pH e do cloro residual

Muitas determinações podem ser feitas com outras escalas e outros reativos para determinação da qualidade da água, porém as mais comuns são o controle do pH e da presença de cloro residual. A medida aproximada do pH da água e do cloro livre ou combinado pode ser feita com facilidade em quaisquer locais por processos especialmente colorimétricos.

Para isso é necessário que se tenha um comparador, com escala de cores, reativos especiais e instruções para emprego.

No comércio existem estojos contendo o aparelho e os reativos necessários, com instruções próprias para emprego. Comparando-se a intensidade de cor obtida na amostra de água após a aplicação do reativo específico encontra-se a cor da escala que mais se aproxima da resultante na amostra, podendo-se, então, ler o resultado encontrado. As determinações normalmente feitas compreendem:

- determinação do pH da água, de 4 a 11;
- determinação do cloro livre, de 0,1 a 3,0 ppm;
- determinação do cloro total, igual a *cloro livre + cloro combinado (cloraminas)*.

Se forem produzidas *cloraminas* deve-se ter em mente que a *dicloramina* é menos eficiente do que o *ácido hipocloroso*, sendo, porém, mais estável e de ação mais lenta. A dicloramina chega a ser três vezes mais ativa do que a *monocloramina*. A distribuição das cloraminas formadas depende do pH da água. Por exemplo, para pH igual a 5 a produção de dicloramina é de 70% contra 30% de monocloramina, enquanto que pH igual a 7 a produção de dicloramina é de monocloramina chega a 96%, o que mostra a importância de se fazer a cloração em pH baixo, de preferência antes da correção do pH.

9.1.7. Instalações de cloração (com gás)

As salas de cloração devem ter acesso fácil e duplo, de preferência com uma porta para o exterior e janelas com abertura total para o exterior. Na sala onde fica o cilindro de cloro em uso e sua balança de controle (Figura 26), devem ser mantidos equipamentos de segurança, máscaras, conjuntos para primeiros socorros, instruções gerais e manuais básicos de operação e de procedimentos em situações de emergência. A vazão que sai de um cilindro varia em função de pressão do sistema.



Figura 26 - Balança de cloração para cilindro de cloro gasoso

9.1.8. Demanda de cloro

O cloro, sendo um forte oxidante, reage com diversas substâncias produzindo cloretos inorgânicos e orgânicos estáveis sem o poder desinfetante. As reações ocorrem com Ferro, Manganês, NO_2 , H_2S etc. A quantidade de cloro que se consome nessas reações constitui o que se denomina *demanda de cloro*. Ela varia em função das impurezas da água a ser desinfetada e deve ser determinada experimentalmente.

9.2 O Cloro

A cloração de águas de abastecimento constitui o processo mais comum e eficiente para a produção de água de boa qualidade. O cloro é um halogênio gasoso que foi isolado pela primeira vez em 1774 pelo químico e farmacêutico sueco Karl Wilhem Scheele (1742-1786), que o imaginou um ácido. Somente em 1810 Humphry Davy, químico inglês, reconheceu a natureza elementar do cloro, dando-lhe esse nome pela sua cor. Composto, ele totaliza 0,02% da crosta terrestre e 0,15% do corpo humano.

De cor amarela-esverdeada e daí o seu nome, que em grego significa essa cor, é o mais denso dos gases e não se encontra em estado livre na natureza. É um gás irritante e sufocante e não corrosivo em estado puro e em ambientes sem umidade.

Comprimindo-se o cloro em recipientes metálicos ele passa ao estado líquido, em condições de liberar o gás. Assim o cloro é transportado em forma líquida (pressurizado) e suas principais características são: grande poder oxidante, alvejante e desinfetante e é largamente empregado na produção de celulose e de papel, nas indústrias químicas de solventes e de corantes, na indústria têxtil, na Engenharia Sanitária etc.

9.2.1 História

Há vários processos para a sua produção. O mais comum e importante é o processo eletroquímico desenvolvido industrialmente pelo químico belga Ernest Solvay (1838-1922), em 1865. Com esse processo se produz soda cáustica, sobrando como subproduto o Cloro comercial. Sua produção industrial iniciou-se nos EEEUU, em 1892, pela Oxford Paper Co, em Rumford Falis, no Maine. Em 1905 foi empregado pela primeira vez como desinfetante em água potável na Inglaterra, por Sir Alexander Houston, cognominado o *pai da cloração*.

Nos Estados Unidos a aplicação do cloro no sistema de abastecimento água de Jersey City, em 1908. Para ampliar os conhecimentos relativos à cloração e promover o uso do cloro como desinfetante, foi criado o Instituto do Cloro, nos Estados Unidos. No Brasil, a cloração das águas foi iniciada em 1926 pela antiga Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo.

A excelente qualidade do cloro como desinfetante não se explica exclusivamente pelo seu extraordinário poder oxidante. Ele tem a capacidade de atravessar a membrana que protege os micróbios, passando a combinar internamente com substâncias celulares vitais,

envenenando-os. Outro fator que promove a popularidade do cloro é o seu comportamento inerte organicamente em relação ao organismo humano, não provocando, por exemplo, situações alérgicas nos usuários.

9.2.2 O Cloro e seus compostos

Para a desinfecção de águas de abastecimento pode-se empregar cloro puro, como gás e compostos de cloro que na água libere o elemento desinfetante. Os compostos são utilizados nos casos de pequenas vazões, menos de 4,0 litros/s, e em serviços provisórios. O emprego do cloro puro requer aparelhos especiais e pessoal habilitado. Ele é fornecido na forma liquefeita em cilindros de aço, com tamanhos que variam de 40 kg a 900 kg de cloro. Os compostos de cloro mais comumente usados em desinfecção são:

- Água sanitária líquido (solução) 2 a 3%;
- Cal clorada pó 25 a 30%;
- Hipoclorito de sódio líquido 10 a 15 %;
- Hipoclorito de cálcio pó, grãos, tabletes, pastilhas, 65 a 75%.

9.3 Tratamentos Especiais

9.3.1. Fervura

O método mais seguro de tratamento para a água de beber, em áreas desprovidas de outros recursos, é a *fervura*. Ferver a água para beber é um hábito que se deve difundir na população para ser adotado quando sua qualidade não mereça confiança e em épocas de surtos epidêmicos ou de emergência. A água fervida perde o ar nela dissolvido e, em consequência, torna-se de sabor desagradável. Para fazer desaparecer esse sabor, é necessário arejar a água, fazendo-a passar o líquido de um recipiente para outro com agitação suficiente de modo que o ar atmosférico penetre na massa de água.

9.3.2 Correção da dureza

A dureza da água é devida à presença de cátions metálicos divalentes, os quais são capazes de reagir com sabão formando precipitados e com certos ânions presentes na água para formar crostas. Os principais íons causadores de dureza são cálcio e magnésio, sob forma de carbonatos, bicarbonatos e sulfatos, tendo um papel secundário o zinco e o estrôncio. Algumas vezes, alumínio e ferro férrico são considerados como contribuintes da dureza. É chamada de *temporária* quando desaparece com o calor, e *permanente*, quando não desaparece sob aquecimentos. Quando a dureza é numericamente maior que a alcalinidade total a fração da dureza igual a esta última é chamada de *dureza de carbonato* e a quantidade em excesso é chamada de *dureza de não carbonato*. Quando a dureza for menor ou igual à alcalinidade total toda a dureza presente é chamada de dureza de carbonato e a dureza de não carbonato estará ausente.

Domesticamente reconhece-se que uma água é mais dura ou menos dura, pela maior ou a menor facilidade que se tem de obter, com ela, espuma de sabão. A água dura tem uma série de inconvenientes:

- É desagradável ao paladar;
- Gasta muito sabão para formar espuma e dificulta atividades de higiene;
- Dá lugar a depósitos perigosos nas caldeiras e aquecedores;
- Deposita sais em equipamentos e vasilhames empregados no cozimento de alimentos ou no aquecimento de água;
- Mancha louças.

Os processos de remoção de dureza da água são muito dispendiosos e muito freqüentemente os sistemas de abastecimento distribuem água com teores superiores aos convencionais de potabilidade, quando não há mananciais alternativos, considerando-se sua tolerância pelo organismo humano e os custos finais de produção, o que resultaria em um produto mais caro para o consumidor.

Os principais processos de remoção de dureza da água são o *da cal-solda*, de *zeólitos* ou o de *osmose inversa*. Na prática do tratamento a dureza é um parâmetro de utilização limitada a certos métodos baseados em reações de precipitação como é o caso do tratamento com cal. Em situações específicas convém conhecer-se as durezas devidas ao cálcio e ao magnésio, individualmente. Este é o caso do processo *cal-soda* de abrandamento de água no

qual tem-se necessidade de conhecer a fração da dureza de magnésio para estimar a demanda de cal.

Os *zeólitos* têm a propriedade de trocar o sódio, que entra na sua composição, pelo cálcio ou magnésio dos sais presentes na água dura, reduzindo a sua dureza. A tecnologia de *osmose inversa* teve origem na década de 60, para a produção de água de qualidade superior, disseminando-se seu uso na produção industrial a partir da década seguinte e popularizou-se a partir do início da década de 80 com a descoberta da segunda geração de membranas, as membranas de película fina compostas, enroladas em espiral, descobertas em 1978. Estas membranas operam com baixa pressão e, conseqüentemente, com reduzido consumo de energia.

A *osmose* é um fenômeno natural físico-químico que ocorre quando duas soluções, com diferentes concentrações, são colocadas em um mesmo recipiente separado por uma membrana semi-permeável, onde ocorre naturalmente a passagem do solvente da solução mais diluída para a solução mais concentrada, até que se encontre o equilíbrio. A coluna de solução mais concentrada estará acima da coluna da solução mais diluída e esta diferença se denomina de *pressão osmótica*. O processo de *osmose inversa* consiste na aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada.

9.3.3 Remoção de ferro

A água que passa por camadas ferruginosas, na falta de oxigênio suficiente, dissolve sais de ferro sob forma de sais ferrosos. Quando por exemplo, retirada de um poço, essa água apresenta o inconveniente de manchar a roupa, as pias e de corroer as tubulações. O processo utilizado para a remoção do ferro depende da forma como as impurezas de ferro se apresentam. Para águas limpas que prescindem de tratamento químico, como as águas de (poços, fontes, galerias de infiltração), contendo bicarbonato ferroso dissolvido (na ausência de oxigênio), utiliza-se a simples aeração. Se o ferro estiver presente junto com a matéria orgânica, as águas, em geral, não dispensarão o tratamento completo com aeração inicial (aeração, coagulação, floculação, decantação e filtração).

9.3.4 Correção de acidez excessiva

É obtida pelo aumento do pH, com a adição de cal ou carbonatos. Na prática rural, consegue-se a remoção fazendo-se a água passar por um leito de pedra calcária.

9.3.5 Remoção de odor e sabor desagradáveis

Depende da natureza das substâncias que os provocam. Como métodos gerais, usam-se:

- carvão ativado;
- filtração lenta;
- tratamento completo.

Em algumas águas subterrâneas, o odor de gás sulfídrico desaparece com a aeração.

9.4 Fluoretação das águas

Com a descoberta da importância dos sais de flúor na prevenção da cárie dental, quando aplicados aos indivíduos na idade suscetível, isto é, até aos 14 anos de idade, e em ordem decrescente de efetividade à medida que aumenta a idade da criança, generalizou-se a técnica de fluoretação de abastecimento público como meio mais eficaz e econômico de controle da cárie dental. As aplicações no abastecimento de água fazem-se por meio de aparelhos dosadores, sendo usados o *fluoreto de sódio*, o *fluossilicato de sódio* e o *ácido fluossilícico*.

Os sistemas públicos de abastecimento de água fluoretada deverão obedecer os seguintes requisitos mínimos:

- Abastecimento contínuo da água distribuída à população, em caráter regular e sem interrupção;
- A água distribuída deve atender os padrões de potabilidade;
- Sistemas de operação e manutenção adequados;
- Controle regular da água distribuída.

A concentração de íon fluoreto varia, em função da média das temperaturas máximas diárias, observadas durante um período mínimo de um ano, recomendando-se cinco anos. A concentração ótima situa-se em torno de 1,0 mg/l. Após dez a 15 anos de aplicação do fluor na água, para cada criança é efetuado um levantamento dos dentes cariados, perdidos e obturados, denominado índice cpo, para avaliação da redução de incidência de cáries. No final da década de 70 iniciou-se, no Governo Figueiredo, iniciou-se a fluoretação experimental de água no Brasil, nas capitais e nas maiores cidades do interior, a cargo da extinta Fundação

SESP. A fundação então foi a pioneira na aplicação da *fluorita*, sal encontrado no Brasil e de fácil aplicação onde no tratamento de água emprega-se sulfato de alumínio, e usando o dispositivo mostrado na Figura 27. Com a comprovação do sucesso do tratamento do ponto de vista de seus objetivos, no Governo Sarney foi tornado obrigatório o emprego da fluoretação nas estações de tratamento, porém na prática isto não aconteceu.

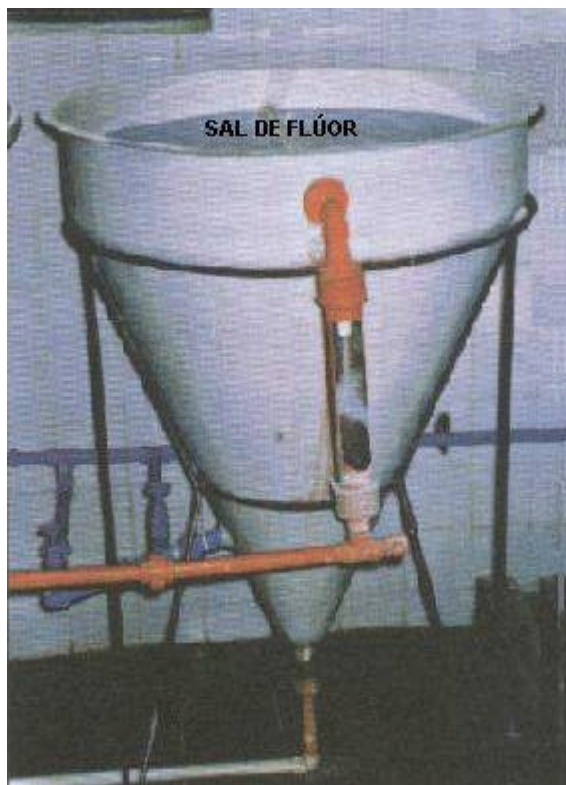


Figura 27 - Cone de saturação ou dosador de flúor

9.5 Dessalinização de água

A água salobra ou do mar transforma-se em água potável através da tecnologia de *osmose inversa* para dessalinização da água. A osmose é um fenômeno natural físico-químico, é o nível final de processos de filtração disponíveis com a utilização de membranas. Na Região Nordeste muitas localidades têm empregado dessalinizadores para produção de águas de abastecimento, tanto para processar águas salobras de origem superficial ou subterrânea.

9.6. Tratamentos para outros fins

Para outras finalidades, consumo industrial por exemplo, a água deve ser analisada segundo a finalidade: *água de refrigeração* e *água para produção de vapor*.

9.7 Águas de refrigeração

É aquela que é aplicada no campo industrial como líquido refrigerante, na absorção de calor de um corpo quente. A presença de sais de cálcio e magnésio e de microrganismos na água de refrigeração deve ser evitada. A formação de depósitos de silicato e carbonatos de cálcio e magnésio no interior de equipamentos e tubulações provoca a redução da eficiência da troca de calor. Além da corrosão das tubulações causada pela presença de gases dissolvidos e do tratamento inadequado da água, também o crescimento de algas nas linhas afeta a taxa de transferência de calor e, portanto, a economia do processo.

9.8 Águas de produção de vapor

No caso de *água para produção de vapor*, à medida que se evapora dois fenômenos ocorrem. A concentração de sólidos dissolvidos aumenta até que atinjam sua solubilidade, quando precipitam, formando incrustações no interior das caldeiras e tubulações. Essas incrustações acarretarão queda de pressão, diminuição na taxa de transferência de calor e menor vazão de vapor; em certos casos, essas incrustações se desprendem e a variação repentina de gradiente térmico entre a superfície da incrustação e a superfície metálica provoca a explosão da caldeira. Os sólidos que, porventura, não formarem incrustações serão lançados na fase de vapor, mantendo sua má qualidade. O maior problema nesse caso é a presença de sílica nas caldeiras com pressões superiores a 27 atmosferas, pois então ela é lançada na fase de vapor, podendo causar deformações mecânicas e, até mesmo, a explosão do equipamento.

9.9 Águas de processo

Chama-se *água de processo* a que participa diretamente das reações químicas por um mecanismo de hidrólise ou de dissolução. Seu tratamento compreende a remoção da acidez, da alcalinidade, da dureza, do ferro e de outros minerais, conforme as exigências da aplicação.

Exercício Resolvido:

DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES
DE DESINFECÇÃO E FLUORETAÇÃO

Parâmetros de Projeto

Vazão: $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Dosagem mínima de cloro: $0,8 \text{ mg/l}$

Dosagem média de cloro: $1,5 \text{ mg/l}$

Dosagem máxima de cloro: $2,5 \text{ mg/l}$

Tempo de contato: 30 minutos

Concentração de flúor na água bruta: $0,1 \text{ mg/l}$

Concentração de flúor na água final: $0,9 \text{ mg/l}$

Profundidade da lâmina líquida= $3,5 \text{ m}$

1. Dimensionamento do sistema de desinfecção

- Cálculo do volume do tanque de contato

$$q_h = \frac{V_{ol}}{Q}$$

$$V_{ol} = Q \cdot q_h = 1,0 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 30 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} / \text{min} = 1.800 \text{ m}^3$$

- Definição da geometria do tanque de contato

Será admitido um nível d'água no tanque de contato igual a 3,5 metros. Deste modo, tem-se que:

$$A_s = \frac{V_{ol}}{H} = \frac{1.800 \text{ m}^3}{3,5 \text{ m}} \cong 515 \text{ m}^2$$

Admitindo uma relação entre o comprimento e sua largura entre 3,0 e 4,0, tem-se que:

$$A_s = B.L = 3.B^2 = 515 \text{ m}^2$$

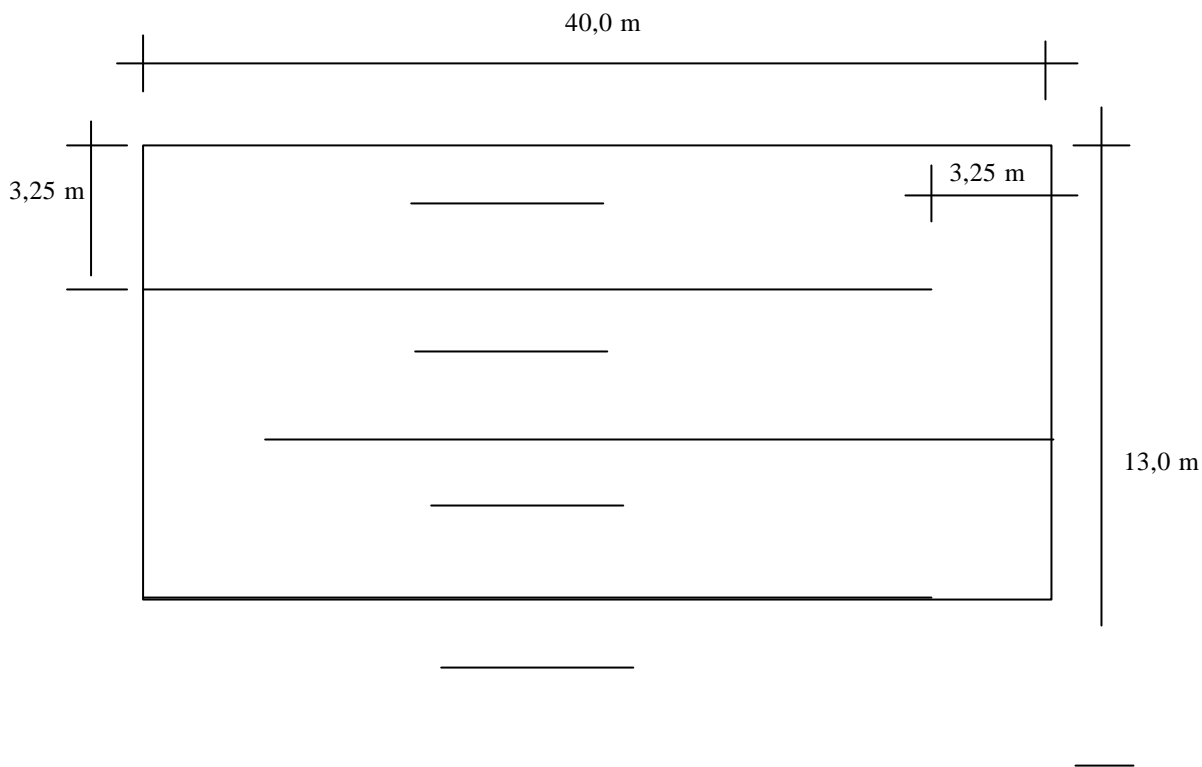
$$B = 13,10 \text{ m}$$

Portanto, vamos adotar:

$$B = 13,0 \text{ m}$$

$$L = 40,0 \text{ m}$$

$$H = 3,5 \text{ m}$$



- Verificação da velocidade nas passagens e canal principal

$$V_h = \frac{Q}{A_h} = \frac{1,0 \text{ m}^3 / \text{s}}{3,5 \text{ m} \cdot 3,25 \text{ m}} = 0,088 \text{ m} / \text{s}$$

- Cálculo do consumo diário de cloro

$$\text{Massa} = Q \cdot C \cdot \Delta t$$

$$\text{Massa}_{\text{mínima}} = \frac{86.400 \text{ m}^3 / \text{dia} \cdot 0,8 \text{ g} / \text{m}^3}{1.000 \text{ g} / \text{kg}} = 69,12 \text{ kg} / \text{dia}$$

$$\text{Massa}_{\text{média}} = 129,6 \text{ kg} / \text{dia}$$

$$Massa_{média} = 216 \text{ kg / dia}$$

- Dimensionamento do sistema de reservação

Será admitido que o sistema de reservação tenha uma autonomia de 20 dias.

$$Massa = 216 \text{ kg / dia} \cdot 20 \text{ dias} = 4.320 \text{ kg}$$

Opção 1 : Cloro Gasoso

05 Cilindros de 01 tonelada cada.

Opção 2 : Hipoclorito de sódio

Concentração da solução: 12,0% em peso como Cl₂
Massa específica da solução: 1.220 kg/m³

$$0,12 = \frac{M_{produto}}{M_{solução}} = \frac{4.320 \text{ kg}}{M_{solução}}$$

$$M_{solução} = 36.000 \text{ kg}$$

$$V_{volume} = \frac{M_{solução}}{\rho_{solução}} = \frac{36.000 \text{ kg}}{1.220 \text{ kg / m}^3} = 29,5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{volume}} = 30,0 \text{ m}^3 \text{ (Adotado)}$$

2. Dimensionamento do sistema de fluoretação

- Cálculo da massa diária

$$\text{Massa} = Q.(C_{AF} - C_{AB}).\Delta t$$

$$\text{Massa}_{\text{mínima}} = \frac{86.400 \text{ m}^3 / \text{dia} \cdot 0,8 \text{ g} / \text{m}^3}{1.000 \text{ g} / \text{kg}} = 69,12 \text{ kg} / \text{dia}$$

A aplicação de flúor será efetuada na forma de ácido fluossilícico

- Cálculo da massa de ácido fluossilícico

Mol $\text{H}_2\text{SiF}_6 = 144,1 \text{ g}$

Massa de F por mol de $\text{H}_2\text{SiF}_6 = 114$

$$\text{Massa} = \frac{69,12 \cdot 144,1}{114} = 87,37 \text{ kg} / \text{dia}$$

- Dimensionamento do sistema de reservação

Será admitido que o sistema de reservação tenha uma autonomia de 20 dias.

$$Massa = 87,37 \text{ kg} / \text{dia} \cdot 20 \text{ dias} = 1.747,4 \text{ kg}$$

Concentração da solução: 22,0% em peso como H_2SiF_6
Massa específica da solução: 1.260 kg/m^3

$$0,22 = \frac{M_{\text{produto}}}{M_{\text{solução}}} = \frac{1.747,4 \text{ kg}}{M_{\text{solução}}}$$

$$M_{\text{solução}} = 7.942,74 \text{ kg}$$

$$V_{\text{volume}} = \frac{M_{\text{solução}}}{\rho_{\text{solução}}} = \frac{7.942,74 \text{ kg}}{1.260 \text{ kg} / \text{m}^3} = 6,30 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{volume}} = 7,0 \text{ m}^3 \text{ (Adotado)}$$

Roteiro simplificado para dimensionamento hidráulico de uma ETA convencional

Para informações complementares, consultar livros de tratamento de água e a NBR-12216. Na Figura 1 tem-se a representação de alguns arranjos das principais unidades de tratamento que compõem uma ETA convencional, sem o tanque de contato.

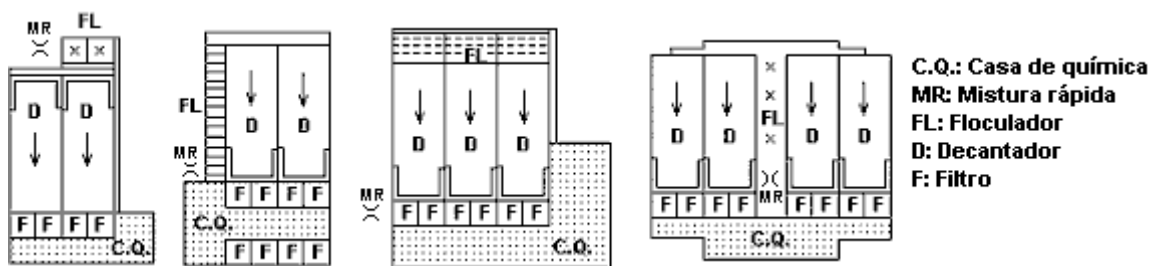


Figura 1 – Exemplo de arranjos das unidades de uma ETA convencional

Unidade de mistura rápida (roteiro simplificado)

Existem diversos tipos de unidades de mistura rápida, neste exemplo será considerado o emprego de um medidor Parshall para promover a mistura rápida, o esquema é apresentado na Figura 2. Definir o medidor Parshall que será utilizado com base na Tabela 1 a partir da vazão Q que será tratada na ETA.

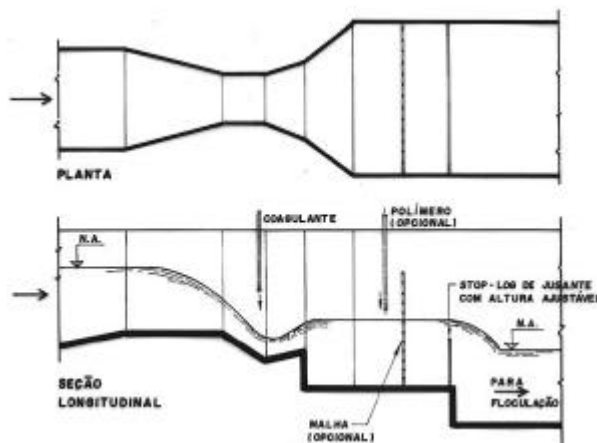


Figura 2 – Representação esquemática de um medidor Parshall

Unidade de floculação (roteiro simplificado)

Existem diversos tipos de unidades de floculação, neste exemplo será considerado o emprego da unidade mecanizada cujo esquema é apresentado na Figura 3.

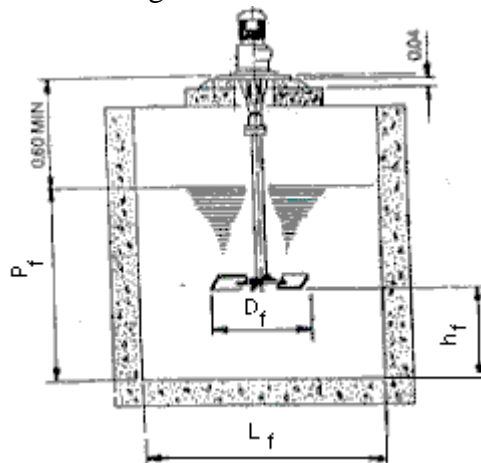


Figura 3 – Representação esquemática de um floculador mecanizado

Dimensionar a unidade de floculação de uma ETA considerando que deve haver no mínimo duas linhas de floculação sendo que cada linha possui pelo menos três câmaras em série. Os gradientes de velocidade médios de floculação (G), atendendo recomendação de norma, variarão de 10 a 70 s^{-1} . Adotar um tempo de floculação (T_f) que esteja compreendido entre 30 a 40 min. Adotar o seguintes dados:

- Seção da câmara em planta: quadrada
 - Profundidade útil (P_f): 3,5 a 4,5 m
 - Lado da câmara (L_f)= máximo 7,5 m para o tipo de rotor considerado neste exemplo
 - Tipo de equipamento:turbina de escoamento axial
 - Tipo de rotor: paletas inclinadas a 45° ($K_{tb} \cong 1,4$)
 - Diâmetro do rotor (D_f) = adotar um valor que satisfaça as relações geométricas do item 4.
 - Distância do rotor ao fundo da câmara (h_f)= 1,1 m
- Cálculo do tempo de detenção (T_d) em uma câmara: $T_d = T_f/n$, em que n é o número de câmaras em série

- Cálculo do volume de 1 câmara: $V = Q' \times T_d$. (No caso, $Q' = Q/(\text{número de linhas de floculação})$).
- Calcular o lado da câmara de floculação (L_f), sabendo que ela é quadrada em planta.
- Relações geométricas a serem obedecidas (para unidades mecanizadas com equipamento do tipo turbina de escoamento axial).

$$2,0 \leq \frac{L_f}{D_f} \leq 6,6 \qquad 2,7 \leq \frac{P_f}{D_f} \leq 3,9$$

$$0,9 \leq \frac{h_f}{D_f} \leq 1,1$$

- Gradiente de velocidade médio e rotação
 $P_u = \mu V G^2$ (fazer o cálculo para $G_{\min} = 10 \text{ s}^{-1}$ e $G_{\max} = 70 \text{ s}^{-1}$)
 $P_{u\max} = 0,001 \times V \times G_{\max}^2 = \text{_____ Nm/s}$
 (considerando μ para a temperatura de 20° C)
 $P_{u\min} = 0,001 \times V \times G_{\min}^2 = \text{_____ Nm/s}$
 (considerando μ para a temperatura de 20° C)

Este cálculo é feito para especificar a potência do motor que será utilizado nas unidades de floculação.

Unidade de decantação (roteiro simplificado)

Para este exemplo, considerar o projeto de um decantador convencional com escoamento horizontal cuja remoção do lodo será realizada hidráulicamente. O esquema da unidade de decantação está representado na Figura 4.

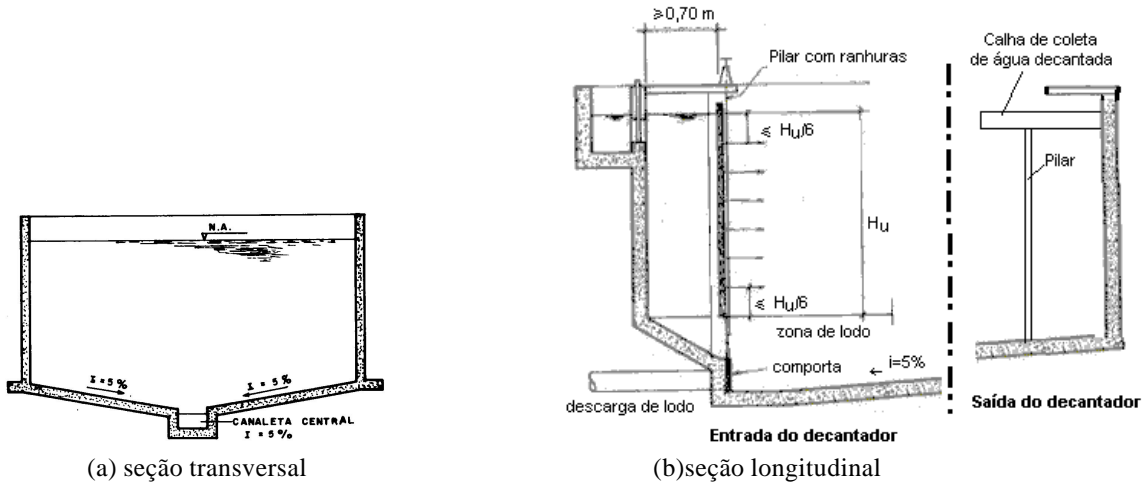


Figura 4 – Representação esquemática de um decantador convencional com escoamento horizontal

1. Estabelecer o número de decantadores (no mínimo 2)
2. Adotar uma taxa de aplicação superficial (TAS) que esteja entre 20 e 40 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e considerar a altura útil igual a 4,0 m. Com esses dados e com a vazão, determinar a área em planta. ($A=Q/TAS$)
3. Adotar a seguinte relação entre o comprimento (C) e a largura (L) do decantador: $2 \leq C/L \leq 5$
4. Verificar se a velocidade de escoamento horizontal (V_L) resultou menor ou igual a 18 vezes a taxa de escoamento superficial: $V_L=(\text{vazão afluyente ao decantador})/(\text{área da seção transversal})$
5. Dimensionar a comporta de descarga do lodo. A área da comporta é calculada pela equação

$$A_c = \frac{A_{pd}}{4850 \cdot t_{desc}} \sqrt{H}, \text{ em que: } A_c: \text{ área da comporta (m}^2\text{), } A_{pd}: \text{ área em planta do decantador (m}^2\text{), } H: \text{ altura útil do decantador,}$$

6. Dimensionar o comprimento total das calhas de coleta de água decantada considerando que a vazão máxima por metro linear de vertedor é de $1,8 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e que as calhas não devem ocupar mais do que 30 % do comprimento do decantador. Para dimensionar a seção transversal das calhas, considerando-as retangular, pode-se utilizar a equação $q=1,3 \cdot B \cdot H^{1,5}$, sendo q a vazão por calha (m^3/s), B a largura (m) e H a altura da calha (m). Recomenda-se uma folga de aproximadamente 10 cm na altura da calha em relação ao valor calculado.

Unidade de filtração (roteiro simplificado)

Na Figura 5 tem-se a representação de uma unidade de filtração onde se pode identificar: canal de descarga da água de lavagem, canal de entrada de água decantada, calhas de coleta de água de lavagem, meio filtrante, camada suporte, fundo falso do filtro, tubulação de água para lavagem, tubulação de coleta de água filtrada e vertedor de água filtrada.

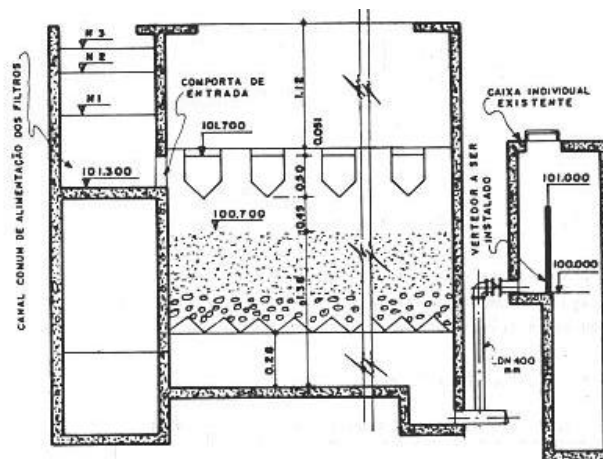


Figura 5 – Unidade de filtração

1. Calcular a área total de filtração com base na equação $TF = Q/A_F$, em que TF: taxa de filtração (considerar valores compreendidos entre 180 e 360 $m^3 m^{-2} d^{-1}$), A_F : área total de filtração (m^2)
2. Definir o número de unidades de filtração. Deve-se prever no mínimo dois filtros.
3. Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem. Considerar velocidade ascensional da água de lavagem igual a 0,8 m/min e calha retangular com descarga livre cuja vazão pode ser calculada por $Q=1,3.B.H^{1,5}$. Supor $B=0,5m$ e calhas espaçadas entre si de no máximo 2,5 m. Considerar uma folga de aproximadamente 10 cm no valor calculado de H.

Tanque de contato (roteiro simplificado)

É recomendado que a cloração da água visando a desinfecção seja realizada em pH inferior a 8,0 e que o tempo de contato seja, no mínimo 30 min. Conhecendo-se a vazão a ser tratada e definindo-se o tempo de contato pode-se então calcular o volume do tanque. Supondo, por exemplo, que a altura do tanque de contato seja h, o tempo t e a vazão Q, resulta a seguinte área em planta (A):

$$A=Q.t/h$$

REFERENCIA BIBILOGRÁFICA

DI BERNARDO, LUIZ. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Vol I e II. ABES, Rio de Janeiro, 1993.

CETESB. Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol I e II. CETESB, São Paulo, 1976.

NETTO, AZEVEDO. Manual de Hidráulica. 8ª edição. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1998.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de Saneamento. 3ª edição, Brasília, 2004.

NOTAS DE AULA : ESCOLA POLITÉCNICA DA USP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

