

WALTERLER ALVES DE SOUZA

Tratamento de Água

CEFET-RN
Editora

WALTERLER ALVES DE SOUZA

TRATAMENTO DE ÁGUA

Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro da Educação

Fernando Haddad

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

Eliezer Moreira Pacheco

CEFET-RN

Diretor Geral

Francisco da Chagas de Mariz Fernandes

Diretor da Unidade Sede de Natal

Enilson Araújo Pereira

Diretor de Ensino

Belchior de Oliveira Rocha

Diretor de Pesquisa

José Yvan Pereira Leite

Coordenador da Editora do CEFET-RN

Samir Cristino de Souza

WALTERLER ALVES DE SOUZA

TRATAMENTO DE ÁGUA

CEFET-RN
Excellence

2007

TRATAMENTO DE ÁGUA

Copyright 2007 da Editora do CEFET-RN

Todos os direitos reservados

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora do CEFET-RN.

Divisão de Serviços Técnicos.

Catálogo da publicação na fonte.

CEFET/RN / Biblioteca Sebastião Fernandes

S729t Souza, Walterler Alves de.

Tratamento de água/ Walterler Alves de Souza. – Natal :
CEFET/RN, 2007.
152 p.

Contém Bibliografia
ISBN: 978-85-89571-37-1

1. Água – Tratamento. 2. Estudo Hidrológico – Água. 3. Água –
Utilização. I. Título.

CEFET-RN/BSF

CDU: 628.16
CDD: 628.162

EDITORAÇÃO

Samir Cristino de Souza

DIAGRAMAÇÃO E CAPA

Aysla Monique Fernandes Ferreira

CONTATOS

Editora do CEFET-RN

Av. Sen. Salgado Filho, 1559, CEP 59015-000

Natal-RN. Fone: (0XX84) 4005-2668, 3215-2733

E-mail: dpeq@cefetrn.br

SUMÁRIO

Prefácio	7
I - Introdução.....	9
1. Ciclo Hidrológico.....	9
2. Bacia Hidrográfica.....	10
3. Consumo de água.....	11
4. Parâmetros de qualidade para os diversos usos da água.....	12
5. Distribuição da demanda de água em uma localidade.....	13
II - Tratamento de água.....	13
1. Tratamento de água.....	13
2. Estação de tratamento de água.....	13
3. Tipos de tratamentos.....	13
4. Elementos a serem considerados no tratamento de água.....	17
5. Finalidades do tratamento de água.....	25
6. Parâmetros de projeto.....	26
III - Principais processos de tratamento de Água.....	29
1. Aeração.....	29
2. Desinfecção.....	44
3. Clarificação.....	62
4. Filtração.....	105
5. Estações de tratamento de água compactas.....	120
6. Fluoretação.....	144
7. Correção do potencial hidrogeniônico.....	147
8. Referências.....	148

PREFÁCIO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os principais tipos de tratamento de água empregados pelos serviços públicos de abastecimento de água, procurando sintetizar o máximo possível todos os conteúdos de modo a torná-los mais acessíveis aos estudantes dos cursos técnicos.

Considerando o fato de que à medida que o desenvolvimento aumenta, se verifica uma interferência cada vez maior do homem sobre os mananciais, tornando-os mais poluídos ainda, de modo que a água a ser fornecida a população, quer para seu consumo direto, quer para o emprego industrial, necessite de tratamentos mais intensos e melhores. Assim as empresas fornecedoras de água têm aumentado em muito os custos sem o tratamento de água inclusive com o treinamento e contratação de mão de obra especializada.

Neste livro efetuamos um pequeno estudo hidrológico da água, contemplando o ciclo hidrológico, as bacias hidrográficas em quanto relacionamos os usos da água e principais requisitos de qualidade, bem como as demandas da mesma. Quanto ao tratamento, relacionamos os principais elementos a serem considerados juntamente com os principais produtos químicos, materiais e equipamentos, as finalidades do tratamento, parâmetros de projeto, principais métodos de tratamento.

Para tanto foram consultados outros livros e catálogos dos fabricantes de materiais e equipamentos.

Finalmente também são apresentados exercícios resolvidos para que o aluno possa firmar melhor sua aprendizagem.

I - INTRODUÇÃO

1 - CICLO HIDROLÓGICO

A água tem a sua ocorrência na natureza sob a forma sólida, representada por neve, gelo e granizo, sob a fórmula líquida, como é a água da chuva e sob a forma gasosa que é a neblina, tendo como base o ciclo hidrológico, de modo que a radiação do Sol, provoca a evaporação das águas dos rios, dos lagos, da vegetação e dos oceanos, formando as nuvens. Quando ocorre a precipitação, podemos ter chuva, neve ou granizo que por sua vez, formam geleiras, rios ou lagos. Parte dessa água se infiltra no solo, indo recarregar os lençóis subterrâneos, que por sua vez, surgem na superfície através das nascentes, de modo a fornecer a água para a vegetação e mantendo todos sistemas biológicos. Já outra parte que se infiltrou é restituída a atmosfera por meio da evapotranspiração. A precipitação infiltrada também vai alimentar os rios, lagos e os oceanos, também mantendo a vegetação e os sistemas biológicos.

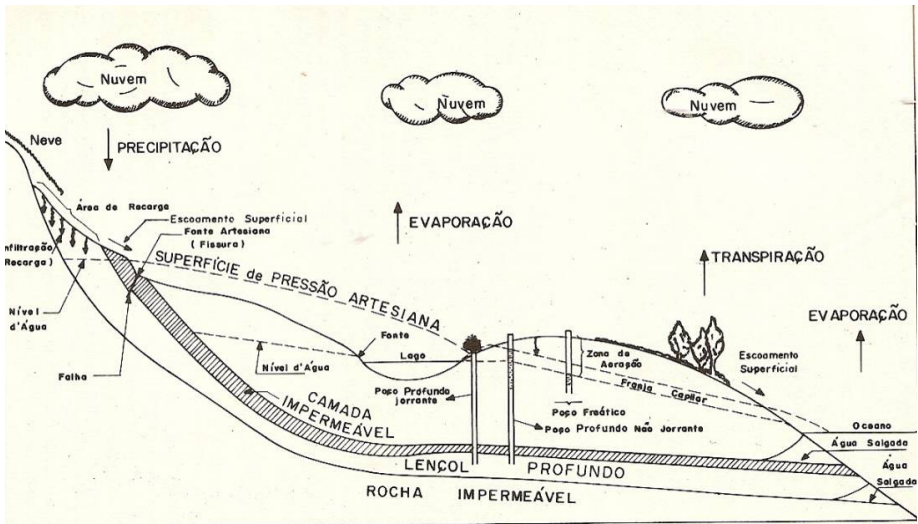


Figura 1: Ciclo hidrológico

De toda a água na natureza, 97,4% é salgada (oceanos) e o restante, 2,6% é representado pelos rios, lagos e fontes subterrâneas, ou seja, a superfície do planeta é de 510.000.000 km², e as águas correspondem a 70,8% desta superfície totalizando 361.000.000 km², no entanto, a maior parte desse percentual não tem um aproveitamento

direto, pois formam as geleiras e lençóis profundos, onde a captação se torna economicamente inviável. Desse percentual aproveitável, cerca de 0,3 %, a maior parte, está poluída ou não oferece condições para consumo.

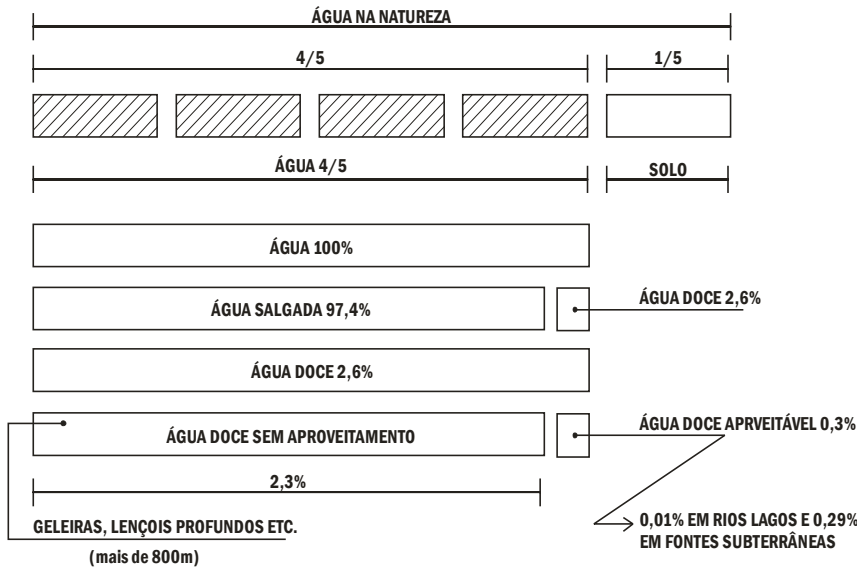


Figura 2: A água na natureza

2 - BACIA HIDROGRÁFICA

A Bacia Hidrográfica é formada pelo ciclo hidrológico e é definida como uma área drenada total ou parcialmente por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos de água, dispendo apenas de uma única saída. É na bacia hidrográfica que ocorrem os grandes impactos ambientais, provenientes da ocupação humana e suas mais diversas atividades, tais como os processos industriais, as atividades agrícolas, e a produção de rejeitos e dejetos humanos. Os corpos receptores, sempre foram a base da história do homem, já que as grandes cidades foram construídas ao longo dos rios, dos lagos e dos mares.

Durante o processo de infiltração das águas no solo, a sua composição química está sempre sendo modificada pelas interações com os elementos minerais das rochas e do solo (Silva Filho, 1993)

A água subterrânea, além de se um bem econômico, é considerada mundialmente uma fonte primordial de abastecimento de água para consumo humano, para as populações que não têm acesso à rede pública de abastecimento. Apesar da ausência de dados completos sobre as dimensões de sua utilização, estima-se que mais de 50 % da água potável do Brasil provém dos aquíferos subterrâneos.

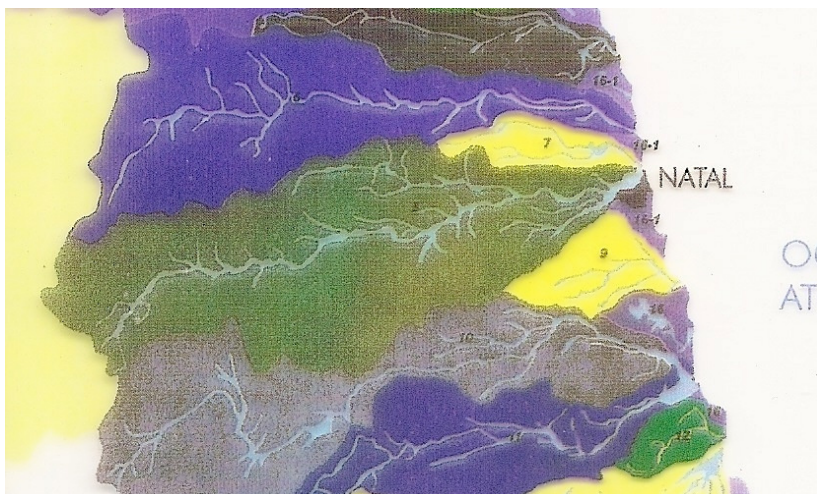


Figura 3: Algumas Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Norte

.3 - CONSUMO DE ÁGUA

Consumo	Tipos
Consumo Doméstico	Consumo humano, cozimento dos alimentos, asseio corporal, lavagem de roupa, lavagem de utensílios domésticos, de roupas, limpeza da casa em geral, ajardinamentos
Consumo Comercial	Restaurantes, bares, lojas, escritórios
Consumo Industrial	Transformação de matéria prima
Consumo na Recreação	Balneabilidade, recreação, práticas esportivas
Consumo na Segurança	Combate a incêndios

4 - PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA OS DIVERSOS USOS DA ÁGUA.

USOS DA ÁGUA	PRINCIPAIS REQUISITOS
Agricultura: Dessedentação de animais.	Igual ao do consumo humano
Irrigação de vegetais para consumo cru.	Menos de 1000 coliformes/100mL, Menos de um ovo de nematóide intestinal por litro.
Indústria	Variável, em geralmente igual ao da água potável, ou ainda tratamento especial
Recreação e Estética	Ausência de materiais flotantes, sedimentáveis ou ainda que produzam odor, cor, turbidez objetáveis Ausência de substâncias tóxicas para a vida aquática e silvestre
Recreação com Contato	Além dos requisitos estéticos, deve apresentar menos 1000 coliformes por mL, além de obedecer aos limites para substâncias tóxicas.
Recreação sem Contato	Semelhante aos requisitos estéticos
Aquacultura	Menos de 1000 coliformes fecais por 100mL, em tanques de peixes; eliminação de nematóides; mínimo de 5mg/L de oxigênio dissolvido; ausência de petróleo e seu derivados, além de limites para outros parâmetros.
Outras Espécies e Vidas Silvestres	Ausência de petróleo e seus derivados, além de limite para outros parâmetros.

5 - DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA DE UMA LOCALIDADE.

Uso Doméstico	Asseio corporal;descarga de bacias sanitárias;cozinhas; lavagem de roupas; lavagem de automóveis;consumo humano;rega de jardins;limpeza geral; aparelhos de ar condicionado.
Uso Comercial	Bares;lojas;restaurantes;cinemas; teatros.
Uso Industrial	Transformação da matéria prima; processos de resfriamento;instalações hidro-sanitárias.
Uso Público	Limpeza de logradouros públicos; irrigação de jardins e praças; fontes; bebedouros públicos; limpeza da rede coletora de esgotos; limpeza do sistema de drenagem pluvial; consumo nos edifícios públicos; piscinas públicas; recreação;
Uso Especial	Combate a incêndios; Sistemas de transporte; Instalações esportivas.
Perdas	Vazamentos nas adutoras; Perdas e consumo nas estações de tratamento; vazamentos na rede de distribuição; vazamentos em reservatórios;nas instalações sanitárias domiciliares etc.
Desperdícios	Desperdícios nos pontos de consumo.

II - TRATAMENTO DE ÁGUA

1. **TRATAMENTO DE ÁGUA** – É o conjunto de medidas necessárias para enquadrar a água nos padrões de potabilidade pré-estabelecidos.
2. **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA** – É a unidade do sistema de abastecimento de água responsável pelo enquadramento da água a ser fornecida a população nos padrões de potabilidade.

3. TIPOS DE TRATAMENTO

3.1-TRATAMENTO PARA ÁGUAS SUPERFICIAIS

Águas dos rios
Águas dos lagos
Águas das barragens

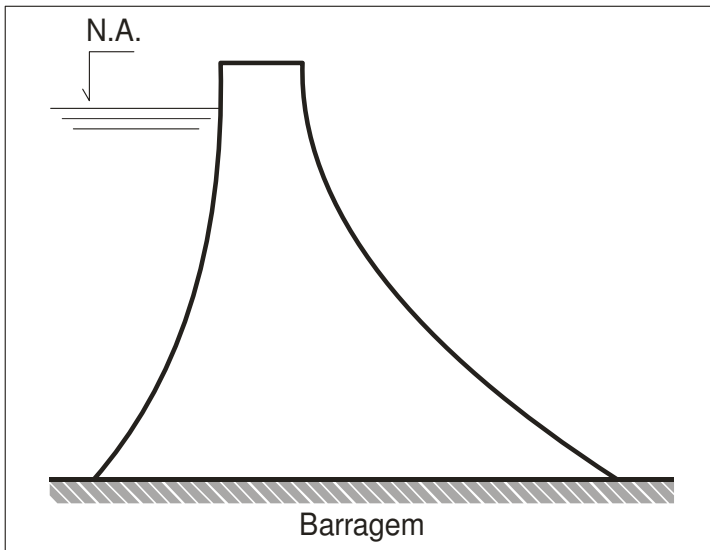


Figura 4: Perfil transversal



Figura 5: Apodi - Rio Grande Do Norte

3.2-TRATAMENTO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

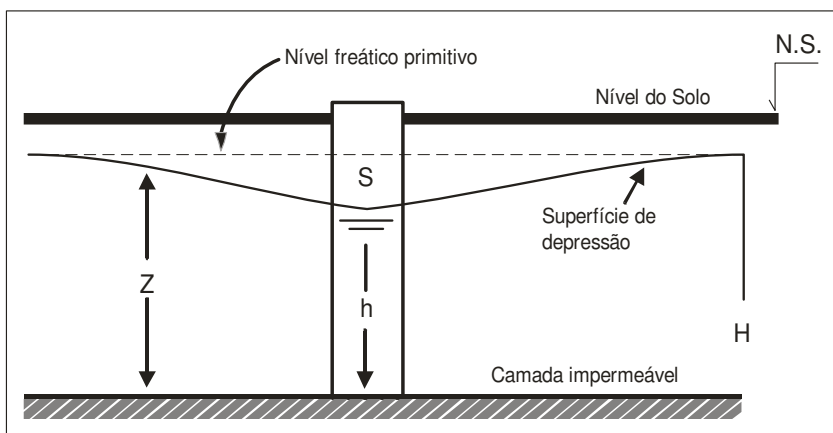


Figura 6: Águas dos lençóis freáticos

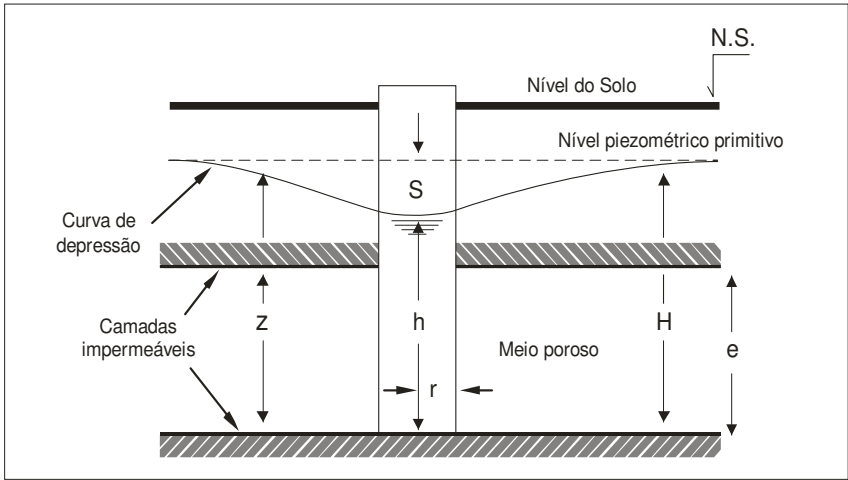


Figura 7: Águas dos lençóis artesianos

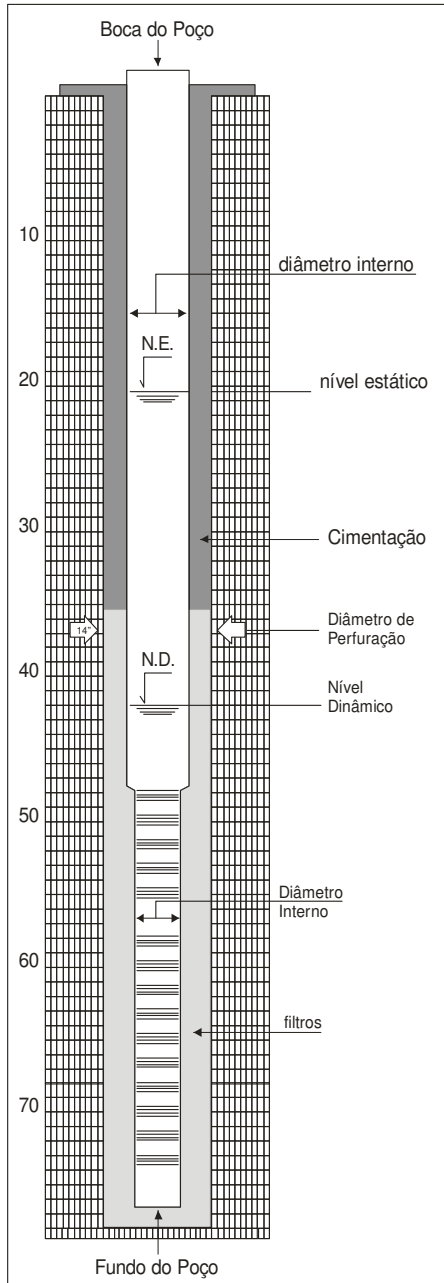


Figura 8: Captação de Água Subterrânea - Perfil de Poço Tubular

4. ELEMENTOS A SEREM CONSIDERADOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS

4.1. **TURBIDEZ** – A turbidez da água é ocasionada pela presença de bactérias, protozoários, plâncton e partículas de matéria inorgânica, constituindo flocos com diâmetros superiores a 1μ (1 micron).

4.2. **COR** – A cor é provocada pela presença de impurezas na água que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou ainda em solução, constituindo partículas com diâmetros variando de $1m\mu$ (1 milimícron) a 1μ (1 micron) e só podem ser observadas através de microscópios de grande capacidade.

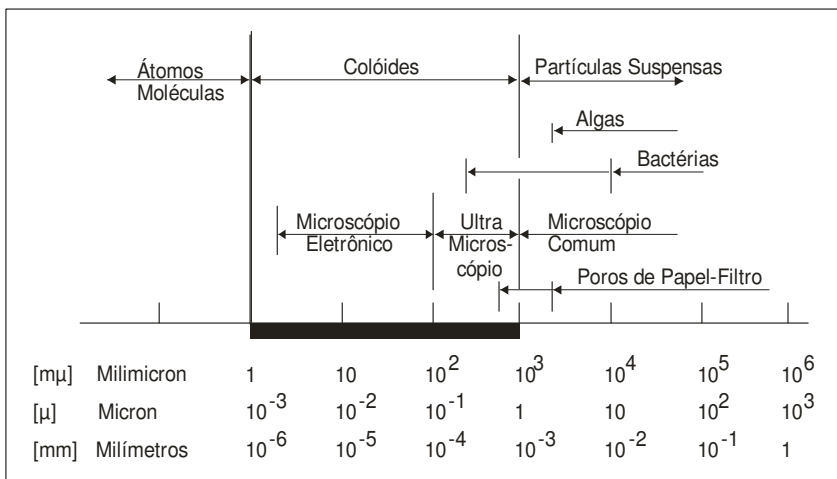
4.9.1. **DISPERSÃO** – Uma dispersão ocorre quando uma substância é distribuída uniformemente no seio de outra substância, ficando finamente dividida.

4.2.1.1. **SUSPENSÃO** – É uma dispersão opaca a luz, cujas partículas podem ser separadas por filtração.
Ex.: Areia em um copo com água.

4.2.1.2. **SOLUÇÃO** – É uma dispersão transparente a luz, cujas partículas não podem ser separadas por simples filtração.
Ex.: Açúcar em um copo com água.

4.2.1.3. **DISPERSÃO COLOIDAL OU COLÓIDES** – É um tipo intermediário de dispersão que apresenta propriedades da suspensão e da solução.

4.2.1.4. **CLASSIFICAÇÃO DAS IMPUREZAS ENCONTRADAS NA ÁGUA BRUTA SEGUNDO O TAMANHO**



4.3. ALCALINIDADE – A alcalinidade de uma substância é produzida por impurezas que podem reagir com os ácidos provocando a sua neutralização. Assim a alcalinidade da água é definida como sendo a sua capacidade de neutralizar ácidos fortes, sendo devido a presença de:

- Hidróxido de sódio
- Hidróxido de magnésio
- Hidróxido de cálcio
- Carbonato de cálcio
- Carbonato de magnésio
- Carbonato de sódio
- Carbonato de potássio
- Bicarbonato de cálcio
- Bicarbonato de magnésio

4.4. DUREZA – A dureza da água é caracterizada pela presença de substâncias que reagem com a água, causando a precipitação do sabão e impedindo a formação de espuma. Tais substâncias são:

- Bicarbonato de cálcio
- Bicarbonato de magnésio
- Sulfato de cálcio
- Sulfato de magnésio

4.5. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – pH

Por definição potencial hidrogeniônico é o inverso do logaritmo decimal dos íons hidrogênio (H^+) em uma solução saturada.

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Exemplo:

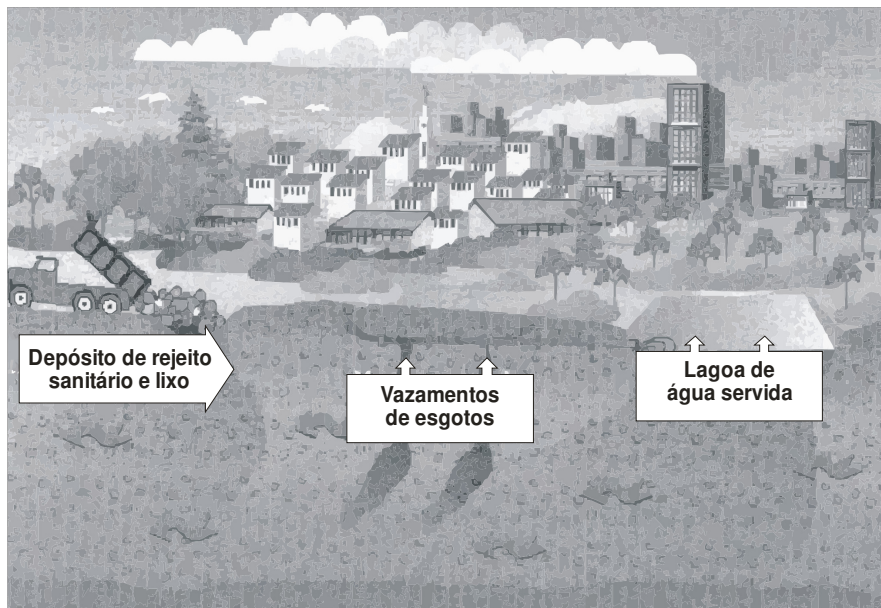
se a concentração de íons hidrogênio é 10^{-5} , então:

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = \log \frac{1}{10^{-5}} = \log 1 - \log 10^{-5} = 0 - \log 10^{-5} = -(-5) = 5$$

pH=5

Considerando que os ácidos se ionizam em íons hidrogênio(H^+) e por sua vez, as bases se ionizam em íons hidróxido (OH^-), é evidente que, em uma solução, quanto maior a quantidade de íons hidrogênio, maior é a acidez da mesma. O potencial hidrogeniônico, caracteriza o grau de acidez ou de alcalinidade que também pode ser chamada de basicidade, de uma solução, expressos em uma escala do pH que vai de 0 a 14.

Quando o pH é igual a 7, ocorre a neutralidade, já que as concentrações de H^+ e de OH^- são iguais. Já um valor do pH superior a 7, indica uma solução básica ou alcalina, ocasião em que os íons hidróxido superam os íons hidrogênio. Para um valor do pH inferior a 7, fica caracterizada uma solução ácida com a quantidade de íons hidrogênio superior ao dos íons hidróxido.



Contaminação da água subterrânea pela deposição incorreta de resíduos sólidos e pelas perdas de rede de esgoto.

4.9. CORROSIVIDADE – Caracterizada pela presença de gás carbônico na água (CO_2), ácidos diluídos, cloretos, etc.

4.9.1. MÉTODO DE LANGELLIER

Langellier estabeleceu um método para determinação do caráter agressivo ou incrustante de determinada água a certa temperatura em função das quantidades de cálcio, carbonatos e bicarbonatos que representam a alcalinidade e do teor de sólidos totais dissolvidos que representam a capacidade de transporte dos elétrons, através do nomograma, mostrado a seguir:

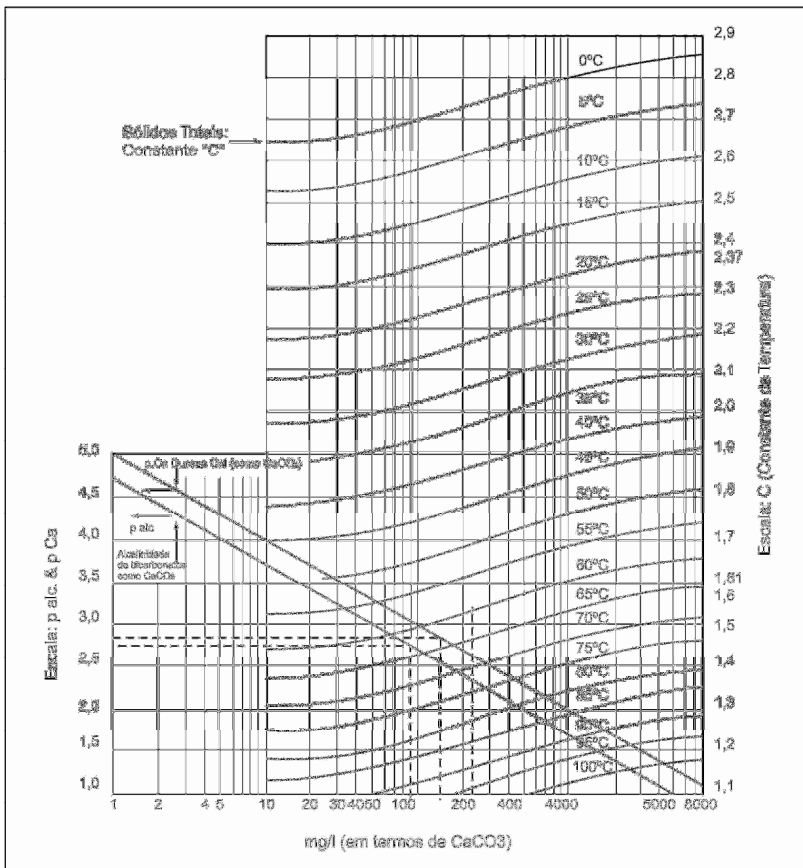


Figura 10: Índice de saturação de LANGELLIER

No eixo vertical esquerdo temos a escala representativa dos potenciais de alcalinidade (p alc) e de cálcio (p cálcio); as curvas indicam as temperaturas em graus Celsius, o eixo vertical direito corresponde a escala das Constantes de Temperatura; a retas s inclinada superior corresponde a dureza enquanto que a paralela inferior corresponde a alcalinidade. O eixo horizontal indica os teores de carbonato de cálcio em mg/L.

Determinação do Potencial de Cálcio: Partindo do eixo horizontal, do valor da dureza em cálcio, traçamos uma reta vertical até encontrar a reta inclinada superior; desse ponto traçamos uma reta horizontal até chegar ao eixo vertical esquerdo onde encontramos o valor do p cálcio .

Exemplo: Se a Dureza em Cálcio é de 150 mg/L, obtemos o valor de 2,8 para p cal.

Determinação do Potencial de Alcalinidade: Partido do eixo horizontal , do valor da alcalinidade , traçamos uma reta vertical até encontrar a reta inclinada inferior, daí traçamos uma reta horizontal até ao eixo vertical esquerdo, onde obtemos o valor de p alc.

Exemplo: para alcalinidade de bicarbonatos de 100 mg/L, obtemos para p alc, 2,70.

Determinação da Constante de Temperatura - partindo do eixo horizontal com o teor de sólidos totais dissolvidos traçamos uma reta vertical até encontrarmos a curva de determinada temperatura, daí traçamos uma reta horizontal até o eixo vertical direito, onde obtemos a Constante de Temperatura C.

Exemplo: para temperatura de 50°C e sólidos totais de 240mg/l, obtemos C=1,7.

Determinação do pH de Saturação- $pH_{sat} = pCa + pAlc + C$

Exemplo: usando os elementos anteriores $pH_{sat} = 2,8 + 2,7 + 1,7 = 7,20$

Determinação do Índice de Saturação- $I_{sat} = pH - pH_{sat}$

Conclusão: Se o índice de Saturação for negativo a água é corrosiva, caso contrário a água é incrustante.

$I_{sat} < 0$ água corrosiva

$I_{sat} > 0$ água incrustante

Exemplo: Se o pH da água referida nos exemplos anteriores é igual a 8,5, temos.

- $I_{sat} = pH - pH_{sat} = 8,5 - 7,20 = 1,30$ logo $I_{sat} > 0$, portanto a água incrustante

OBS- $pCa = -\log [Ca^{+2}]$ onde Ca^{+2} é a concentração molar do íon cálcio.

$pAlc = -\log [HCO_3^-]$ onde HCO_3^- é a concentração molar do íon carbonato.

PRODUTOS QUÍMICOS EMPREGADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA.

TIPOS DE TRATAMENTO	PRODUTOS QUÍM. EMPREGADOS
Coagulação	Sulfato de Alumínio Sulfato Ferroso Sulfato Ferroso Clorado Sulfato Férrico Cloreto Férrico Aluminato de Sódio Auxiliares da Coagulação Bentonita Carbonato de Cálcio Gás Carbônico Polieletrólitos Silicato de Sódio
Abrandamento	Cal hidratada Carbonato de Sódio Cloreto de Sódio Gás Carbônico
Controle da Corrosão	Cal Hidratada Carbonato de Sódio Hidróxido de Sódio Polifosfatos de Sódio
Ajuste do pH	Cal hidratada Carbonato de Cálcio Carbonato de Sódio Hidróxido de Sódio Ácido Clorídrico Ácido Sulfúrico Gás Carbônico
Oxidação	Cloro Hipoclorito de Cálcio Hipoclorito de Sódio Dióxido de Cloro Ozônio Permanganato de Potássio
Desinfecção	Cloro Gasoso Hipoclorito de Cálcio Hipoclorito de Sódio Amônia Anidra Hidróxido de Amônia Permanganato de Potássio Sulfato de Amônia Ozônio
Correção de Odor e Sabor	Carvão Ativado Dióxido de Cloro Cloro

TIPOS DE TRATAMENTO	PRODUTOS QUÍM. EMPREGADOS
Ajuste do Teor de Flúor	Fluorsilicato de Sódio Fluoreto de Sódio Fluoreto de Cálcio Ácido Fluorssilícico
Controle de Substâncias Orgânicas	Dióxido de Cloro Cloraminas
Remoção do Excesso de Cloro	Carvão Ativado Dióxido de Enxofre Sulfito de Sódio Bisulfito de Sódio

5. FINALIDADES DO TRATAMENTO DE ÁGUA

- 5.1. FINALIDADES HIGIÊNICAS** – Remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microorganismos, remoção de substâncias tóxicas, redução do excesso de impurezas e de substâncias orgânicas.
- 5.2. FINALIDADES ESTÉTICAS** – Correção de cor, odor, sabor e turbidez.
- 5.3. FINALIDADES ECONÔMICAS** – Redução da cor, turbidez, dureza, corrosividade, da presença de ferro e manganês e correção do odor, sabor e pH.

6. PARÂMETROS DE PROJETO

Para o projeto de uma estação de tratamento de água devem ser empregados os parâmetros adotados para o projeto integral do sistema de abastecimento de água.

6.1. **ALCANCE** – É o período de vida útil do projeto
Ex.: 20 anos

6.2. **QUOTA PER CAPITA** – definida pela razão entre o volume de água fornecido e a população abastecida, durante 1 dia.

$$quota\ per\ capita = \frac{volume\ fornecido}{população - abastecida}$$

Exs.: Natal – Zona Sul → 250 L/hab.dia
Natal – Zona Norte → 200 L/hab.dia

6.3. **COEFICIENTE DO DIA DE MAIOR CONSUMO**

$K_1=1,2$

6.4. **CONSUMO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS**

percentual adotado: 5% sobre o volume fornecido.

6.5. **PERÍODO DIÁRIO DE OPERAÇÃO**

É o número de horas de operação do sistema por dia.

Ex.: 20 h/dia.

6.6. **VAZÃO A SER TRATADA** – É a vazão de água tratada fornecida a população e calculada por

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600}$$

Em que:

Q → vazão em L/s

q → quota per capita em L/hab.dia

n → número de horas de operação por dia

K_1 → coeficiente do dia de maior consumo

$K_1 = 1,2$ para águas subterrâneas

$K_1 = 1,25$ para águas superficiais, pois inclui 5% de lavagem dos filtros.

Obs.: se a quota per capita for dada em m^3 /hab.dia, a vazão a tratar é obtida em m^3 /s.

EXERCÍCIOS

- a) Calcular a vazão a ser tratada para abastecer uma população de 14.000 habitantes com quota per capita de 180 L/hab.dia, coeficiente do dia de maior consumo igual a 1,2, operando 20 h/dia

Solução

$$Q = \frac{Pqk_1}{n \cdot 3600} = \frac{14000 \cdot 180 \cdot 1,2}{20 \cdot 3600} = 42L/s$$

- b) Uma comunidade contava no ano 2000 com uma população de 10.000 habitantes. No ano 2002, essa população tinha aumentado para 10.400. Calcular a vazão de água a ser tratada, considerando uma fonte de águas superficiais, alcance de 15 anos, quota per capita de 150 L/hab.dia, período diário de operação 24h/dia, ano de início da operação: 2006.

Solução

– Cálculo da população de projeto

$$\text{Ano do alcance: } 2006 + 15 - 1 = 2020$$

Razão da progressão geométrica

$$q_1 = \sqrt[t_1 - t_0]{\frac{P_1}{P_0}} = \sqrt{2002 - 2000}{\frac{10400}{10000}} = \sqrt{1,04}$$

$$q_1 = 1,019$$

População de projeto

$$P = P_0 \cdot q_1^{t-t_0} = 10000 \cdot 1,019^{2020-2000}$$

$$P = 10000 \cdot 1,019^{20} = 14570,81$$

$$P = 14571 \text{ hab.}$$

– Cálculo da vazão a tratar

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} = \frac{14571 \cdot 150 \cdot 1,25}{24 \cdot 3600} = 31,62L/s$$

$$Q = 31,62L/s \quad \text{ou} \quad 0,03162m^3/s \quad \text{ou} \quad 113,832m^3/h$$

- c) Calcular em m^3/h , a vazão a tratar de água subterrânea, prevista em projeto, para abastecer uma população de 6.000 habitantes, levando em conta ainda os seguintes elementos:

Quota per capita: 220L/hab.dia

Coefficiente do dia de maior consumo: 1,20

Período diário de operação: 22h/dia

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} = \frac{6000 \cdot 220 \cdot 1,20}{22 \cdot 3600} = 20 \text{ l / s}$$

Solução

$$Q = \frac{20}{1000} \cdot 3600 = 72 \text{ m}^3 / \text{h}$$

III - PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

1. AERAÇÃO

1.1. DEFINIÇÃO – É o processo através do qual água e ar são postos em contato de modo a transferir substâncias voláteis da água para o ar e substâncias solúveis do ar para a água até se obter um equilíbrio satisfatório.

1.2. FINALIDADES

1.2.1. REMOÇÃO DE GASES EM EXCESSO NA ÁGUA

- Gás sulfídrico (H_2S) que causa odor desagradável na água;
- Gás carbônico (CO_2) que torna a água agressiva

1.2.2. REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS AROMÁTICAS VOLÁTEIS QUE CAUSAM ODOR E SABOR

- Metano (CH_4)
- Cloro (Cl_2)

1.2.3. INTRODUÇÃO DE GASES NA ÁGUA

a) Oxigênio para precipitação dos compostos de ferro e manganês, que mancham tecidos, roupas, utensílios, aparelhos sanitários, causam sabor desagradável, prejudicam a preparação do café e do chá, interferem nos processos industriais, prejudicando a fabricação de cerveja, papel, tecidos e etc; e ainda podem acarretar o desenvolvimento de bactérias ferruginosas nocivas.

b) Aumento dos teores de oxigênio e nitrogênio dissolvidos na água.

1.3. AERADORES

1.3.1. DEFINIÇÃO – São as unidades de um sistema de tratamento de água que promovem a troca de substâncias entre o ar e a água.

1.3.2. TIPOS

- a) Aeradores de queda
- b) Aeradores de repuxo
- c) Aeradores de borbulhamento

1.3.3. AERADORES DE QUEDA – São aqueles que utilizam a ação da gravidade para seu funcionamento. Podendo ser aeradores de cascata ou de tabuleiros.

- **AERADORES D CASCATA** – São aqueles constituídos por um conjunto de 3 ou 4 plataformas superpostas com intervalos de 0,25 m a 0,75 m, com secções crescentes de cima para baixo. A água a ser aerada é elevada através de uma tubulação até a plataforma superior de onde cai sob a forma de cascata, entrando em contato com o ar, sobre um tanque de coleta.
- Rendimento máximo: 45% na remoção de gás carbônico.
- Taxa de aplicação: 800 a 1000 m³/m².dia.

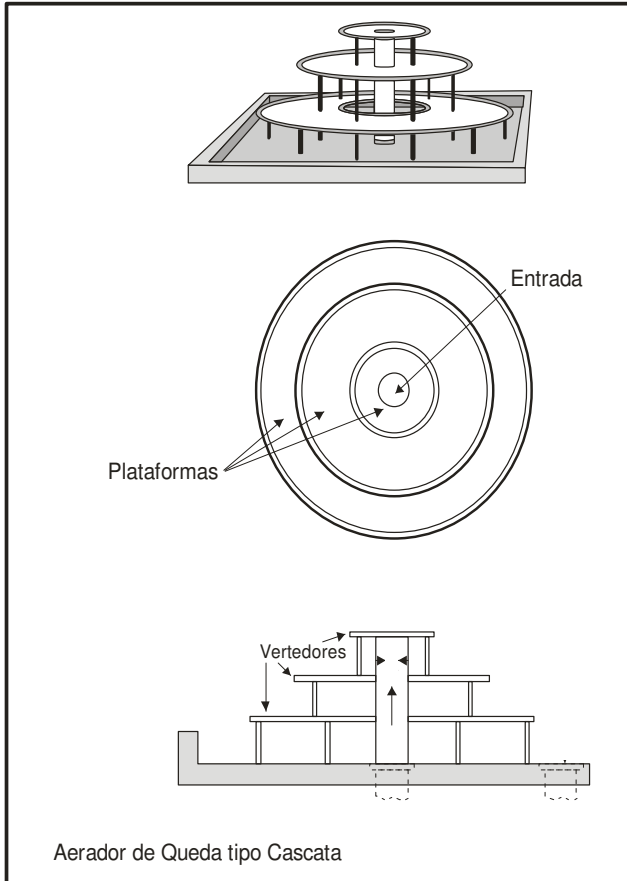


Figura 11: Aerador de Queda

– Dimensionamento:

Área ou secção da plataforma inferior

$$S = \frac{Q_D}{I_A}$$

em que

S → Seção da plataforma inferior em m².

Q_D → Vazão a tratar relacionada ao dia de operação em m³/dia.

I_A → Taxa de aplicação em m³/m².dia.

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar uma aerador de queda, tipo cascata para tratar uma vazão de água igual a 22L/s, durante 24 horas por dia, com taxa de aplicação de 850 m³/m²*dia

Solução

– Vazão diária

$$Q = 22L/s = 0,022m^3 \cdot 24 \cdot 3600 = 1900,8m^3 / dia$$

$$Q_D = 1900,8m^3 / dia$$

– Cálculo da secção da plataforma inferior

$$S = \frac{Q_D}{I_A} = \frac{1900,8}{850} = 2,236m^2$$

$$S = 2,236m^2$$

– Diâmetro da plataforma

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,236}{3,14}} = 1,688m$$

$$D = 1,688m$$

- b) Determinar o diâmetro da plataforma inferior de um aerador de queda, tipo cascata, para tratar 72 m³/h de água durante 22 horas por dia, com taxa de aplicação de 1000 m³/m².dia.

Solução

Vazão diária

$$Q_D = 72 \cdot 22 = 1584 m^3 / dia$$

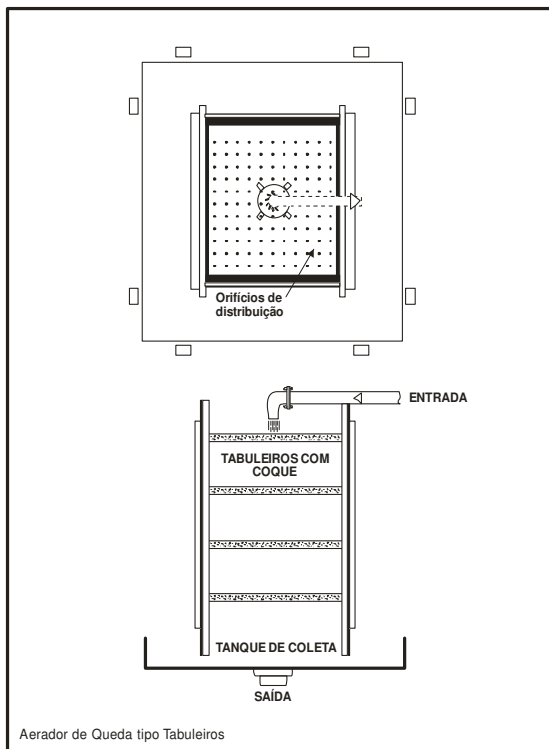
– Cálculo da secção da plataforma inferior

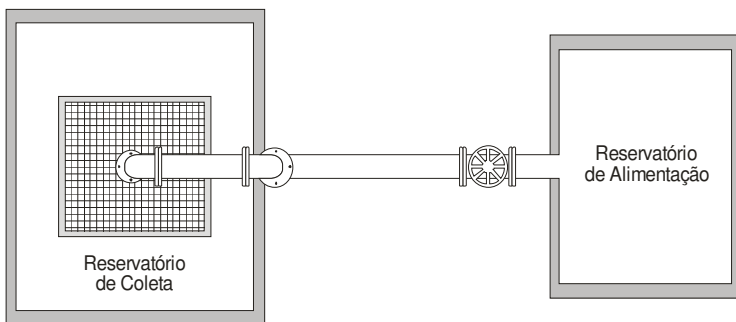
$$S = \frac{Q_D}{I_A} = \frac{1584}{1000} = 1,584 m^2$$

– Diâmetro da plataforma

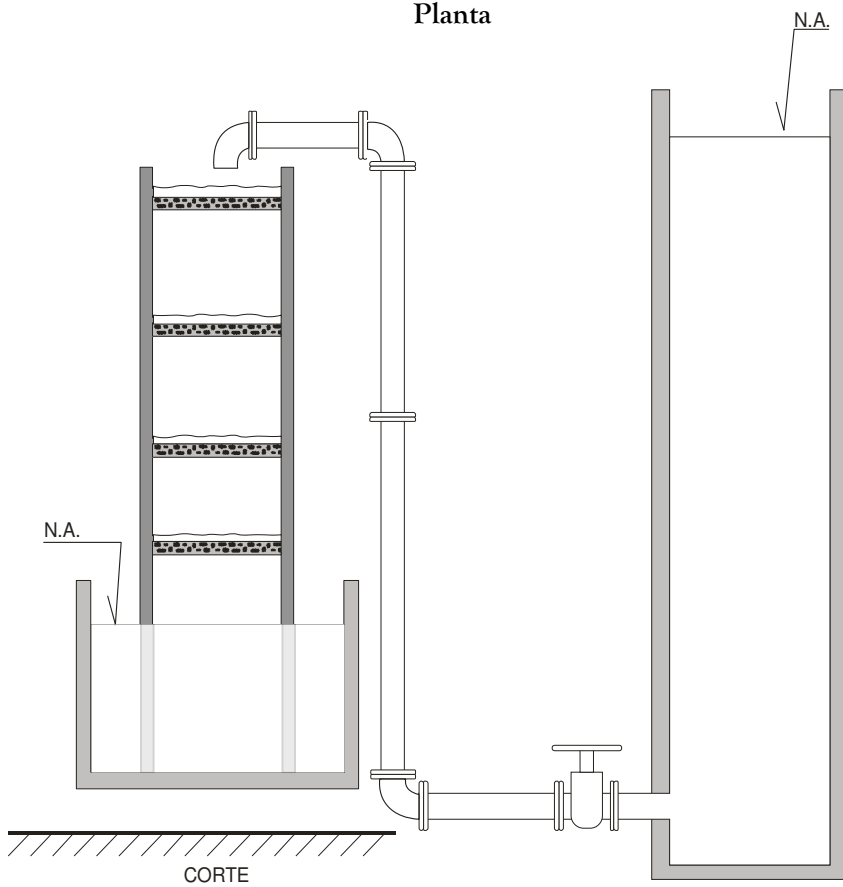
$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,584}{3,14}} = 1,42m$$

- **AERADORES DE TABULEIROS** – São aqueles constituídos por um conjunto de 3 ou 9 bandejas superpostas espaçadas de 0,30 m a 0,75 m, com fundo de tela, tendo em uma delas uma camada de coque (carvão de pedra) ou mesmo de pedra granítica britada (brita). A água a ser aerada é impulsionada sob pressão ou por gravidade até a bandeja superior, passando pela camada de coque ou de outro material e pela tela caindo sobre a bandeja imediatamente inferior até chegar a última bandeja de onde ela é coletada para um reservatório inferior
- Rendimento máximo: 90% na remoção de gás carbônico
- Taxa de aplicação: 540 a 1630 m³/m².dia





Planta



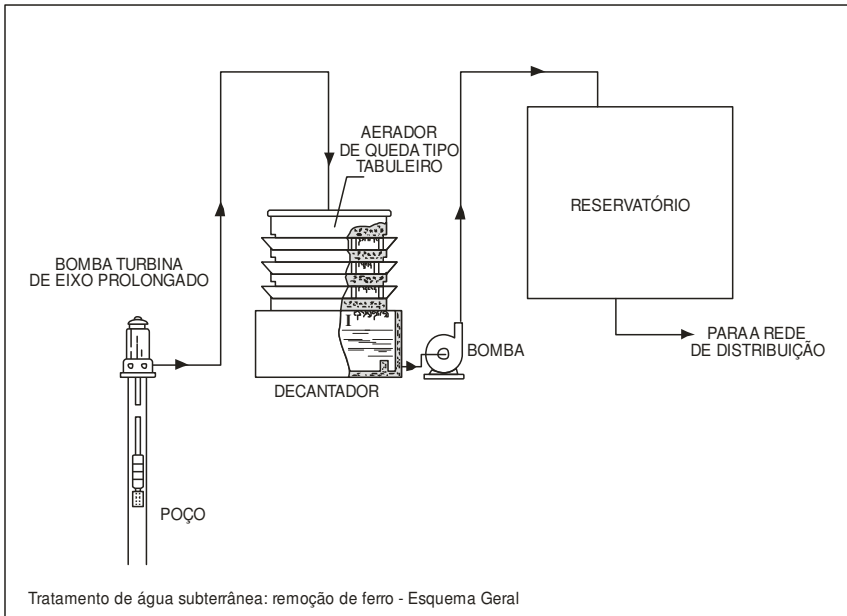


Figura 12: Aerador de Tabuleiros

– Dimensionamento de cada bandeja.

$$S = \frac{Q_D}{I_A}$$

Em que

S → Seção em m^2 .

Q_D → Vazão em m^3/dia .

I_A → Taxa de aplicação em $m^3/m^2 \cdot dia$.

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar um aerador de queda, tipo tabuleiro, com 5 bandejas, com camada de 10 cm de altura de coque em cada uma, para atender a população de 8000 habitantes com quota per capita de 210 L/hab.dia, coeficiente do dia de maior consumo igual a 1,2, período diário de operação 22 horas, com taxa de aplicação de 700 m³/m².dia

Solução

– Vazão diária

$$Q_D = 8000 \cdot 0,210 \cdot 1,2 = 2016 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

– Área da bandeja

$$S = \frac{Q_D}{I_A} = \frac{2016}{700} = 2,88 \text{ m}^2$$

– Volume necessário de coque

$$V_C = 2,88 \cdot 0,10 \cdot 5 = 1,44 \text{ m}^3$$

- b) Um aerador tem bandejas com áreas individuais iguais a 4m². Determinar a população que poderia usar a água aerada, considerando um coeficiente do dia de maior consumo igual a 1,2, quota per capita de 180 L/hab.dia, período de funcionamento de 20h/dia e taxa de aplicação de 750 m³/m².dia

Solução

– Vazão diária

$$Q_D = I_A \cdot S = 750 \cdot 4 = 3000 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

– Vazão em L/s

$$Q = \frac{3000 \cdot 1000}{20 \cdot 3600} = 41,67 \text{ L / s}$$

– População Abastecida

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} \quad \therefore \quad P = \frac{Q \cdot n \cdot 3600}{qK_1}$$

$$P = \frac{41,67 \cdot 20 \cdot 3600}{180 \cdot 1,2} = 13890$$

$$P = 13890 \text{ habitantes}$$

- c) No ano 2000, uma comunidade tinha uma população de 4.200 habitantes. Sabendo que a taxa de crescimento

populacional é de 2,5% ao ano, projetar um aerador de tabuleiros usando os seguintes dados:

- Quota per capita: 250 L/hab.dia
- Coeficiente do dia de maior consumo: 1,25
- Período diário de operação: 24 horas
- Alcance do projeto: 15 anos
- Ano de início de operação: 2005
- Taxa de aplicação: $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Solução

- População de projeto

$$\text{Ano do alcance: } 2005 + 15 - 1 = 2019$$

Razão da progressão geométrica

$$q_1 = 1 + \frac{x}{100} = 1 + \frac{2,5}{100} = 1,025$$

População

$$P = P_0 q^{T-T_0} = 4200 \cdot 1,025^{2019-2000} = 6714,33$$

$$P=6714 \text{ habitantes}$$

- Vazão diária

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} = \frac{6714 \cdot 250 \cdot 1,25}{24 \cdot 3600} = 24,28 \text{ L / s}$$

Vazão em m^3/dia

$$Q_D = \frac{24,28}{1000} \cdot 24 \cdot 3600 = 2097,792 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$Q_D = 2097,792 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

- Secção das bandejas

$$S = \frac{Q_D}{I_A} = \frac{2097,792}{1200} = 1,748 \text{ m}^2$$

1.3.4. AERADORES DE REPUXO – São aqueles que compreendem um reservatório para coleta, sobre o qual se instalam diversas tubulações munidas de bocais de aspensão. A água impulsionada sob pressão para o conjunto de tubulações e sai da mesma através

dos bocais, sob a forma de jato que sobem até certa altura, para a partir daí caírem no tanque de coleta. No percurso de subida e descida do jato, a água entra em contato com o ar, sendo então aerada.

Rendimento: remoção de até 70% de gás carbônico

Taxa de aplicação: 270 a 815 m³/m².dia.

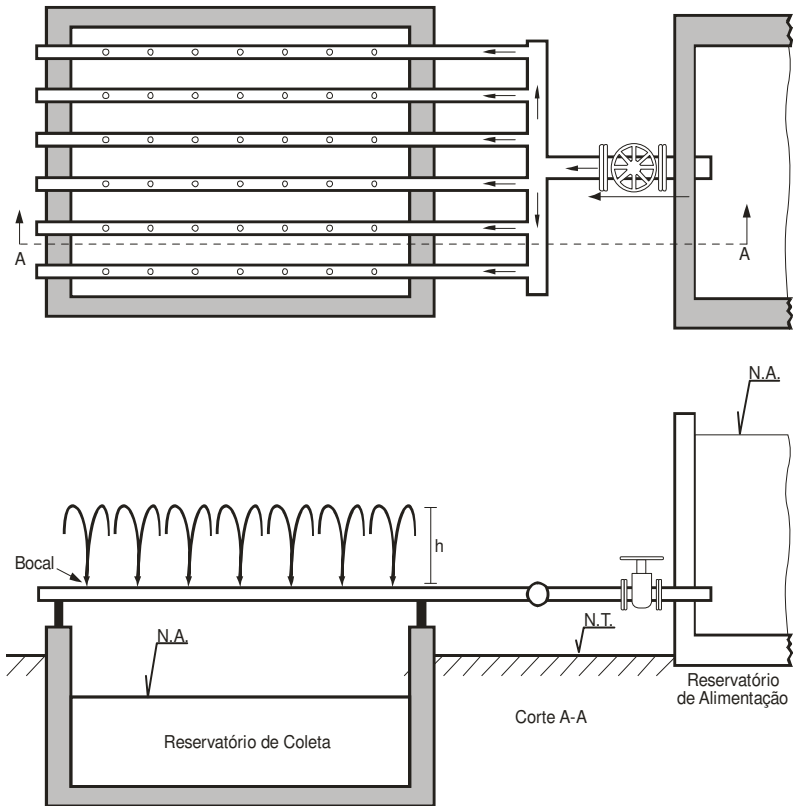


Figura 13: Aerador de Repuxo

Dimensionamento

– Velocidade de saída nos bocais

$$V = C_v \cdot \sqrt{2gH}$$

v → velocidade em m/s

C_v → coeficiente de redução da velocidade (0,80 a 0,95)

g → aceleração da gravidade = 9,8 m/s²

H → pressão disponível nos bocais em m

– Vazão em cada bocal

$$Q_B = C_d \cdot S \sqrt{2gH}$$

Q_B → vazão em m³/s

C_d → coeficiente de descarga (valor médio = 0,82)

S → secção (área) do bocal em m²

g → aceleração da gravidade = 9,8 m/s²

H → pressão disponível em m

– Altura de elevação de cada jato

$$h = C_v^2 \cdot H$$

h → altura em m

C_v → coeficiente de redução da velocidade (0,80 a 0,95)

H → pressão disponível nos bocais em metros

– Tempo de exposição do jato de água ao ar em segundos

$$T = \frac{2V}{g}$$

T → tempo em s

v → velocidade de saída do bocal em m/s

g → aceleração da gravidade = 9,8 m/s²

– Vazão a tratar (Q) em m³/s

– Quantidade de bocais necessários

$$n_B = \frac{Q}{Q_B}$$

n_B → número de bocais

Q → vazão a tratar em m³/s

Q_B → vazão de cada bocal em m³/s

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar um sistema de aeração por repuxo considerando os seguintes dados:
- População de projeto: 14.000 hab
 - Quota per capita: 150 L/hab.dia
 - Coeficiente do dia de maior consumo: 1,25
 - Período diário de operação: 24 horas
 - Pressão disponível nos bocais: 10m
 - Diâmetro dos bocais: 1 cm
 - Aceleração da gravidade: 9,8 m/s²
 - Coeficiente de descarga: 0,82
 - Coeficiente de redução da velocidade: 0,9

Solução

– Vazão a tratar

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} = \frac{14000 \cdot 150 \cdot 1,25}{24 \cdot 3600} = 30,38 L / s$$

$$Q = \frac{30,38}{1000} = 0,03038 m^3 / s$$

– Vazão de cada bocal

$$Q_B = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2gH} = 0,82 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 98 \cdot 10}$$

$$Q_B = 0,0009 m^3 / s$$

– Quantidade de bocais

$$n_B = \frac{Q}{Q_B} = \frac{0,03038}{0,0009} = 37,75$$

$$n_B = 38 \text{ bocais}$$

– Altura de elevação

$$h = C_v^2 \cdot H = 0,9^2 \cdot 10 = 8,10 m$$

$$h = 8,10 m$$

– Velocidade de saída da água nos bocais

$$V = C_v \cdot \sqrt{2gH} = 0,9\sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 10} = 12,60$$

$$V = 12,60 \text{ m/s}$$

– Tempo de exposição do jato ao ar

$$T = \frac{2V}{g} = \frac{2 \cdot 12,60}{9,8} = 2,57 \text{ s}$$

$$T = 2,57 \text{ s}$$

1.3.5. AERADORES DE BORBULHAMENTO

– Compreendem tanques ou reservatórios contendo a água a ser aerada, onde se instalam próximos ao fundo dos reservatórios tubulações perfuradas ou tubos porosos que servem para distribuir o ar em bolhas, que tendem a se elevar e chegar ao nível da água. Para que seja feita a distribuição do ar (bolhas), é necessário que o conjunto de tubulações esteja interligado a um compressor de ar.

Taxas de aplicação: 75 a 1125 L/m³ (75 a 1125 litros de ar para cada metro cúbico de água)

Dimensões do tanque

– Profundidade: de 2,75 a 4 m

– Relação largura / profundidade < 2

– Comprimento: função do tempo de permanência da água no tanque de 10 a 20 minutos.

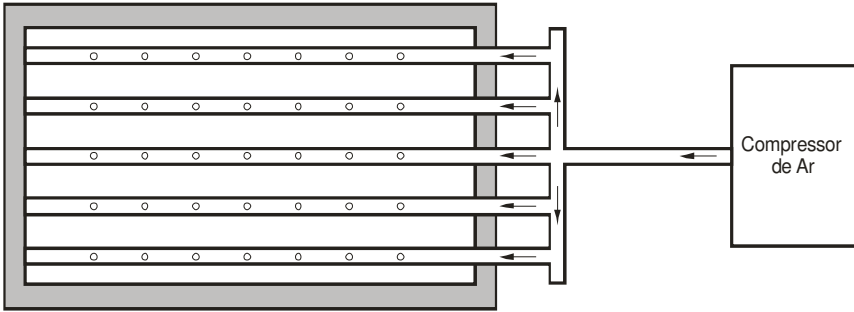
– Vazão de ar

$$Q_{AR} = Q \cdot I$$

Q_{AR} → vazão de ar em L/s

I → taxa de aplicação em L/m³

Q → vazão a tratar em m³/s



Aerador de Borbulhamento (planta)

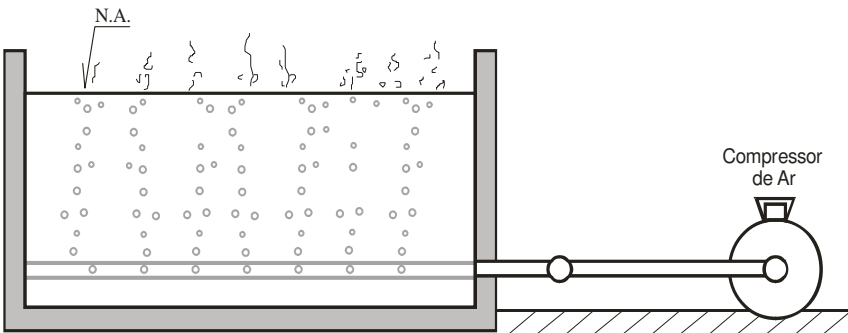


Figura 14: Aerador de Borbulhamento

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar um sistema de aeração por borbulhamento considerando os seguintes dados:
 - Vazão a tratar: 40 L/s
 - Taxa de aplicação: 500 L/m³
 - Profundidade de tanque: 3,0 m
 - Relação largura / profundidade: 1,0
 - Tempo de detenção no tanque: 20 minutos

Solução

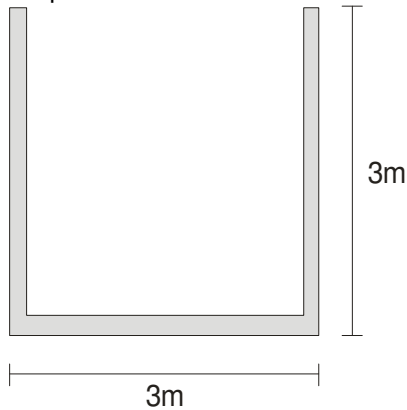
– Vazão a tratar

$$Q = 40L/s = 0,040m^3/s$$

– Largura

$$\frac{B}{3} = 1 \quad \therefore \quad B = 3m$$

– Comprimento



Secção transversal

$$S = 3 \cdot 3 = 9m^2$$

Vazão: 0,040 m³/s

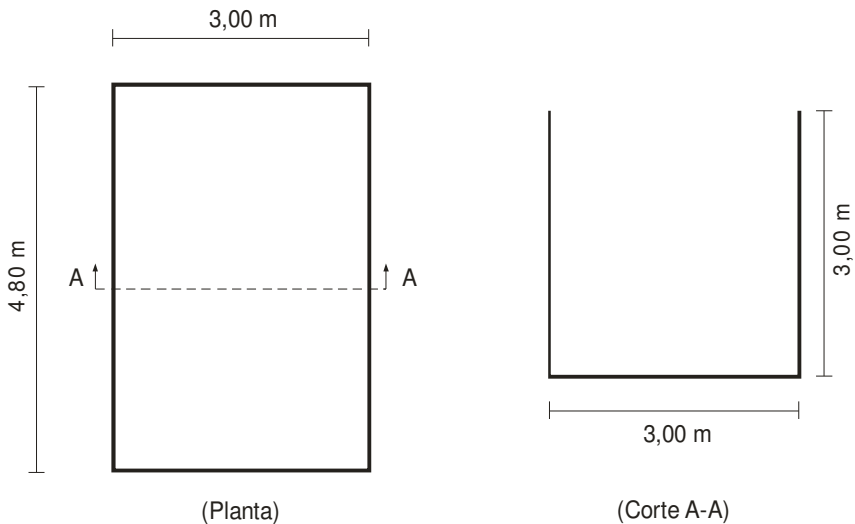
Velocidade

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,04}{9} = 0,004m/s$$

Comprimento

$$\frac{L}{T} = V \quad \therefore \quad L = V \cdot T$$

$$L = 0,004 \cdot 20 \cdot 60 = 4,80m$$



– Capacidade do compressor

$$Q_{AR} = I \cdot Q = 500 \cdot 0,040 = 20L / s$$

Vazão de ar: $20l / s = 1200l / \text{min}$

Pressão de injeção: 3 m

2. DESINFECCÃO

2.1. DEFINIÇÃO – É o processo de eliminação dos micróbios patogênicos de uma água para consumo humano ou industrial.

2.2. PRINCIPAIS AGENTES DESINFETANTES

Calor

Irradiação

Luz ultravioleta

Ozônio (O_3)

Permanganato de potássio ($KMnO_4$)

Compostos de cloro (hipoclorito de cálcio; hipoclorito de sódio; cloro gasoso)

2.3. EMPREGO DOS COMPOSTOS DE CLORO

2.3.1. HIPOCLORITO DE CÁLCIO: Características: trata-se de um pó branco com cerca de 60 a 70% de cloro ativo, com alta solubilidade na água, estabilidade máxima de um ano, desde que esteja protegido da umidade.

Fórmula química: $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

Dosagem de cloro: 2 a 5 mg/L (ppm)

Consumo diário de cloro:

$$C_C = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000}$$

C_C → consumo de cloro em kg

Q → vazão em L/s

d → dosagem em ppm (mg/L)

n → período diário de operação em horas

Consumo diário de hipoclorito de cálcio

$$C_H = \frac{C_C \cdot 100}{i}$$

C_H → consumo de hipoclorito de cálcio

C_C → consumo de cloro em kg

i → teor percentual do cloro no hipoclorito de cálcio

Volume da solução

$$V_S = \frac{100 \cdot C_H}{c}$$

V_S → volume da solução em L

C_H → consumo do hipoclorito de cálcio em kg

c → concentração da solução em %

Vazão de dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n}$$

Q_D → vazão em L/h

V_S → volume da solução em L

n → numero de horas de operação por dia

Dispositivos dosadores: existem vários dispositivos dosadores, dentre os quais, destacamos as bombas dosadoras e os hidrojetores.

Bombas dosadoras: são equipamentos de dosagem que operam com vazão intermitente, usando o sistema de pistões ou de diafragmas, para emprego em produtos químicos.

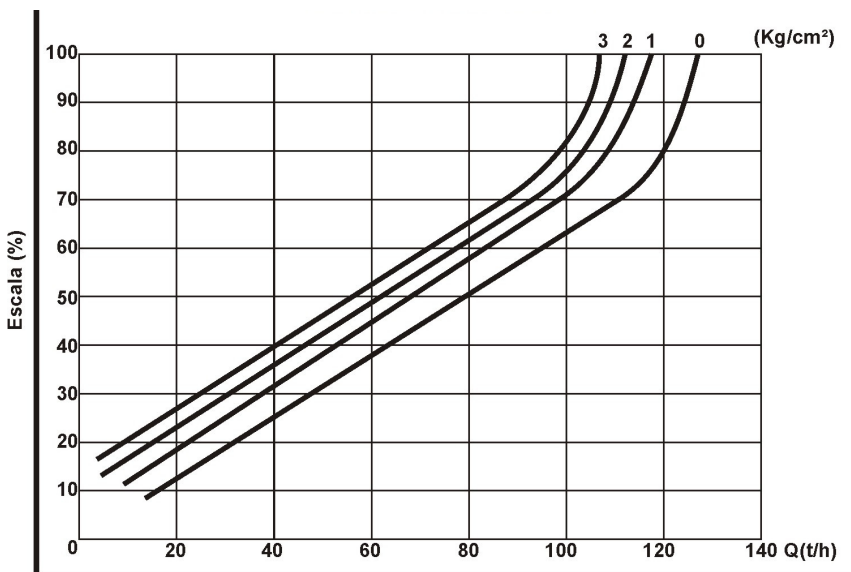


Figura 15: Bomba Dosadora

Curvas de Operação de Bombas Dosadoras (vazão x pressão de injeção x percentual de utilização)

2-HIPOCLORITO DE SÓDIO

É encontrado em bombonas plásticas de 50 Kg em forma de solução aquosa, com estabilidade máxima de um mês, podendo ser decomposto pela luz e pelo calor e portanto só deve ser armazenado em ambientes arejados e ao abrigo da luz

Fórmula química: NaOCl

Teor de cloro ativo: 10 %

Dosagem de cloro: 2 a 5 mg/L (ppm)

Consumo diário de cloro

$$C_C = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000}$$

- C_C → consumo de cloro em kg
 Q → vazão a tratar em L/s
 d → dosagem em ppm (mg/L)
 n → período diário de operação em horas
 Consumo diário de hipoclorito de sódio

$$C_H = \frac{C_C \cdot 100}{i}$$

- C_H → consumo de hipoclorito de sódio
 C_C → consumo de cloro em kg
 i → teor percentual do cloro no hipoclorito de sódio

Volume da solução

$$V_S = \frac{100 \cdot C_H}{c}$$

- V_S → volume da solução em L
 C_H → consumo do hipoclorito de sódio em kg
 c → concentração da solução em %

Vazão de dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n}$$

- Q_D → vazão em L/h
 V_S → volume da solução em L
 n → número de horas de operação por dia

Dispositivos dosadores: bombas dosadoras, hidrojetores.

8.2.3.1 EMPREGO DO CLORO GASOSO

Fórmula química: Cl_2

Acondicionamento: em cilindros pressurizados sob o estado líquido, com capacidades pa 50 e para 900 kg.

Consumo diário de cloro gasoso

$$C_C = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000}$$

- C_C → consumo de cloro em kg
 Q → vazão a tratar em L/s
 d → dosagem de cloro mg/L
 n → período diário de operação em horas

Consumo mensal de cloro

$$C_{MC} = 30 \cdot C_C$$

C_{MC} → consumo mensal de cloro

C_C → consumo de cloro em kg

Quantidade de cilindros utilizados em 1 mês.

$$N = \frac{C_{MC}}{50} \quad \text{para cilindro de 50 kg}$$

$$N = \frac{C_{MC}}{900} \quad \text{para cilindro de 900 kg}$$

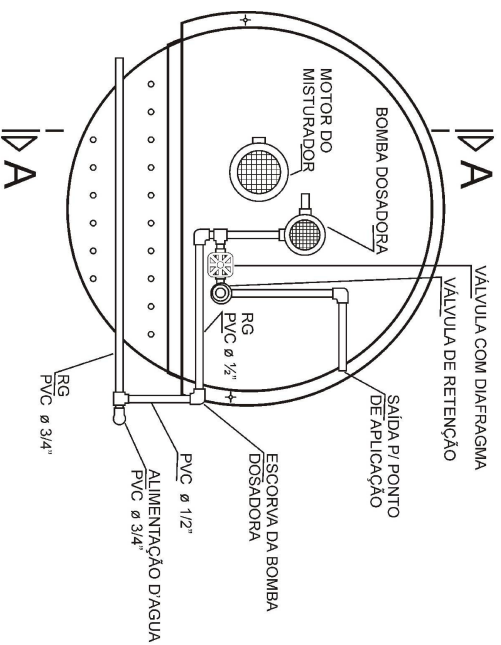
Dispositivos dosadores: para a dosagem do cloro gasoso são empregados dispositivos dosadores denominados cloradores.

8.2.3.2 DISPOSITIVOS DOSADORES

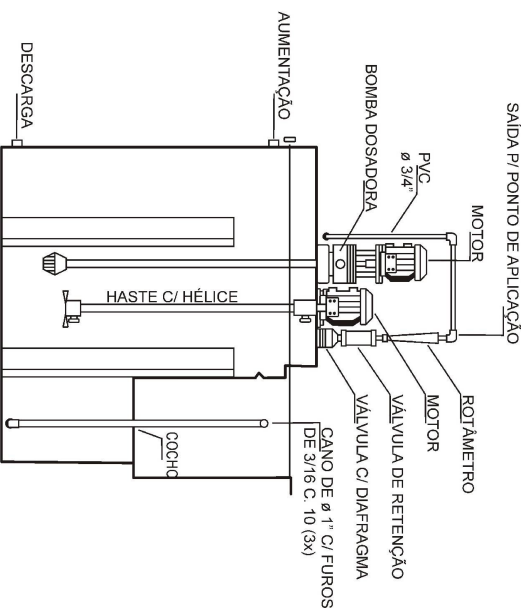
– Existem vários tipos de dispositivos dosadores, dentre os quais destacamos as bombas dosadoras e os hidrojetores, para soluções químicas, e os cloradores, para o cloro gasoso.

Bombas dosadoras

Bombas Dosadoras – são equipamentos de dosagem de solução de produtos químicos, acionados por motores elétricos, funcionando com o movimento de pistão ou de diafragma, aspirando a solução através de mangueira e injetando a mesma no ponto de aplicação com pressão superior a desse ponto com vazão descontínua.com o emprego de diafragma ou pistão



VISTA SUPERIOR



CORTE - AA

Figura 16: Dose- Kit-Hemifibra



Figura 17: Bombas Dosadoras de Diafragma MAXEL

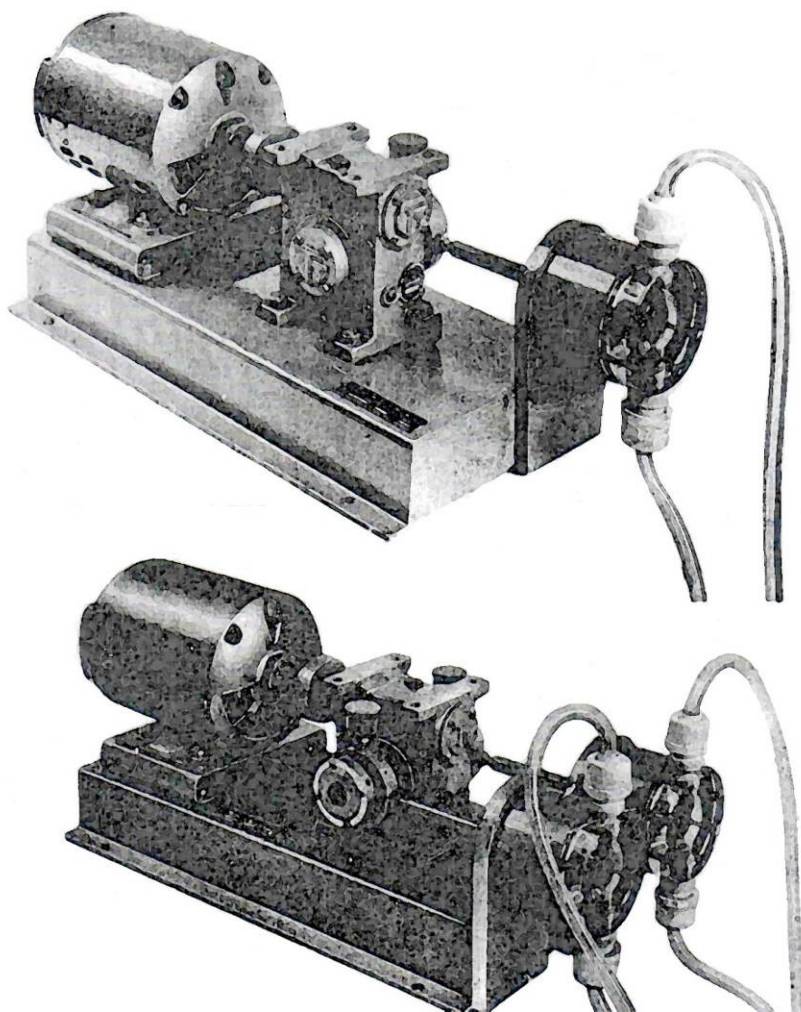
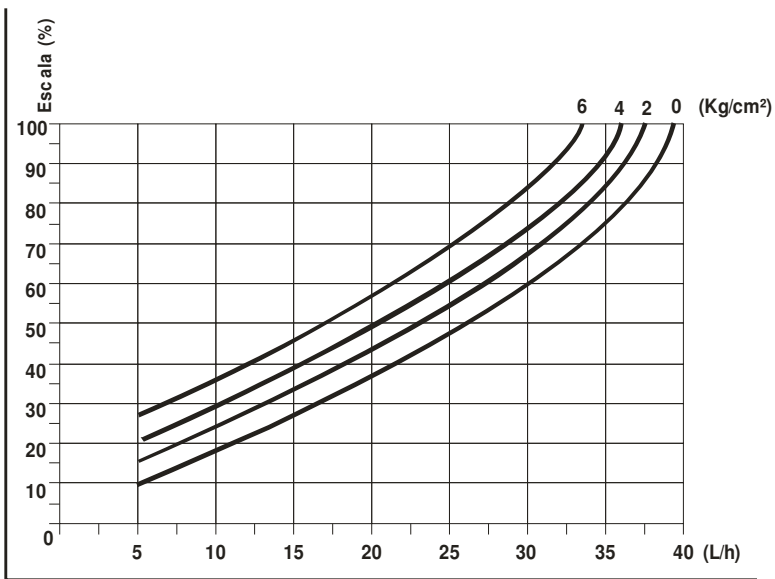
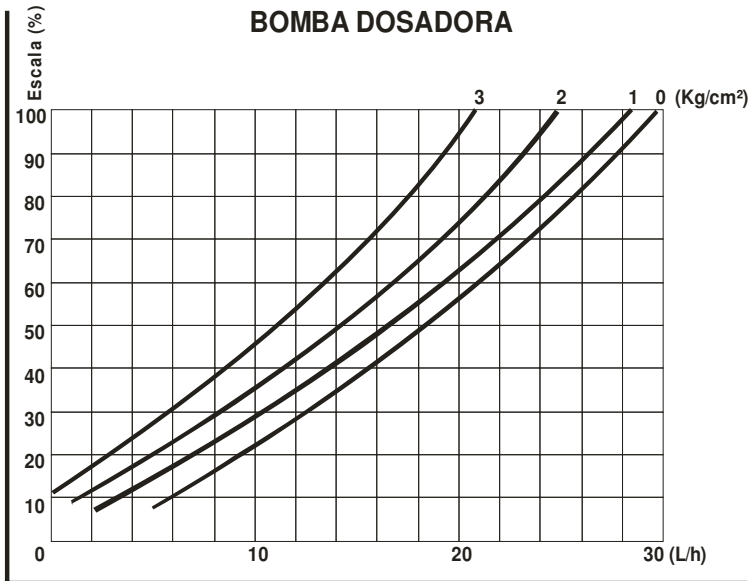


Figura 18: Bombas dosadoras Barbará

Dimensionamento – as bombas dosadoras são dimensionadas em função da vazão de dosagem, de modo que sua capacidade máxima seja igual ao dobro da vazão de dosagem e a pressão de injeção de acordo com a pressão no ponto de aplicação.



**EXEMPLOS DE PONTOS DE OPERAÇÃO DE BOMBAS DOSADORAS
(VAZÃO X PRESSÃO DE INVERSÃO X PERCENTUAL DE APLICAÇÃO)**

Curva de operação das bombas dosadoras (vazão, pressão de injeção percentual de aplicação)

Vazão máxima da bomba dosadora

$$Q_{BD} = Q_D$$

Q_{BD} → vazão máxima da bomba dosadora em L/h

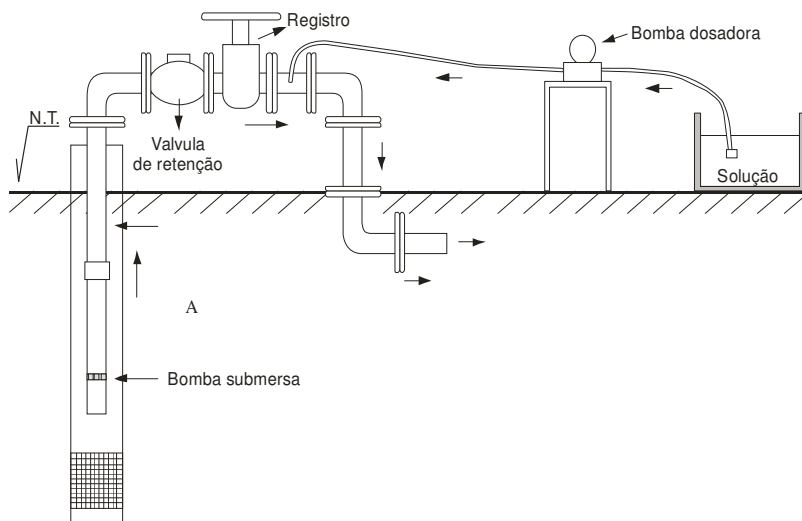
Q_D → vazão de dosagem em L/h

Pressão de injeção

P_i → pressão de injeção da bomba dosadora (conforme a curva de desempenho).

Esquemas de aplicação das bombas dosadoras:

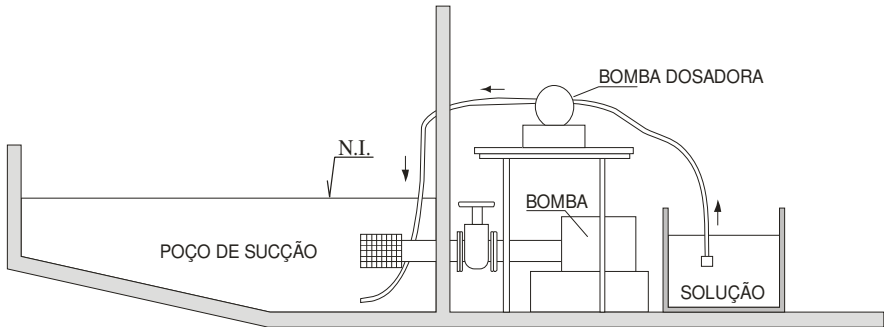
Dosagem em poço tubular



Esquema de Dosagem de Solução de Produtos Químicos para Poço Tubular.

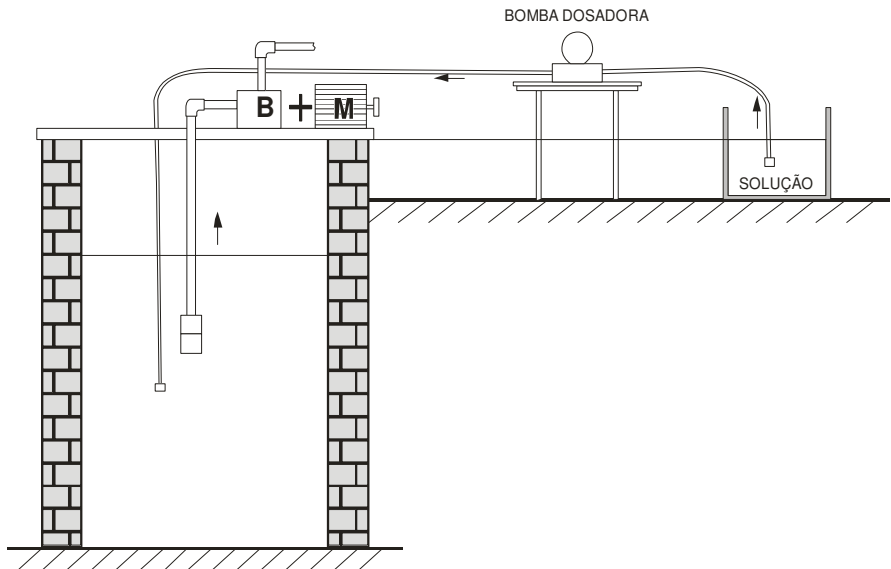
Figura 19: Dosagem em poço de sucção de estação elevatória

ESTAÇÃO ELEVATÓRIA



Esquema de Dosagem de Produtos Químicos em Estação Elevatória

Figura 20: DOSAGEM EM POÇO AMAZONAS



Esquema de Dosagem de Produtos Químicos em Estação Elevatória

Hidrojetores: São dispositivos dosadores para soluções químicas, que utilizam a pressão das bombas de recalque para através de dispositivos Venturi, internos, promover o vácuo, succionando as soluções e injetando as mesmas nos pontos de aplicação com dosagens reguladas nos próprios hidrojetores

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar um sistema de desinfecção com o emprego de solução aquosa de hipoclorito de cálcio, com os seguintes elementos:
- Pressão no ponto de aplicação: 26m
 - População de projeto: 12.000 hab
 - Quota per capita: 180 L/hab.dia
 - Coeficiente do dia de maior consumo: 1,25
 - Período diário de operação: 24 h
 - Dosagem de cloro: 2,5 mg/L
 - Teor de cloro no hipoclorito de cálcio: 65%
 - Concentração da solução: 5%
 - Dispositivo dosador: bomba dosadora

Solução

- Vazão a tratar

$$Q = \frac{P \cdot q \cdot k1}{n \cdot 3600} = \frac{12000 \cdot 180 \cdot 1,25}{24 \cdot 3600}$$

$$Q = 31,25 \text{ L/s}$$

- Consumo diário de cloro

$$C_C = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000} = \frac{31,25 \cdot 2,5 \cdot 24 \cdot 3600}{1000000}$$

$$C_C = 6,75 \text{ kg}$$

- Consumo diário de hipoclorito de cálcio

$$C_H = \frac{C_C \cdot 100}{i} = \frac{6,75 \cdot 100}{65}$$

$$C_H = 10,385 \text{ kg}$$

- Volume da solução

$$V_S = \frac{100 \cdot C_H}{c} = \frac{100 \cdot 10,385}{5}$$

$$V_S = 207,70 \text{ L}$$

– Vazão da dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n} = \frac{207,70}{24}$$

$$Q_D = 8,65 \text{ L/h}$$

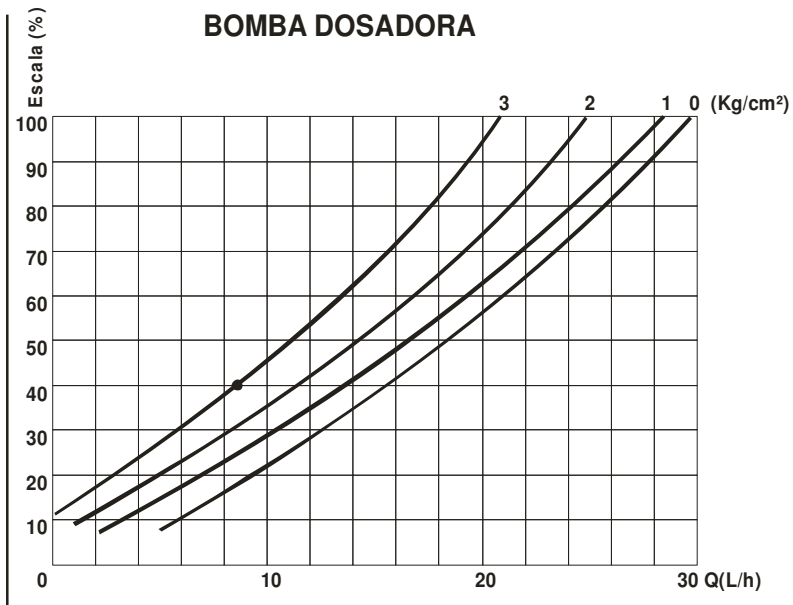
– Capacidade máxima da bomba dosadora

$$Q_{BD} = 2 \cdot Q_D = 2 \cdot 8,65$$

$$Q_{BD} = 17,30 \text{ L/h}$$

– Pressão de injeção

$$PI = 3 \text{ Kg/cm}^2$$



– Especificação da bomba dosadora

tipo: de pistão ou diafragma

vazão para operação: 8,65 L/h

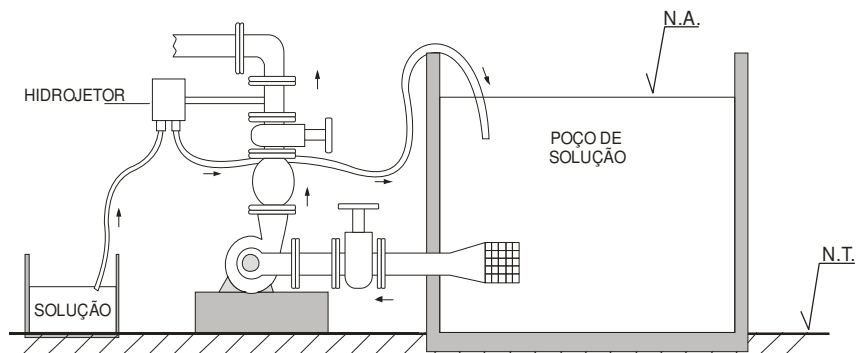
pressão de injeção \geq : 3kg/cm²

vazão máxima: 17,30 L/h

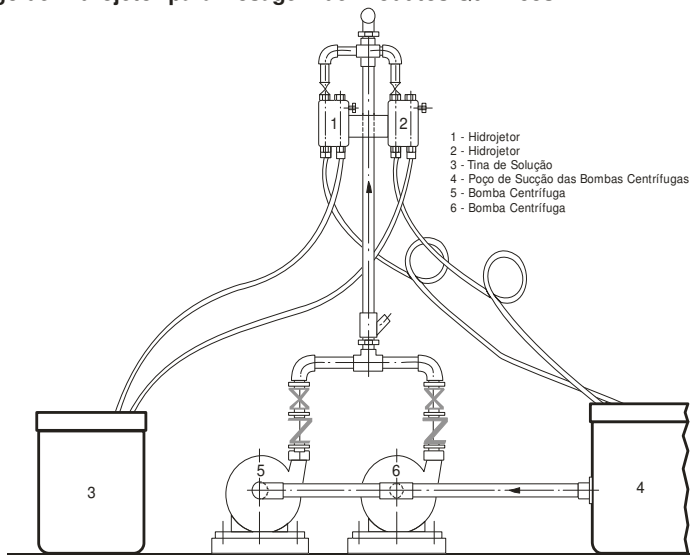
Hidrojetores

Conceito – são dispositivos dosadores que utilizam a pressão da bomba de recalque para através de tubo Venturi promover o vácuo, succionando a solução e injetando a mesma no ponto de aplicação a dosagem é regulada no próprio hidrojetor.

Esquema de ligação geral



Emprego de Hidrojetor para Dosagem de Produtos Químicos



Emprego de Hidrojetor para Dosagem de Produtos Químicos

Figura 21: SOLANIL

HIDROJETOR

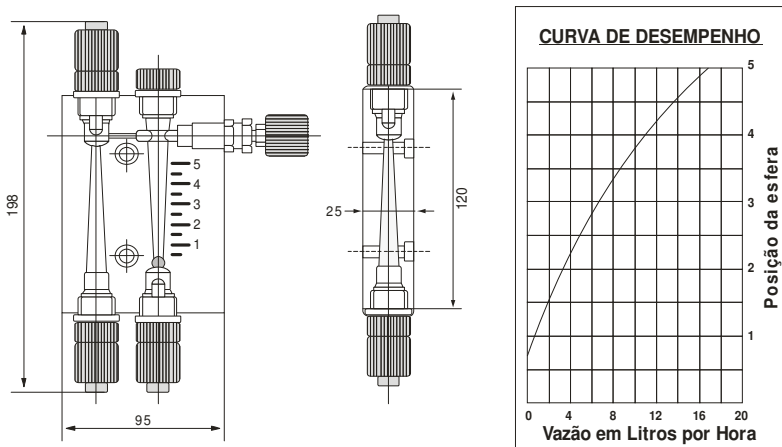


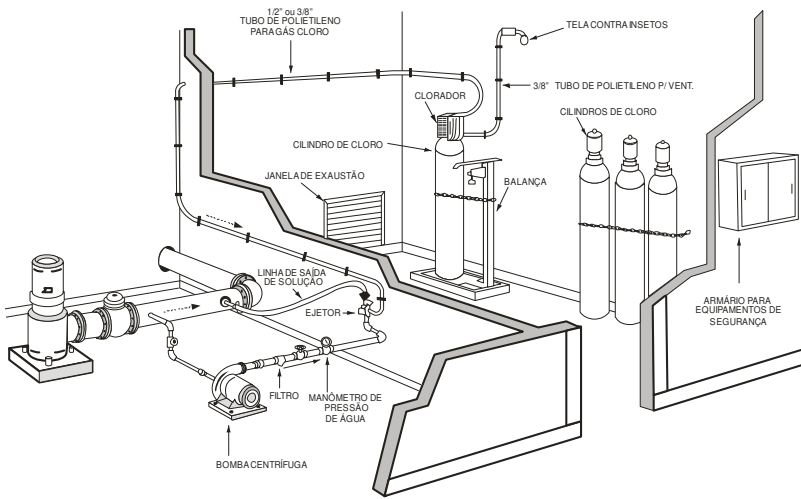
Figura 22: Hidrojetores Útil

Cloradores

Conceito – são dispositivos dosadores constituídos por um conjunto de peças e acessórios que relacionamos a seguir:

- Filtro para cloro
- Regulador de vácuo
- Medidor
- Limitador de vácuo
- Acessórios: ejetor; tubos flexíveis; bomba centrífuga.

Funcionamento – uma bomba centrífuga recalca água com certa vazão a ejetor, que pelo seu formato, com seções transversais variáveis, cria um vácuo, permitindo a entrada do gás cloro no clorador, tendo antes passado por filtro para cloro, o qual retém as impurezas que são da ordem de 0,01%. A entrada do gás no clorador se dá pela válvula reguladora de vácuo que é acionada por uma mola reduzindo a pressão do cloro antes da sua entrada no clorador. Depois o cloro passa pelo medidor que é regulado manualmente, determinando sua vazão. O medidor é constituído basicamente por um tubo rotâmetro; do medidor o gás passa para o limitador de vácuo, cuja função é manter a constância do vácuo necessário para o funcionamento do clorador. Esquemas de cloração a gás- conforme figura na página a seguir.



**INSTALAÇÃO TÍPICA DE CLORADOR - 70C1710
(CABEÇA DE CILINDRO)**



Clorador a gás
com controle a vácuo.

Capacidade do clorador

$$C_{CL} = \frac{C_C}{n}$$

- C_{CL} → capacidade do clorador
 C_C → consumo de cloro em kg
 n → número de horas de operação por dia

Características da bomba centrífuga auxiliar – tanto a vazão com a pressão da água para iniciar o processo de dosagem de cloro gasoso são obtidos na tabela seguinte em função da pressão existente no ponto de aplicação e capacidade máxima do clorador, com isso se define o ponto de operação da bomba centrífuga auxiliar.

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE OPERAÇÃO										
Max. Cap. do dosador	4,0 kg/dia		9,0 kg/dia		22,7 kg/dia		44 kg/dia			
							INJETOR 99		INJETOR 140	
Contra pressã o kg/cm ²	Pressão kg/cm ²	Vazão LPM	Pressão kg/cm ²	Vazão LPM	Pressão kg/cm ²	Vazão LPM	Pressão kg/cm ²	Vazão LPM	Pressão kg/cm ²	Vazão LPM
0,18	1,40	5,30	1,80	6,10	2,80	7,60	9,80	14,00	2,45	13,20
0,35	1,80	6,10	2,10	6,50	3,15	8,00	9,80	14,00	2,80	14,20
0,70	2,10	6,50	2,80	7,60	3,85	8,70	9,80	14,00	3,15	15,10
1,40	3,50	8,40	3,85	8,70	6,25	10,20	10,10	14,20	4,90	18,90
2,80	5,95	10,60	6,70	11,30	7,35	11,70	10,50	14,20	7,35	22,50
4,20	8,90	12,90	9,10	12,20	9,45	13,60	11,60	15,10	9,80	26,50
5,25	11,20	14,80	11,20	14,70	11,50	15,10	13,30	16,30	12,30	30,00

TIPOS DE CLORAÇÃO E DEMAIS ELEMENTOS

Tipo de Cloração	Dosagem de Cloro mg/L)	Tempo de contato	pH	Cloro residual mínimo(mg/L)
Residual Combinado disponível	1 a 5	3 horas	<7	2,0
Residual livre	1 a 10	20 min	<9	0,2
Break Point	10x(NH ₃ comN)	30 min	6,5 a 8,5	0,2
Monocloraminas	5x(NH ₃ comN)	20 min	<8,5	0,2
Dicloraminas	10x(NH ₃ comN ₂)	20 min	4,4 a 5,0	0,2

OBS.: Break point é tipo de cloração efetuada com doses muito elevadas de cloro, de modo que toda a amônia presente na água se transforma em tricloraminas, a partir daí o cloro passa para a forma de residual livre

EXERCÍCIOS

- a) Dimensionar um sistema de desinfecção para água, considerando os seguintes dados, para emprego de cloro gasoso:
- Vazão a tratar: 60 L/h
 - Dosagem de cloro: 2,5 mg/L
 - Período diário de operação: 24 h
 - Pressão no ponto de aplicação: 22 m

Solução

- Consumo diário de cloro

$$C_c = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000} = \frac{60 \cdot 2,5 \cdot 24 \cdot 3600}{1000000}$$

$$C_c = 12,96 \text{ kg}$$

- Capacidade do clorador

$$C_{CL} = \frac{C_c}{n} = \frac{12,96}{24}$$

$$C_{CL} = 0,54 \text{ kg/h}$$

- Consumo mensal de cloro

$$C_{MC} = 30 \cdot C_C = 30 \cdot 12,96$$

$$C_{MC} = 388,80 \text{ kg}$$

- Características da bomba centrífuga auxiliar
capacidade diária do clorador

$$C_C = 0,54 \cdot 24$$

$$C_C = 12,96 \text{ kg / dia}$$

pressão no ponto de aplicação:

$$22m = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ kg / cm}^2$$

Vazão e pressão (relacionando na tabela a coluna de contra-pressão com a linha de capacidade máxima do clorador. Temos que para contra-pressão de 2,8 kg/cm² (>2,2 kg/cm²) e para a capacidade do clorador de 22,7 kg/dia (> 12,96 kg/dia), vazão de 11,70 L/min e pressão de 7,35 kg/cm².

ponto de operação da bomba centrífuga auxiliar

vazão: 11,70 L/min

pressão: 7,35 kg/cm² = 73,50 m

3-CLARIFICAÇÃO

3.1-DEFINIÇÃO – É o processo tratamento de água que visa reduzir a cor e a turbidez da água.

3.2-FASES BÁSICAS – O processo de clarificação se compõe das seguintes fases básicas:

Mistura

Coagulação

Floculação

Decantação

3.2.1-MISTURA

– consiste na distribuição rápida e homogênea de um coagulante ou outro reagente químico na água a ser tratada, utilizando-se energia hidráulica, mecânica ou outro meio. Trata-se de uma operação puramente física que tem a finalidade de garantir a uniformidade do tratamento em

toda massa de água, antes que as reações químicas se completem.

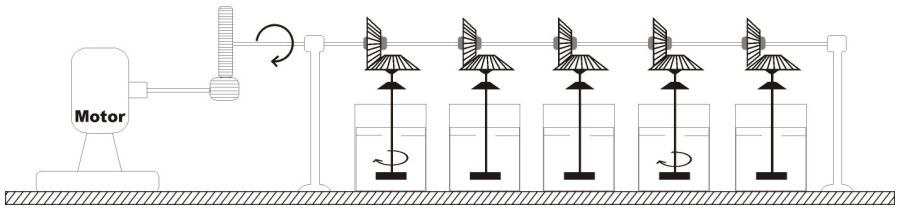
AGENTES QUÍMICOS EMPREGADOS:

Coagulantes primários: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico e outros.

Coagulantes Primários e Faixas de pH em que são utilizados

Coagulantes	Faixa de pH
Sulfato de alumínio	5,0 a 8,0
Sulfato ferroso	8,5 a 11,0
Sulfato férrico	5,0 a 11,0
Cloreto férrico	5,0 a 11,0
Sulfato ferroso clorado	acima de 4,0
Aluminato de sódio Sulfato de alumínio	6,0 a 8,5

- **álcalis:** cal virgem, cal hidratada, barrilha (carbonato de cálcio), bicarbonato de sódio. Para a determinação das dosagens ótimas de coagulante, a serem empregados no tratamento das águas, é utilizado o teste dos jarros, através do qual são determinadas as condições ótimas para a sua floculação, tendo como características o tempo e a agitação necessários para isso. O equipamento usado para o teste dos jarros é constituído por 6 recipientes, tendo cada um eixo com rotor que gira por meio de motor elétrico (rotação em torno de 100 RPM) provocando a agitação da água, e recebe o coagulante através de um funil. O teste dos jarros envolve ainda conceitos que não são objetos do presente curso, e que servem de elementos básicos para o projeto de uma estação de tratamento de água.



**Figura 23: ENSAIOS DE FLOCULAÇÃO
JAR-TEST**

O emprego do coagulante sulfato de alumínio, é função do pH, da alcalinidade, da turbidez e da quantidade de sólidos presente na água a ser tratada; levando em conta

as características das águas superficiais do Brasil, as dosagens do referido coagulante se situam entre 5 e 50 mg/L ou ppm, porém podem chegar a valores superiores a 50 mg/L, por ocasião do inverno

O ensaio consiste basicamente na disposição de certos volumes da água bruta nos 6 recipientes do aparelho jar-test. Dentro desses bequers, são introduzidas palhetas que por vez se acoplam a um motor elétrico o qual gira, forçando o giro das palhetas em uma rotação que depende do operador, geralmente em torno de 100 RPM. A finalidade desse ensaio é simular no laboratório, as fases do processo de clarificação, ou seja a mistura rápida, a floculação e a decantação. O teste é iniciado com a rotação mais elevada, simulando o gradiente de velocidade da mistura rápida, quando é adicionado a solução de sulfato de alumínio, com a concentração de 0,1%, o que corresponde a 1g por litro; a partir se utilizam doses previamente preparadas dentro da faixa de 5 a 50 mg/L, de modo crescente de 3 em 3 mg/L ou de 5 em 5 mg/L. Após a adição do coagulante que deve ser feita de modo simultâneo, quando deve ser mantida a agitação por 1 ou 2 minutos, quando então é

diminuída a rotação, o que permitirá a formação dos flocos, em um período de 15 a 20 minutos, o motor é então desligado, quando então é iniciada a decantação dos flocos por um período de 10 a 30 minutos, ocasião em que se verificada qual o bequer tem a água mais floculada, adotando-se a dosagem correspondente do coagulante.

Exemplo:

Partindo de uma solução de sulfato de alumínio com concentração de 5%, para se operar com a leitura da bureta, devemos contar com uma solução a 0,1% para isso temos:

5kg de sulfato de alumínio para cada 100 L ou seja 5000g para cada 100L, ou que corresponde a 50g para cada 1000mL, enquanto com a concentração de 0,1%, corresponde a 100g para cada 100 L, ou ainda 1g para cada 1L e ainda que 1mL corresponde a 1mg; assim podemos calcular

$$\begin{array}{l} 50\text{g/L de sulfato para } \text{-----}1000\text{ml} \\ 1\text{g/L } \text{-----} \text{-----} X \\ \quad \quad \quad \underline{1 \times 1000} \\ X = \frac{\quad}{50} = 20 \text{ mL/L} \end{array}$$

Concluimos então que 20mL é o volume da solução a 5% que deve ser diluído em 1 litro de água para a obtenção de solução a 0,1%, necessária para a operação como o jar-test

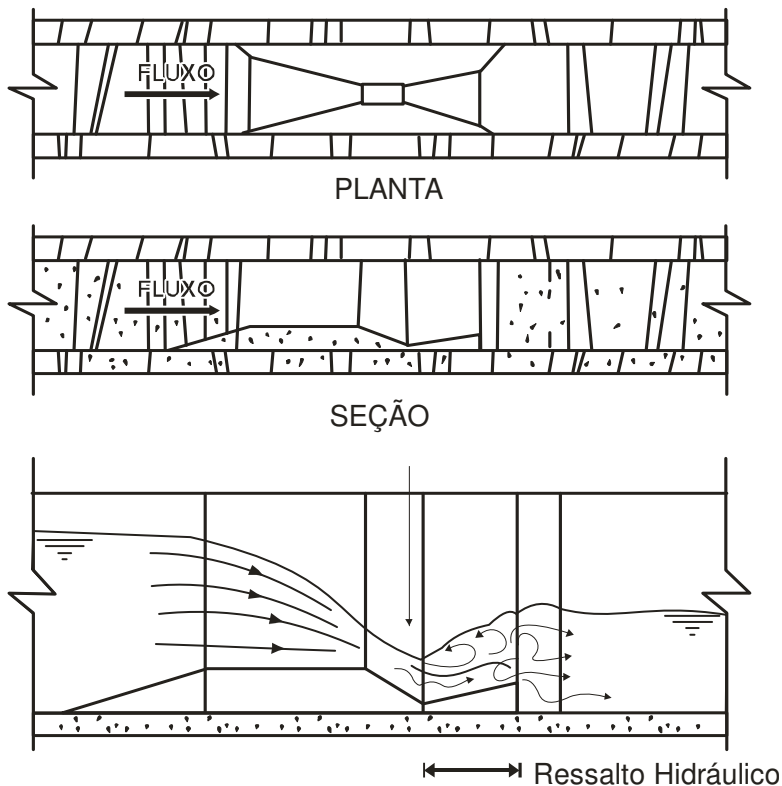
A partir desta solução a 0,1%, retiram-se quotas da mesma para serem dispostas nos bequers; desta forma ,retiramos ,por exemplo , 5mL da referida solução, o que corresponde a 5mg, já que 1mL equivale a 1mg, que diluídos em 1litro, obtemos uma solução de 5mg/L; a solução de 10mg/L é obtida com 10mL, retirados da solução básica e diluídos em 1 litro e assim por diante.

A rotação imposta pelo motor às palhetas,deve provocar uma turbulência equivalente ao máximo grau de turbulência da mistura rápida da estação de tratamento da água, de modo geral em torno de 100 RPM,durante um período de 1 a 2 minutos, quando então se diminui a rotação para 40 RPM aproximadamente que o nível de turbulência da floculação, durante o intervalo de 15 a 20 minutos. Depois dessa etapa, o motor é desligado e aguardamos então em um período de 15 a 30 minutos, a formação e o adensamento dos flocos,com a conseqüente decantação dos mesmos. Finalmente é feito um comparativo entre os bequers, optando-se pela dosagem daquele que apresentou melhor clarificação

Misturadores: são as unidades em uma estação de tratamento de água responsáveis pela dispersão dos reagentes no seio da massa líquida, dentre os misturadores, destacamos as calhas Parshall e os misturadores mecânicos.

As calhas Parshall são dispositivos instalados na entrada das estações de tratamento de água, construídos em fibra de vidro, concreto, aço, etc, que pelas suas características geométricas com secções decrescentes, garganta e secções decrescentes, fundo no trecho a montante da garganta plano, na garganta descendente, a jusante da garganta ascendente, provoca a mudança do regime de

escoamento lento com a brusca sobre elevação da superfície livre da água acompanhada de agitação e de grande dissipação de energia. Esse fenômeno físico é utilizado para a dispersão dos reagentes no seio da massa líquida.



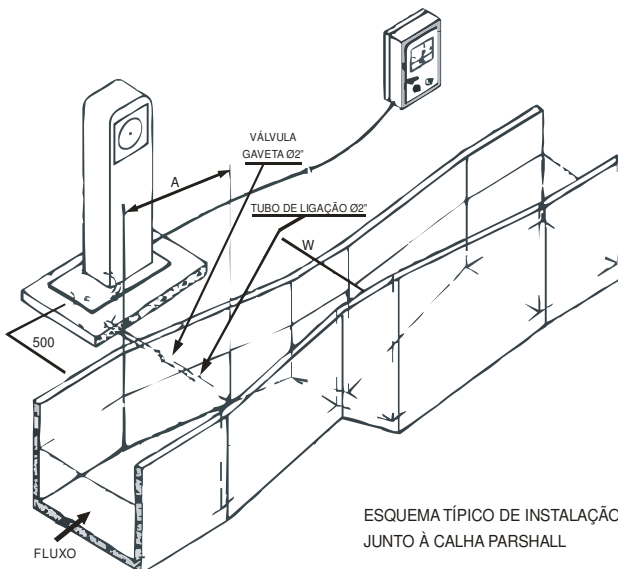


TABELA PARA UTILIZAÇÃO DE CALHA PARSHALL

CÓDIGO	W	VASÃO MÁXIMA m ³ /h	Ht	A
101.03.01	3"	100	547	155
101.03.02	6"	350	700	207
101.03.03	9"	850	853	293
101.03.04	1'	1400	1005	457
101.03.05	1 ½"	2000	1005	483
101.03.06	2'	2850	1005	508
101.03.07	3'	4500	1005	559
101.03.08	4'	6100	1005	610

Os misturadores mecânicos são constituídos por motores elétricos acoplados a um eixo em cuja extremidade inferior se instalam um rotor; com giro dos motores, os rotores também giram misturando os reagentes na água.

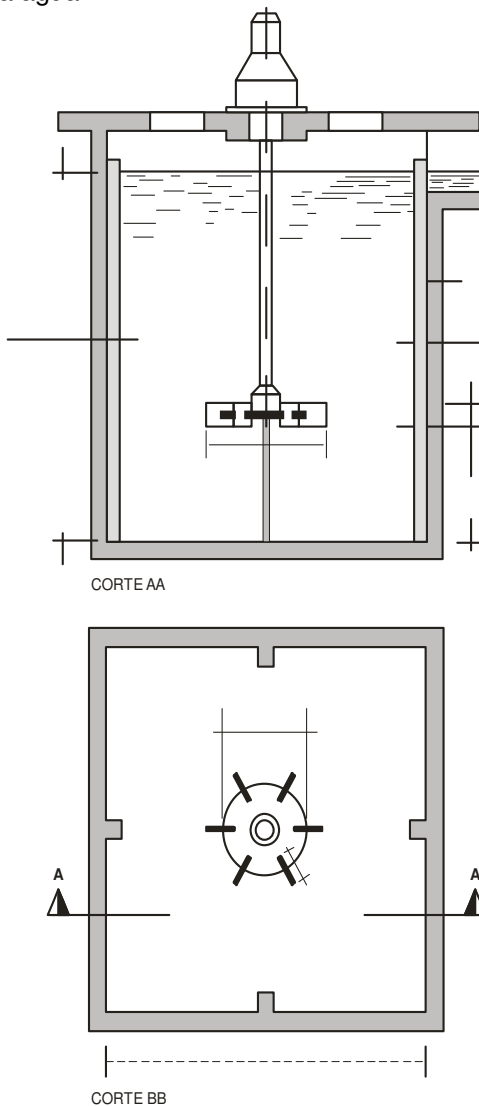


Figura 24: Emprego do reagente sulfato de alumínio Turbina para Dispersão

Fórmula química: $Al_2(SO_4)_3$
Teor de impurezas: em torno de 5%
Dosagem: 30 a 50 mg/L

Consumo diário de sulfato de alumínio puro

$$C_{SP} = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000}$$

C_{SP} – consumo de sulfato puro em kg

Q – vazão a tratar em L/s

d – dosagem de sulfato de alumínio em mg/L

n – números de horas de operação por dia

Consumo de sulfato com impurezas por dia

$$C_{SI} = \frac{C_{SP} \cdot 100}{100 - x}$$

C_{SI} – consumo de sulfato com impurezas em kg

C_{SP} – consumo de sulfato puro em kg

n – números de horas de operação por dia

x – teor percentual de impurezas no sulfato de alumínio

Volume da solução

$$V_s = \frac{C_{SP} \cdot 100}{c} \quad \text{em que } V_s \text{ é o volume da solução em litros}$$

C_{SP} é o consumo de sulfato de alumínio puro

c é a concentração da solução (peso/volume) em %

Vazão de dosagem

$$Q_D = \frac{V_s}{n} \quad \text{em que } Q_D \text{ é a vazão de dosagem em L/h}$$

V_s é o volume da solução em L

N é número de horas diárias de operação

Dispositivo dosador: bomba dosadora

Capacidade da bomba dosadora:

Capacidade máxima: $Q_{BD} = 2Q_D$

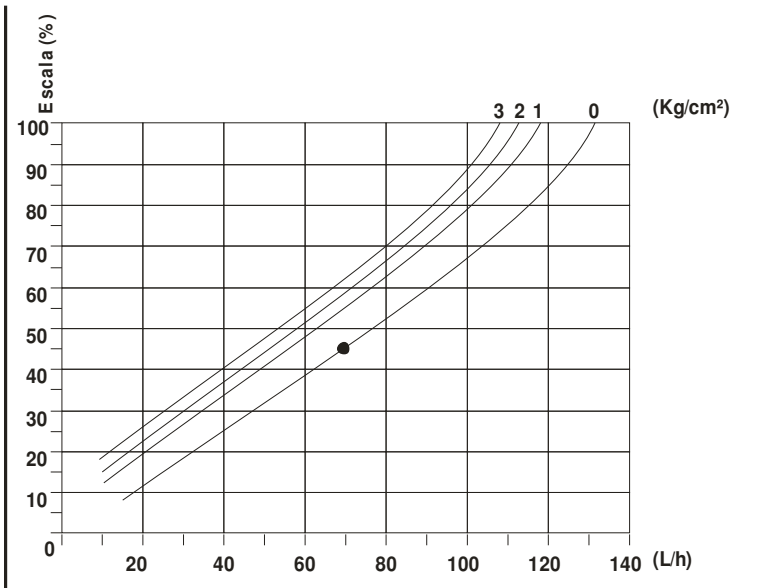
Vazão de dosagem : Q_D

Pressão de injeção da bomba dosadora

Conforme a curva de desempenho da bomba dosadora

EXERCÍCIOS

- a) Considerando os dados e o gráfico a seguir, calcular a bomba dosadora para o emprego de coagulante. Sendo dados:
- Vazão a tratar $22 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Período diário de operação: 24 h/dia
 - Coagulante: sulfato de alumínio com 6% de impurezas
 - Dosagem do coagulante: 32 mg/L
 - Concentração da solução: 10%
 - Pressão no ponto de aplicação: 0 m



Solução

– Vazão a tratar

$$Q = 220 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{220 \cdot 1000}{3600} = 61,11 \text{ L/s}$$

– Consumo diário de sulfato de alumínio puro

$$C_{SP} = \frac{Q \cdot d \cdot n \cdot 3600}{1000000} = \frac{61,11 \cdot 32 \cdot 24 \cdot 3600}{1000000} = 168,96 \text{ kg}$$

– Consumo diário de sulfato com impurezas

$$C_{SI} = \frac{C_{SP} \cdot 100}{100 - x} = \frac{168,96 \cdot 100}{100 - 6} = 179,74 \text{ kg}$$

– Volume da solução

$$V_s = \frac{C_{SP} \cdot 100}{c} = \frac{168,96 \cdot 100}{10} = 1689,60 \text{ L}$$

– Vazão da dosagem

$$Q_D = \frac{V_s}{n} = \frac{1689,6}{24} = 70,40 \text{ L/h}$$

– Capacidade máxima da bomba dosadora

$$Q_{BD} = 2Q_D = 2 \cdot 70,40 = 140,80 \text{ L/h}$$

– Pressão de injeção = 0 km/cm²

3.2.2-COAGULAÇÃO

– é o processo unitário que consiste na formação de coágulos através da reação do coagulante de modo que ocorra um estado geral de equilíbrio eletrostaticamente instável de partículas dentro da massa líquida. A coagulação é definida pelas mudanças físico-químicas produzidas pela dispersão, na água, de um coagulante solúvel que se hidrolisa em partículas carregadas positivamente, anulando as cargas negativas dos colóides, formando com eles os coágulos.

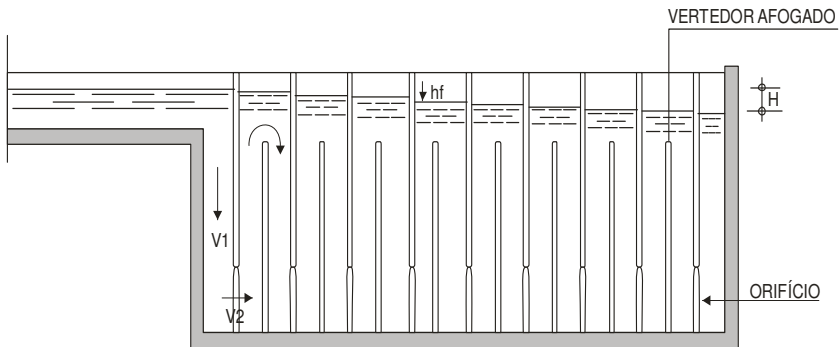
3.2.3-FLOCULAÇÃO

– é o processo unitário que ocorre logo após a coagulação, consistindo no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas que são os coágulos, de modo a formar outras maiores, denominadas flocos que poderão ser removidas posteriormente por decantação, por flutuação e

por filtração. Para que aconteça a floculação, a água deve ser agitada de modo muito mais suave do que na mistura dos reagentes, com o emprego da energia hidráulica ou mecânica.

Floculadores Hidráulicos de Chicanas – são canais divididos por placas paralelas (chicanas) constituindo câmaras nas quais a energia hidráulica é dissipada. Em virtude da localização das chicanas a água efetua um movimento sinuoso dentro dos floculadores. Conforme a direção do fluxo de água os floculadores se classificam em:

Floculadores de Fluxo Vertical – são aqueles em que a água sobe e desce passando por aberturas inferiores no fundo do canal e por cima das chicanas na parte superior.



Câmara com chicanas de fluxo vertical - Corte transversal.

DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES DE CHICANAS DO TIPO VERTICAL

1-Parâmetros preliminares

1.1-Gradientes de velocidade : $80 \text{ a } 20 \text{ s}^{-1}$

1.2.Velocidades de escoamento : entre $0,10 \text{ e } 0,30 \text{ m/s}$

1.3-Velocidades nas passagens : $2/3$ das velocidades de escoamento

2-Fixação do número de canais ou setores : n

3-Fixação da largura de cada canal: b_i

4-Determinação da profundidade de cada compartimento em função de outras

unidades de estação de tratamento

5-Fixação do comprimento de cada canal : L_i

6-Fixação do número de câmaras de floculação para cada canal : N_i

7-Espaçamento entre chicanas

$$e_i = \frac{L - E \cdot N_i}{N_i}$$

em que e_i é o afastamento entre chicanas em metros de um canal

E é a espessura da chicana em metros

N_i é o número de chicanas de um canal

L é o comprimento do canal em metros

8-Velocidade da água entre chicanas

$$V_{1i} = \frac{Q}{e_i b_i}$$

em que V_{1i} é a velocidade de escoamento em m/s

Q é a vazão em m^3/s ,

e_i é o afastamento entre chicanas em metros

b_i é a largura de cada canal em

9-Velocidade nas passagens

$$V_{2i} = \frac{2 \cdot V_{1i}}{3}$$

em que V_{2i} é a velocidade nas passagens em m/s

V_{1i} é a velocidade de escoamento em m/s

10- Extensão Média Percorrida pela Água em cada Canal

$L_i = 60 V_{1i} t$ em que L_i é a extensão percorrida pela água no canal em metros

V_{1i} é a velocidade de escoamento em m/s

t é o tempo de detenção em cada canal em

minutos

11-Rio hidráulico dos canais entre chicanas

$$R_{Hi} = \frac{e_i b_i}{2(e_i + b_i)}$$

Em que R_{Hi} é o raio hidráulico em metros

e_i é o espaçamento entre chicanas em metros

b_i é a largura do canal em metros

12-Perda de carga por atrito- fórmula de Manning

$$h_{Ai} = \frac{(V_{1i} K_m)^2 \cdot L_i}{R_{Hi}^{1.486}}$$

Em que R_{Hi} é o raio hidráulico em metros

V_{1i} é a velocidade de escoamento em m/s

K_m é coeficiente de Manning

L_i é a extensão percorrida pela água no canal em metros
 h_{Ai} é a perda de carga por atrito no canal em metros

13-Perdas de carga nas passagens

$$H_{Pi} = \frac{(N_i + 1)V_{1i}^2 + N_i V_{2i}^2}{2g}$$

em que:

H_{Pi} é a perda de carga nas passagens alargamento e contração da secção em metros

N_i é o número de chicanas

V_{1i} é a velocidade de escoamento em m/s

V_{2i} é a velocidade nas passagens em m/s

g é a aceleração da gravidade em m/s^2

14-Perda de carga total em um canal

$h_{fi} = H_{Ai} + H_{Pi}$ em que h_{fi} é a perda de carga total em metros

H_{Ai} é a perda de carga por atrito em metros

H_{Pi} é a perda de carga nas passagens em m

15-Gradientes de velocidade

$G_i = G_i = \sqrt{\frac{\gamma h_{fi}}{\mu \cdot 60t}}$ em que G_i é o gradiente de velocidade em s^{-1}

h_{fi} é a perda de carga total no canal em m

t é o tempo de detenção no canal em minutos

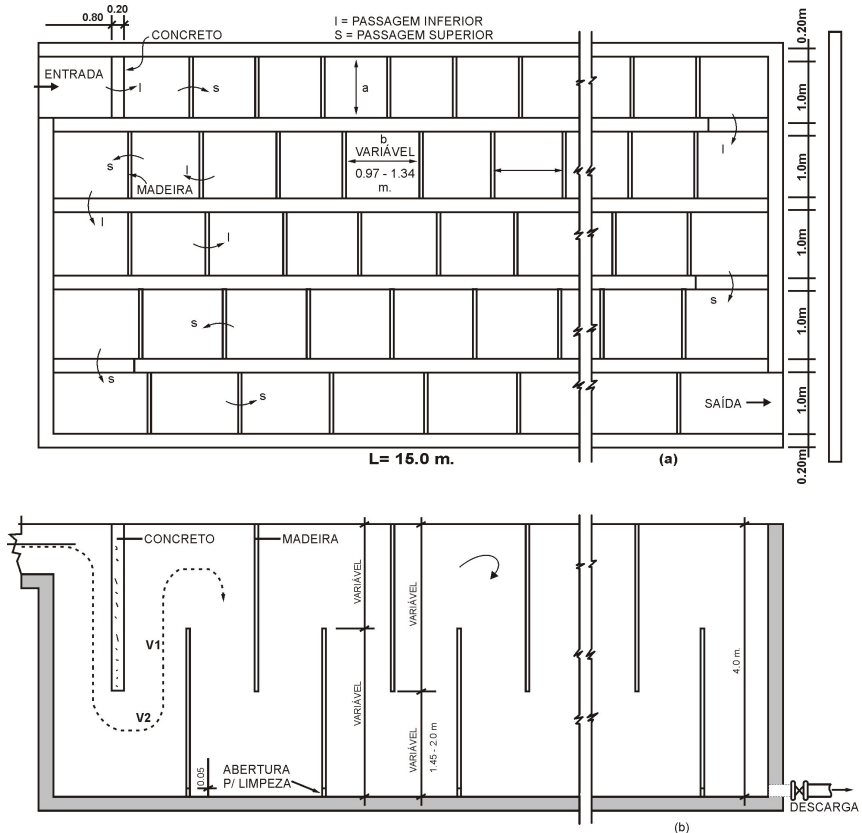
μ é a viscosidade absoluta em $N \cdot s/m^2$

γ é o peso específico da água em N/m^3

16- Passagens sob chicanas superiores

$P_i = 1,5e_i$ em que P_i é a diferença entre a aresta inferior da chicana superior e o fundo do flocculador em metros
 e_i em metros

EXERCÍCIO: Dimensionar um floculador hidráulico de chicanas tipo vertical, constituído por 3 canais ou setores de floculação, com chicanas tipo vertical com vazão a ser tratada de 120 L/s, considerando ainda os seguintes elementos:



a-Gradientes de velocidades obtidos em ensaios, 45,35 e 30 s⁻¹, para os 3 setores respectivamente

b-Largura prefixada para cada canal : 0,50m

c-Comprimento prefixado para cada canal: 12 m

d-Tempo de detenção ou floculação : 18 minutos

e-Peso específico da água a 20 ° C : 9789 N/m³

f-Espessura das chicanas em madeira : 30mm

g-Profundidade : 3m

Solução

1-Espaçamento entre chicanas

$$e_i = \frac{L - E \cdot N_i}{N_i}$$

$$1.1- 1^\circ \text{ canal} \quad e_1 = \frac{12 - 0,03 \times 12}{12} = 0,97 \text{ m}$$

$$1.2- 2^\circ \text{ canal} \quad e_2 = \frac{12 - 0,03 \times 11}{11} = 1,06 \text{ m}$$

$$1.3- 3^\circ \text{ canal} \quad e_3 = \frac{12 - 0,03 \times 10}{10} = 1,17 \text{ m}$$

2-Velocidade d água entre chicanas

$$V_{1i} = \frac{Q}{e_i b_i}$$

$$2.1- 1^\circ \text{ canal} \quad V_{11} = \frac{0,12}{0,97 \times 0,5} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$2.2- 2^\circ \text{ canal} \quad V_{12} = \frac{0,12}{1,06 \times 0,50} = 0,23 \text{ m/s}$$

$$2.3- 3^\circ \text{ canal} \quad V_{13} = \frac{0,12}{1,17 \times 0,50} = 0,21 \text{ m/s}$$

3-Velocidade nas passagens pelas chicanas

$$V_{2i} = \frac{2 \cdot V_{1i}}{3}$$

$$3.1- 1^\circ \text{ canal} \quad V_{21} = \frac{2 \times 0,25}{3} = 0,17 \text{ m/s}$$

$$3.2- 2^\circ \text{ canal} \quad V_{22} = \frac{2 \times 0,23}{3} = 0,15 \text{ m/s}$$

$$3.3- 3^\circ \text{ canal} \quad V_{23} = \frac{2 \times 0,21}{3} = 0,14 \text{ m/s}$$

4-Extensão média percorrida pela água em cada canal

$$L_i = 60 V_{1i} t$$

$$4.1- 1^\circ \text{ canal} \quad L_1 = 60 \times 0,25 \times 6 = 90 \text{ m}$$

$$4.2- 2^\circ \text{ canal} \quad L_2 = 60 \times 0,23 \times 6 = 82,8 \text{ m}$$

$$4.3- 3^\circ \text{ canal} \quad L_3 = 60 \times 0,21 \times 6 = 75,6 \text{ m}$$

5-Raio hidráulico dos compartimentos entre chicanas

$$R_{Hi} = \frac{e_i b_i}{2(e_i + b_i)}$$

$$5.1- 1^\circ \text{ canal} \quad R_{H1} = \frac{0,97 \times 0,50}{2(0,97 + 0,50)} = 0,165\text{m}$$

$$5.2- 2^\circ \text{ canal} \quad R_{H2} = \frac{1,06 \times 0,50}{2(1,06 + 0,50)} = 0,170\text{m}$$

$$5.3- 3^\circ \text{ canal} \quad R_{H3} = \frac{1,17 \times 0,50}{2(1,17 + 0,50)} = 0,175\text{m}$$

6-Perda de carga por atrito nos canais

$$h_{Ai} = \frac{(V_{1i} K_m)^2 \cdot L_i}{R_{Hi}^{1,333}}$$

$$6.1- 1^\circ \text{ canal} \quad H_{A1} = \frac{(0,25 \times 0,013)^2}{0,165^{1,333}} \times 90,00 = 0,0105\text{m}$$

$$6.2- 2^\circ \text{ canal} \quad H_{A2} = \frac{(0,23 \times 0,013)^2}{0,170^{1,333}} \times 82,80 = 0,00786\text{m}$$

$$6.3- 3^\circ \text{ canal} \quad H_{A3} = \frac{(0,21 \times 0,013)^2}{0,175^{1,333}} \times 75,60 = 0,00575\text{m}$$

7-Perdas de carga nas passagens

$$H_{pi} = \frac{(N_i + 1)V_{1i}^2 + N_i V_{2i}^2}{2g}$$

$$7.1- 1^\circ \text{ canal} \quad H_{P1} = \frac{(12 + 1)0,25^2 + 12 \times 0,17^2}{2 \times 9,8} = 0,059\text{m}$$

$$7.2- 2^\circ \text{ canal} \quad H_{P2} = \frac{(11 + 1)0,23^2 + 11 \times 0,15^2}{2 \times 9,8} = 0,045\text{m}$$

$$7.3- 3^\circ \text{ canal} \quad H_{P3} = \frac{(10 + 1)0,21^2 + 10 \times 0,14^2}{2 \times 9,8} = 0,035\text{m}$$

8-Perda de carga total em cada canal

$$h_{fi} = H_{Ai} + H_{Pi}$$

$$8.1- 1^\circ \text{ canal} \quad h_{f1} = 0,0105 + 0,059 = 0,070\text{m}$$

$$8.2- 2^\circ \text{ canal} \quad h_{f2} = 0,00786 + 0,045 = 0,053\text{m}$$

$$8.3- 3^\circ \text{ canal} \quad h_{f3} = 0,00575 + 0,035 = 0,041\text{m}$$

9-Gradientes de velocidade

$$G_i = \sqrt{\frac{\gamma h_{fi}}{\mu \cdot 60t}}$$

$$9.1- 1^{\text{o}} \text{ canal} \quad G_1 = \sqrt{\frac{9.789 \times 0,070}{10^{-3} \times 60 \times 6}} = 43,63 \text{ s}^{-1}$$

$$9.2- 2^{\text{o}} \text{ canal} \quad G_2 = \sqrt{\frac{9.789 \times 0,053}{10^{-3} \times 60 \times 6}} = 39,96 \text{ s}^{-1}$$

$$9.3- 3^{\text{o}} \text{ canal} \quad G_3 = \sqrt{\frac{9.789 \times 0,041}{10^{-3} \times 60 \times 6}} = 33,38 \text{ s}^{-1}$$

10-Espaços livres para as passagens sob as chicanas superiores

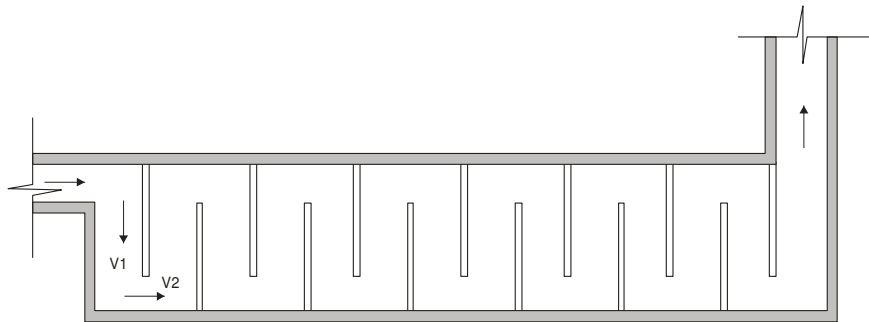
$$P_i = 1,5e_i$$

$$10.1- 1^{\text{o}} \text{ canal} \quad P_1 = 1,5 \times 0,97 = 1,46 \text{ m}$$

$$10.2- 2^{\text{o}} \text{ canal} \quad P_2 = 1,5 \times 1,06 = 1,59 \text{ m}$$

$$10.3- 3^{\text{o}} \text{ canal} \quad P_3 = 1,5 \times 1,17 = 1,76 \text{ m}$$

Floculadores de Fluxo Horizontal – são aqueles em que a água assume um movimento sinuoso em relação ao plano horizontal em virtude da posição das chicanas.



Câmara com chicanas de fluxo horizontal - planta.

DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES DE CHICANAS DO TIPO HORIZONTAL

1.1-Gradientes de velocidade entre 10 e 60 s⁻¹

1.2-Lâminas d'água inferiores a 1,5m

2-Espaçamento entre chicanas

$$e_i = \frac{Q}{V_{1i} \times h}$$

em que

e_i é o espaçamento entre chicanas de um canal em metros

3-Espaçamento entre a aresta de um chicana e a parede de um canal

$s_i = 1,5e_i$ em que

s_i é o espaçamento entre a aresta da chicana e a parede do canal em metros

e_i é o espaçamento entre chicanas em metros

3-Largura de cada canal

$b_i = b + s_i$ em que

b_i é a largura de um canal em metros

b largura adotada para a chicana em metros

s_i é o espaçamento entre a aresta da chicana e a parede do canal em metros

4- Percurso da água em um canal entre chicanas

$L_{ci} = b + e_i$ em que

L_{ci} é o percurso efetuado pela água no compartimento entre chicanas em metros

b é a largura da chicana em metros

e_i é o espaçamento entre chicanas no canal em metros

5-Extensão média percorrida pela água em um canal

$L_i = 60V_{1i}t_i$ em que

L_i é o percurso médio no canal em metros

V_{1i} é a velocidade de escoamento da água no canal pré-fixada em m/s

t_i é o tempo de detenção em minutos em um canal

6-Velocidade da água nas passagens em um canal

$$V_{2i} = \frac{Q}{h \times s_i}$$

em que

V_{2i} é a velocidade da água nas passagens pelas chicanas em m/s

Q é a vazão em m³/s

h é profundidade em metros

s_i é o espaçamento entre a aresta da chicana e a parede do canal em metros

7-Número de canais ou compartimentos entre chicanas em um canal

$$N_i = \frac{L_i}{L_{ci}}$$

N_i é o número de canais entre chicanas

L_i é o percurso da água em um compartimento entre chicanas em metros

L_{ci} é a largura do canal em metros

8-Perdas de carga nas voltas

$$H_{pi} = \frac{(N_i + 1)V_{1i}^2 + N_i V_{2i}^2}{2g}$$

H_{pi} é a perda de carga nas voltas junto às chicanas em metros

N_i é o número de compartimentos entre chicanas em um canal

V_{1i} é a velocidade de escoamento da água entre canais em m/s

V_{2i} é a velocidade da água nas voltas em m/s

g é a aceleração da gravidade em m/s²

9-Raio hidráulico dos compartimentos em um canal

$$R_{Hi} = \frac{e_i h}{2(e_i + h)}$$

R_{Hi} é o raio hidráulico em metros

e_i é o espaçamento entre chicanas em metros

h é a lâmina d'água em metros

10-Perda de carga por atrito em cada canal

$$H_{Ai} = \frac{(V_{1i} K_m)^2 \cdot L_i}{R_{Hi}^{1.486}}$$

H_{Ai} é a perda de carga por atrito em um canal em metros

V_{1i} é a velocidade da água no canal em m/s

K_m é o coeficiente de Manning

L_i é a extensão média percorrida pela água em um canal em metros

R_{Hi} é o raio hidráulico dos compartimentos em metros

11- Perda de carga total em um canal

$$h_{fi} = H_{Ai} + H_{Pi} \quad \text{em que}$$

h_{fi} é a perda de carga total em um canal em metros

H_{Ai} é a perda de carga por atrito em um canal em metros

H_{Pi} é a perda de carga nas voltas em metros

12-Gradiente médio de velocidade em um canal

$$G_i = \sqrt{\frac{\gamma h_{fi}}{\mu \cdot 60t}} \quad \text{em que}$$

G_i é o gradiente de velocidade em s^{-1}

h_{fi} é a perda de carga total no canal em m

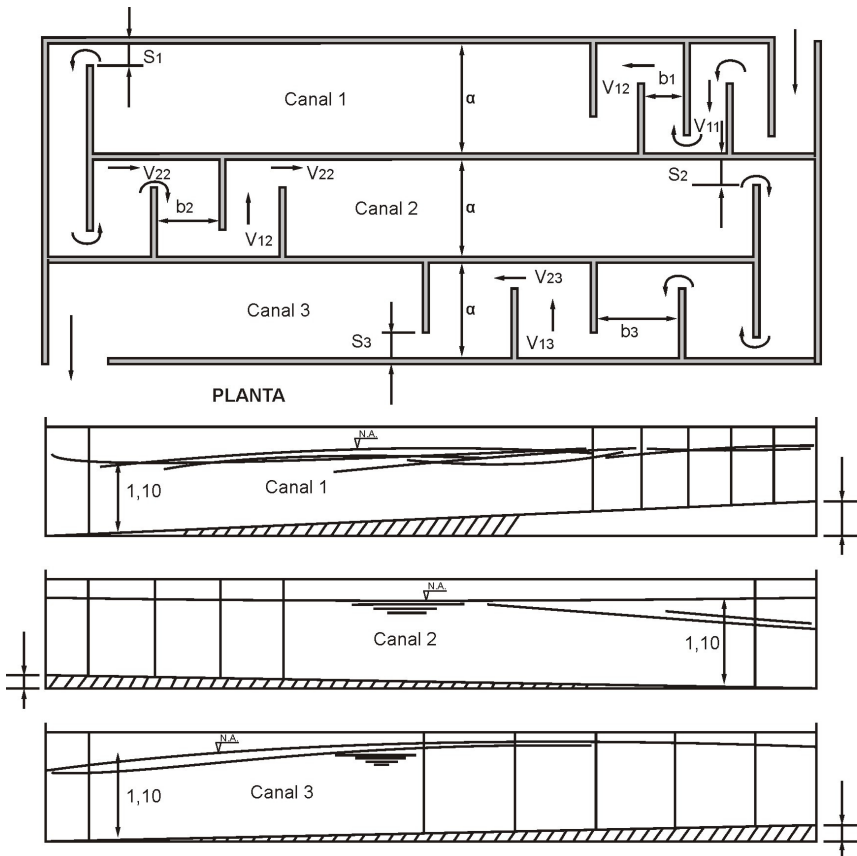
t é o tempo de detenção no canal em minutos

μ é a viscosidade absoluta em $N \cdot s/m^2$

γ é o peso específico da água em N/m^3

EXERCÍCIO

Dimensionar um flocculador hidráulico de chicanas, tipo horizontal.
Considerando os seguintes dados:



a-Vazão:40 L/s

b-Número de canais a ser adotado: 3

c-Lâmina d'água : 1,10m

d-Velocidades adotadas para o escoamento nos 3 canais: 0,20m/s;
0,13m/s;0,08m/s

e-Dimensões das chicanas : espessura 15mm; altura 1200mm;
largura 2450mm

f-Material das chicanas : fibro-cimento

g-Tempo de detenção: 27 minutos

- 1º canal : 8,5 minutos
- 2º canal : 9,0 minutos
- 3º canal : 9,5 minutos

Solução

1-Espaçamento entre chicanas

$$e_i = \frac{Q}{V_{11} \times h}$$

1º canal $e_1 = \frac{0,040}{0,20 \times 1,1} = 0,182\text{m}$

2º canal $e_2 = \frac{0,040}{0,13 \times 1,1} = 0,279\text{m}$

3º canal $e_3 = \frac{0,040}{0,08 \times 1,1} = 0,455\text{ m}$

2-Espaçamento entre a aresta das chicanas e a parede do canal

$$s_i = 1,5e_i$$

1º canal $s_1 = 1,5 \times 0,182 = 0,273\text{ m}$

2º canal $s_2 = 1,5 \times 0,279 = 0,419\text{ m}$

3º canal $s_3 = 1,5 \times 0,455 = 0,683\text{ m}$

3-Largura dos canais

$$b_i = b + s_i$$

1º canal $b_1 = 2,45 + 0,273 = 2,723\text{m}$

2º canal $b_2 = 2,45 + 0,419 = 2,869\text{m}$

3º canal $b_3 = 2,45 + 0,683 = 3,133\text{m}$

4-Percurso da água em canal entre chicanas

$$L_{ci} = b_i + e_i$$

1º canal $L_{c1} = 2,723 + 0,182 = 2,905\text{ m}$

2º canal $L_{c2} = 2,869 + 0,279 = 3,148\text{ m}$

3º canal $L_{c3} = 3,133 + 0,455 = 3,588\text{ m}$

5-Extensão média percorrida pela água em cada canal

$$L_i = 60V_{1i}t_i$$

1º canal $L_1 = 60 \times 0,20 \times 8,5 = 102,00\text{ m}$

2º canal $L_2 = 60 \times 0,13 \times 9,0 = 70,20\text{ m}$

3º canal $L_3 = 60 \times 0,08 \times 9,5 = 45,60\text{ m}$

6-Velocidade da água nas passagens em um canal

$$V_{2i} = \frac{Q}{hs_i}$$

$$1^\circ \text{ canal} \quad V_{21} = \frac{0,040}{1,1 \times 0,273} = 0,133 \text{ m/s}$$

$$2^\circ \text{ canal} \quad V_{22} = \frac{0,040}{1,1 \times 0,419} = 0,087 \text{ m/s}$$

$$3^\circ \text{ canal} \quad V_{23} = \frac{0,040}{1,1 \times 0,683} = 0,053 \text{ m/s}$$

7-Número de canais (compartimentos) entre chicanas

$$N_i = \frac{L_i}{L_{ci}}$$

$$1^\circ \text{ canal} \quad N_1 = \frac{102,00}{2,905} = 35$$

$$2^\circ \text{ canal} \quad N_2 = \frac{70,20}{3,148} = 22$$

$$3^\circ \text{ canal} \quad N_3 = \frac{45,60}{3,588} = 13$$

8-Perda de carga nas voltas

$$H_{pi} = \frac{(N_i + 1)V_{3i}^2 + N_i V_{2i}^2}{2g}$$

$$1^\circ \text{ canal} \quad H_{p1} = \frac{(35 + 1)0,20^2 + 35 \times 0,133^2}{2 \times 9,8} = 0,105 \text{ m}$$

$$2^\circ \text{ canal} \quad H_{p2} = \frac{(22 + 1)0,13^2 + 22 \times 0,087^2}{2 \times 9,8} = 0,028 \text{ m}$$

$$3^\circ \text{ canal} \quad H_{p3} = \frac{(13 + 1)0,08^2 + 13 \times 0,053^2}{2 \times 9,8} = 0,006 \text{ m}$$

9-Raio hidráulico dos compartimentos em cada canal

$$R_{Hi} = \frac{e_i h}{2(e_i + h)}$$

$$1^{\circ} \text{ canal} \quad R_{H1} = \frac{0,182 \times 1,1}{2(0,182 + 1,1)} = 0,078 \text{ m}$$

$$2^{\circ} \text{ canal} \quad R_{H2} = \frac{0,279 \times 1,1}{2(0,279 + 1,1)} = 0,111 \text{ m}$$

$$3^{\circ} \text{ canal} \quad R_{H3} = \frac{0,455 \times 1,1}{2(0,455 + 1,1)} = 0,161 \text{ m}$$

10-Perda de carga por atrito em cada canal

$$H_{Ai} = \frac{(V_i K_m)^2 \cdot L_i}{R_{Hi}^{1,333}}$$

$$1^{\circ} \text{ canal} \quad H_{A1} = \frac{(0,20 \times 0,013)^2 \times 102,00}{0,078^{1,333}} = 0,0207 \text{ m}$$

$$2^{\circ} \text{ canal} \quad H_{A2} = \frac{(0,13 \times 0,013)^2 \times 70,20}{0,111^{1,333}} = 0,00376 \text{ m}$$

$$3^{\circ} \text{ canal} \quad H_{A3} = \frac{(0,08 \times 0,013)^2 \times 45,60}{0,161^{1,333}} = 0,00056 \text{ m}$$

11-Perda de carga total nos canais

$$h_{fi} = H_{Ai} + H_{Pi}$$

$$1^{\circ} \text{ canal} \quad h_{f1} = 0,0207 + 0,105 = 0,1257 \text{ m}$$

$$2^{\circ} \text{ canal} \quad h_{f2} = 0,00376 + 0,028 = 0,03176 \text{ m}$$

$$3^{\circ} \text{ canal} \quad h_{f3} = 0,00056 + 0,006 = 0,00656 \text{ m}$$

12-Gradientes médios de velocidade nos canais

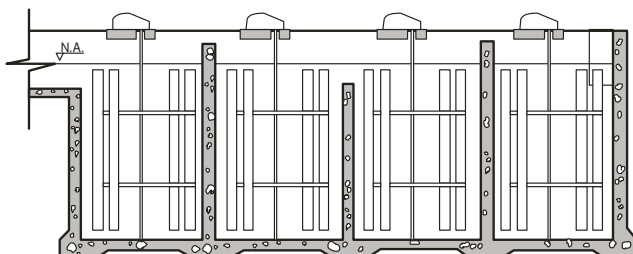
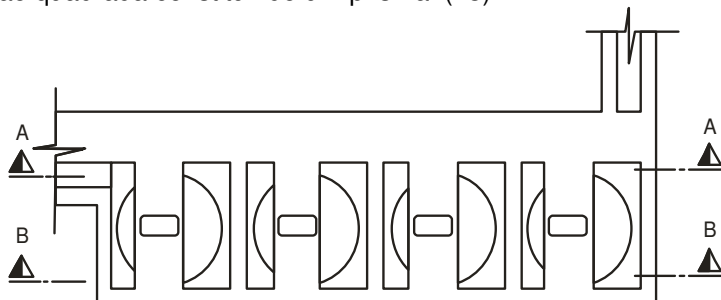
$$G_i = \sqrt{\frac{\gamma h_{fi}}{\mu \cdot 60t}}$$

$$1^{\circ} \text{ canal} \quad G_1 = \sqrt{\frac{9789 \times 0,1257}{10^{-3} \times 60 \times 8,5}} = 49,12 \text{ s}^{-1}$$

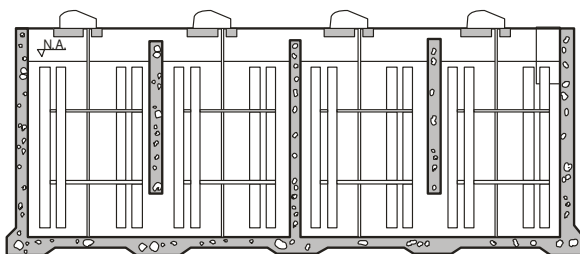
$$2^{\circ} \text{ canal} \quad G_2 = \sqrt{\frac{9789 \times 0,03176}{10^{-3} \times 60 \times 9,0}} = 23,99 \text{ s}^{-1}$$

$$3^{\circ} \text{ canal} \quad G_3 = \sqrt{\frac{9789 \times 0,00656}{10^{-3} \times 60 \times 9,5}} = 10,60 \text{ s}^{-1}$$

Floculadores Mecânicos – são aqueles constituídos por agitador mecânico, redutor de velocidade, variador de velocidade e motor elétrico. O agitador mecânico se compõe de hélice, turbina, paletas e demais acessórios. Tais equipamentos são instalados em tanques de secção quadrada constituindo um prisma. (23)

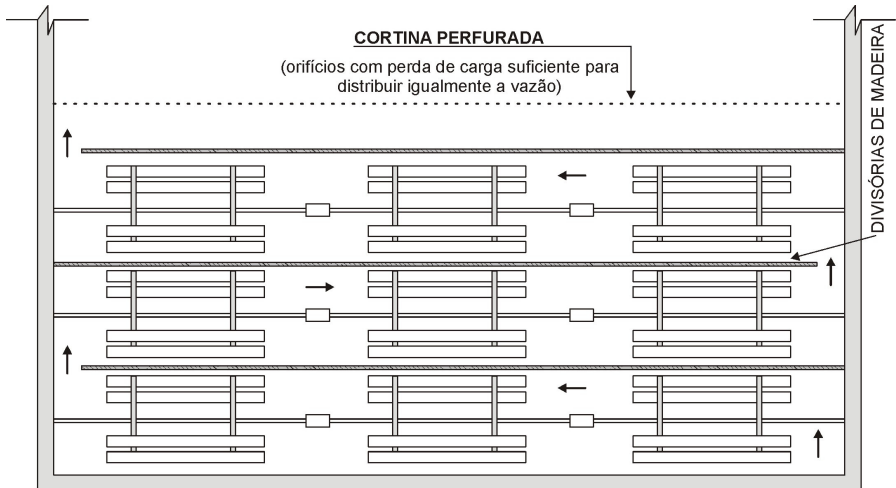


CORTE AA



CORTE BB

Sistema de floculação mecânica de eixo vertical do tipo de paletas



Sistema de floculação mecânica de eixo horizontal do tipo de paletas.

8.3.2.1 DECANTAÇÃO – é um processo dinâmico de separação das partículas sólidas suspensas nas águas; tais partículas tenderão a cair, se depositando no fundo dos tanques com uma certa velocidade, em função do seu peso.

▪ **Finalidades**

- remoção de areia – a areia em excesso, na água, pode provocar erosão, depósitos, entupimentos, danificar bombas e instalações mecânicas – empregam-se tanques denominados caixas de areia para essa finalidade.

- remoção de partículas sedimentares sem coagulação – quando se tem uma turbidez muito alta, deve ser feita uma decantação preliminar sem o emprego de coagulante.

- retenção de flocos após a coagulação – é o caso mais usual nas estações de tratamento.

DECANTADORES

São tanques para onde é encaminhada a água floculada e onde sua velocidade é diminuída para que aconteça a decantação dos flocos.

▪ Classificação

Decantadores de fluxo horizontal – são aqueles em que a água entra por uma extremidade movendo-se horizontalmente na direção longitudinal saindo pela outra extremidade. O decantador pode ser dividido em 4 zonas:

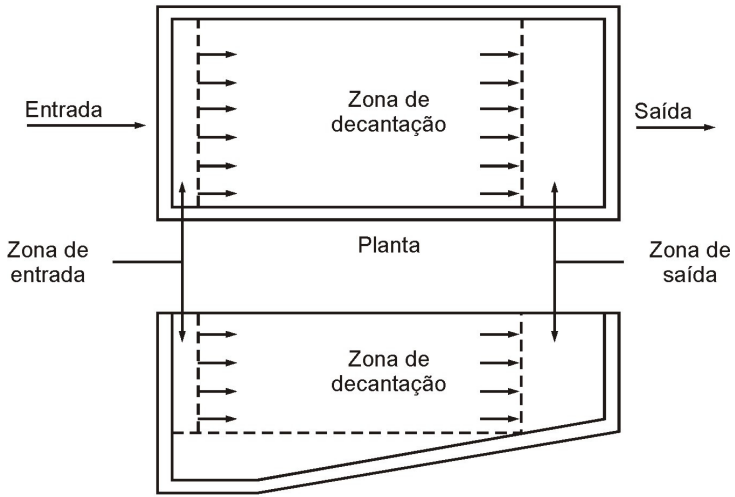
zona de turbilhonamento- é aquela que corresponde a entrada da água, nela se verifica uma certa agitação, de modo que a localização das partículas é variável

zona de decantação-nesta região do decantador não há agitação, de modo que as partículas avançam e descem lentamente

zona de ascensão- nesta zona, os flocos que não descem, acompanham o fluxo da água, inclusive aumentando a sua velocidade

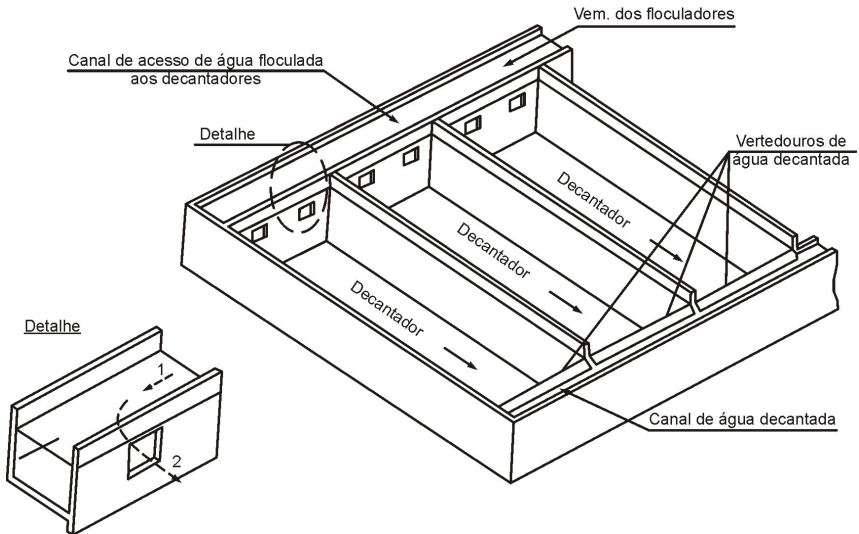
zona de repouso-é a região limitada pelo fundo do decantador, onde se acumula o lodo; nas condições normais de operação, o fluxo da água não tem influência sobre a mesma. O decantador deve ser lavado quando a camada de lodo estiver muito espessa ou ainda quando se iniciar o processo de fermentação

Decantador de Fluxo Horizontal

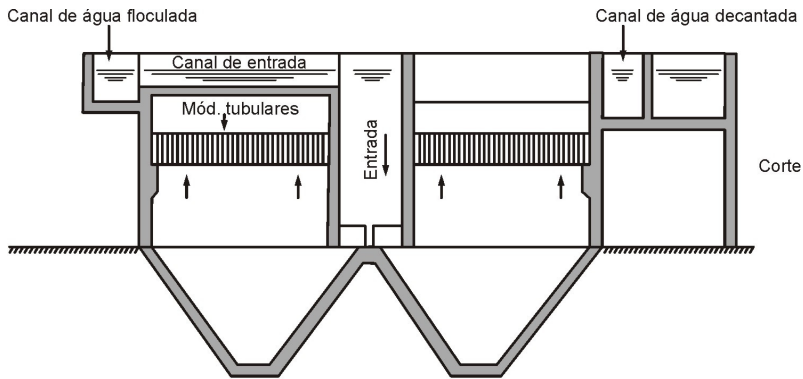


CORTE LONGITUDINAL

Decantadores de Fluxo Horizontal



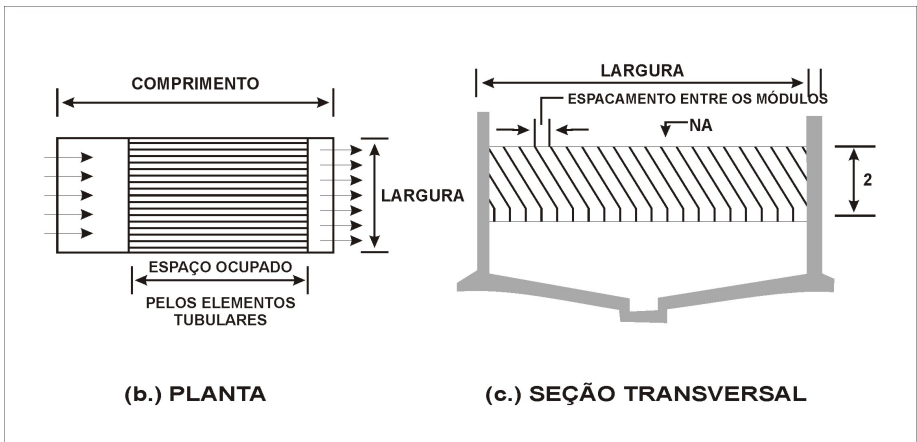
Decantadores de fluxo vertical – são aqueles em que a água floculada entra pela sua parte superior se deslocando para o seu interior e posteriormente subindo até a superfície.

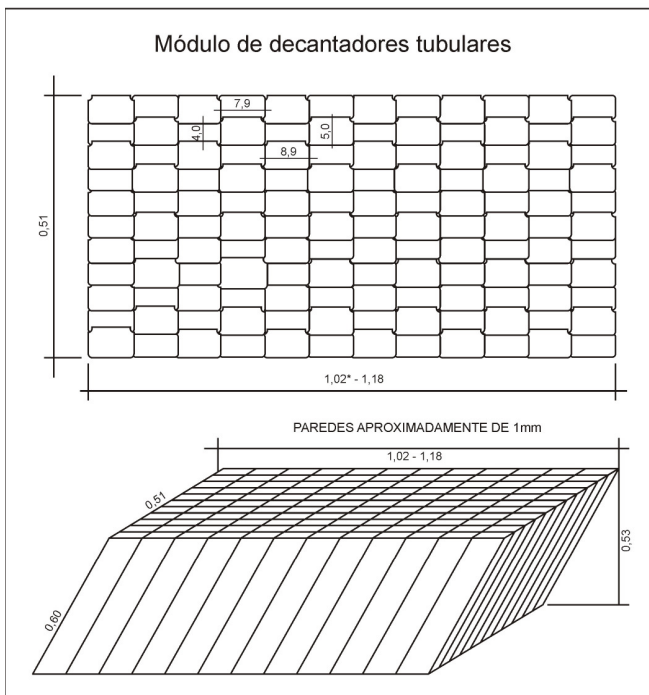


Decantador de Fluxo Vertical

Figura 25: Decantador vertical com módulos tubulares

Decantadores lamelares-são aqueles em que se instalam módulos tubulares e a água segue um fluxo ascendente passando pelos módulos; com eles obtemos um rendimento mais elevado no processo de decantação





Taxas de escoamento superficial – são estabelecidas em função da qualidade da água conforme a tabela seguinte:

OPERAÇÃO	TAXA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (m³/m².dia)
Remoção de Areia	600 a 1200
Sedimentação Simples sem Coagulação	5 a 20
Clarificação de Águas Coloidais	15 a 45
Clarificação de Águas Turvas	30 a 60
Clarificação de Águas Coloidais com Sólidos	60 a 100
Clarificação de Águas Turvas com Sólidos	70 a 120
Clarificação de Águas Duras com Sólidos	80 a 160

DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE FLUXO HORIZONTAL

Relação comprimento/diâmetro

$4 > \frac{L}{B} \geq 2,5$ em que L é o comprimento em m

B é a largura em m

Número mínimo de decantadores: 2

Tempo de detenção : 1,5 a 3,0 horas

Lâmina de d'água : 3 a 5m

Área total de decantação

$$A = \frac{Q_D}{I} \text{ em que } A \text{ é a área em } m^2$$

Q_D é a vazão diária em m^3/dia

I é a taxa de aplicação em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Área de cada decantador

$$A_D = \frac{A}{N} \text{ em que } A_D \text{ é a área de cada decantador em } m^2$$

A é a área total de decantação em m^2

N é a quantidade de decantadores projetados

Período de detenção: de 1,5 a 3 horas em cada decantador, podendo variar em função da qualidade da água.

$$T = \frac{V_D}{Q_H} \text{ em que } V_D \text{ é o volume do decantador em } m^3$$

Q_H é a vazão de cada decantador em m^3/h

T é o período de detenção em horas

Altura útil do decantador

$$H_D = \frac{V_D}{A_D} \text{ em que } V_D \text{ é o volume do decantador em } m^3$$

A_D é a área do decantador em m^2

H_D é a altura do decantador em metros

Velocidade de escoamento em cada decantador

$v = \frac{Q_d}{S_d}$ em que v é a velocidade de escoamento em m/s que deve ser inferior a 1,25 cm/s

Q_d é a vazão em cada decantador em m^3/s

S_d é a secção transversal de cada decantador em m^2

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de decantação considerando os seguintes dados:

Vazão a tratar: 62 L/s

Número de decantadores: 2

Largura do decantador: 4,00 m

Tempo de detenção: 90 minutos

Taxa de escoamento superficial: 60 m^3/m^2 .dia

Operação: 24 h/dia

SOLUÇÃO

Vazão diária

$$Q_D = \frac{62 \cdot 3600 \cdot 24}{1000} = 5356,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

Área total de decantação

$$A = \frac{Q_D}{I} = \frac{5356,8}{60} = 89,28 \text{ m}^2$$

Área de cada decantador

$$A_D = \frac{89,28}{2} = 44,64 \text{ m}^2$$

Dimensões do decantador

Largura: $B=4,00$ m

$$\text{Comprimento } A_D = B \cdot L = 44,64 \text{ m}^2 \quad L = \frac{44,64}{4,00} = 11,16 \text{ m}$$

$$\text{Verificação } \frac{L}{B} = \frac{11,16}{4,00} = 2,79 \quad 2,5 < 2,79 < 4$$

Volume útil do decantador

Tempo de detenção: $T=90$ minutos = 1,5 horas

Vazão horária para cada decantador

$$Q_H = \frac{Q_D}{N \cdot 24} = \frac{5356,8}{2,24} = 111,60 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Volume útil

$$V_D = T \cdot Q_H = 1,5 \cdot 111,60 = 167,4 \text{ m}^3$$

Altura útil

$$H = \frac{V_D}{A_D} = \frac{167,4}{44,64} = 3,75 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento no decantador

$$v = \frac{0,031}{4 \times 3,75} = 0,0021 \text{ m ou } 0,21 \text{ cm/s} < 1,25 \text{ cm/s}$$

Canal de alimentação de decantadores

A distribuição de água floculada para os decantadores é feita através de canal, com várias saídas de água, que correspondem às entradas nos decantadores, feitas por comportas, que fazem a alimentação dos mesmos de modo uniforme. A água no referido canal deve ter uma velocidade entre 0,15m/s e 0,65 m/s , evitando uma decantação preliminar ou a quebra dos flocos, no caso das velocidades mais altas. O canal de secção retangular, deverá ter a sua lâmina d'água pré-fixada, restando então o cálculo da largura em função da secção transversal, obtida através da equação da velocidade, ou seja

$$S_c = \frac{Q}{V_c} \text{ em que } S_c \text{ é a secção transversal do canal}$$

Q é a vazão total a ser decantada em m³/s

V_c é a velocidade da água no canal em m/s

Obtida a secção transversal, podemos obter a largura do canal, pois

$$B_c = \frac{S_c}{H_c} \text{ em que } B_c \text{ é a largura do canal em metros}$$

S_c é a secção transversal do canal em m²

H_c é a lâmina d'água no canal em metros

Comportas em cada decantador-

a velocidade nas comportas deverá ser inferior a 0,65 m/s e portanto a largura da comporta deve ser obtida pela tabela seguinte:

Quantidade Total de Comportas, no Canal (N_T)	Relação entre Largura da Comporta e a Largura do Canal $\frac{b}{B_c}$
04	0,40
06	0,30
08	0,25
10	0,20
12	0,15

Largura de cada comporta:

Pelo número total de comportas, temos a relação, $\frac{b}{B_c}$ obtida na tabela anterior e daí o valor de b

$$b = \frac{b}{B_c} \times B_c$$

Vazão em cada decantador :

$$Q_d = \frac{Q_D}{N} \times 86400$$

em que Q_d é a vazão em cada decantador em m^3/s
 Q_D é a vazão diária total em m^3/d
 N é o número adotado de decantadores

Vazão em cada comporta

$$Q_{co} = \frac{Q_d}{n}$$

em que Q_{co} é a vazão em cada comporta em m^3/s
 Q_d é a vazão em cada decantador em m^3/s
 n é o número de comportas por decantador

Altura de cada comporta

$$h = \frac{Q_{co}}{bV_{co}}$$

em que h é a altura de cada comporta em metros
 Q_{co} é a vazão em cada comporta em m^3/s
 b é a largura da comporta em metros
 V_{co} é a velocidade da água na comporta em m/s

EXERCÍCIO: Determinar a largura do canal de água floculada, bem como as dimensões das comportas, considerando os dados do exercício anterior, além de lâmina de água de 0,40 m e velocidade de 0,20m/s no canal e 2 comportas por canal

Solução

Secção transversal do canal

$$S_c = \frac{Q}{V_c} = \frac{0,062}{0,20} = 0,31 \text{ m}^2$$

$$\text{Largura do canal } B_c = \frac{S_c}{H_c} = \frac{0,31}{0,40} = 0,78 \text{ m}$$

Comportas:

Para $N_T = 2 \times 2 = 4$, pela tabela temos $\frac{b}{B_c} = 0,4$ de onde obtemos $b = B_c \cdot 0,4$

$$b = 0,78 \times 0,4 = 0,31 \text{ m}$$

Vazão em cada decantador

$$Q_d = \frac{Q_D}{N} = \frac{5356,8}{208} = 25,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão em cada comporta

$$Q_{co} = \frac{Q_d}{n} = \frac{25,79}{2} = 12,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade pré-fixada na comporta $V_{co} = 0,25 \text{ m/s}$

Altura da comporta

$$h = \frac{Q_{co}}{bV_{co}} = \frac{12,89}{0,31 \times 0,25} = 165,8 \text{ m}$$

Cortinas Distribuidoras dos Decantadores

Tratam-se de cortinas, também chamadas de difusoras em concreto ou em madeira, dotadas de orifícios de mesmo diâmetro, igualmente espaçados, dispostas transversalmente nos decantadores e tem como finalidade a distribuição uniforme do fluxo nas direções vertical e horizontal. Em geral as cortinas são instaladas a 0,8m da parede frontal de montante do decantador, para permitir a entrada do operador e para o seu dimensionamento existem vários métodos entre os quais apresentamos o de Hudson que determina o diâmetro e a quantidade de orifícios, a partir de um valor conveniente do gradiente

de velocidade compatível com o da última câmara dos floculadores; para tanto o método emprega a tabela seguinte:

Gradiente de Velocidade (s^{-1})	D (mm) 75		D(mm) 100		D(mm) 125		D(mm) 150	
	Q L/s	V m/s	Q L/s	V m/s	Q L/s	V m/s	Q L/s	V m/s
10	0,5	0,11	0,8	0,10	1,5	0,12	2,2	0,13
20	0,7	0,16	1,3	0,17	2,3	0,19	3,5	0,20
30	0,9	0,20	1,8	0,23	3,1	0,25	4,4	0,25
40	1,1	0,25	2,0	0,25	3,7	0,30	6,2	0,34
50	1,3	0,29	2,3	0,29	4,2	0,34	8,0	0,45

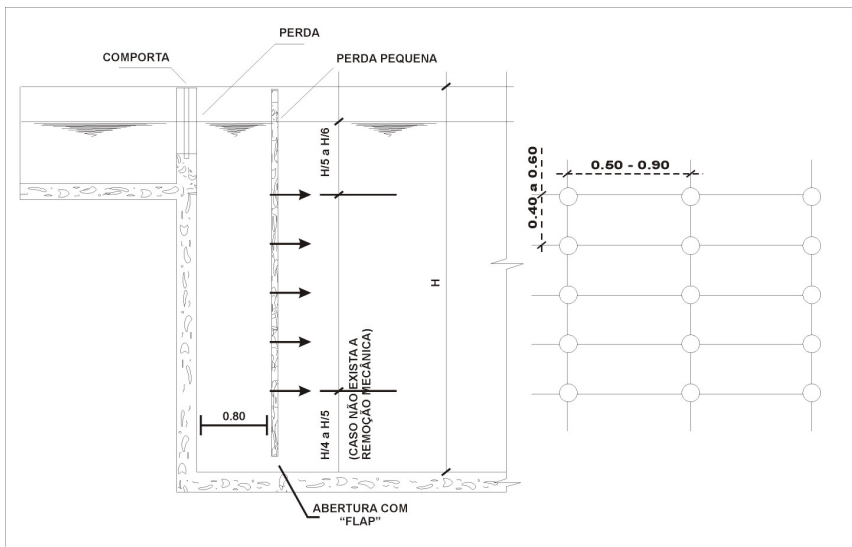


Figura 26: Cortina Distribuidora

Dimensionamento: o critério de Hudson, parte do valor do gradiente de velocidade, correspondente ao do seguinte

- G: gradiente de velocidade em s^{-1}
- D : diâmetro do orifício em metros
- Q: Vazão por cada orifício em L/s
- V: Velocidade da água em m/s

Escolhido o Gradiente de velocidade, fazemos um comparativo que relaciona os 4 diâmetros de orifícios e se verifica nele qual o diâmetro mais conveniente

EXERCÍCIO: Dimensionar a cortina difusora para um decantador, com largura de 4,00m, lâmina d'água d 3.60m, vazão a ser decantada de 30 L/s e sabendo que o gradiente de velocidade da última câmara de floculação é 12 s^{-1}

SOLUÇÃO

1-Gradiente de velocidade escolhido: $10 \text{ s}^{-1} < 12 \text{ s}^{-1}$ 2- Orifício : $D_o = 0,075\text{m}$

2.1-Área Total Necessária para Os Orifícios

$$A_{T75} = \frac{Q}{V_{75}} = \frac{0,030}{0,11} = 0,273 \text{ m}^2$$

2.2-Número de Orifícios Necessários Preliminarmente:

$$N_{o75} = \frac{A_{T75}}{A_{75}} = \frac{0,273}{\frac{3,14 \times 0,075^2}{4}} = 61,8 = 61,8 = 61,8 \quad - \quad 62 \text{ orifícios}$$

2.3-Área de Influência de cada Orifício:

$$A_{I75} = \frac{A_c}{N_{o75}} = \frac{4,00 \times 3,60}{62} = 0,232 \text{ m}^2$$

2.4-Diâmetro da Área de Influência de cada Orifício

$$D_{I75} = \sqrt{\frac{4 \times 0,232}{3,14}} = 0,544\text{m}$$

2.5-Número de Fileiras Horizontais

$$N_{FH75} = \frac{H}{D_{I75}} = \frac{3,60}{0,544} = 6,6 \quad - \quad 7 \text{ fileiras}$$

2.6-Número de Fileiras Verticais

$$N_{FV75} = \frac{B}{D_{I75}} = \frac{4,00}{0,544} = 7,3 \quad - \quad 8 \text{ fileiras}$$

2.7- Número Final de Orifícios

$$N_{fo} = N_{FH75} \times N_{FV75} = 7 \times 8 = 56$$

2.8-Verificação: $Q_o = 56 \times 0,5 = 28 \text{ L/s}$

2.9- Conclusão :Como $Q_o < 30 \text{ L/s}$ **não serve**

3-Orifício $D_o = 100\text{mm}$

3.1- Área Total Necessária para Os Orifícios

$$A_{T100} = \frac{0,030}{0,10} = 0,3 \text{ m}^2$$

3.2- Número de Orifícios Necessários Preliminarmente

$$N_{O100} = \frac{\frac{0,3}{3,14 \times 0,1^2}}{4} = 38,2 - 39 \text{ orifícios}$$

3.3- Área de Influência de cada Orifício:

$$A_{I100} = \frac{4,00 \times 3,60}{39} = 0,369 \text{ m}^2$$

3.4- Diâmetro da Área de Influência de cada Orifício

$$D_{I100} = \sqrt{\frac{4 \times 0,369}{3,14}} = 0,686 \text{ m}$$

3.5--Número de Fileiras Horizontais

$$N_{FH100} = \frac{3,60}{0,686} = 5,2 - 6 \text{ fileiras}$$

3.6- Número de Fileiras Verticais

$$N_{FV100} = \frac{4,00}{0,686} = 5,8 - 6 \text{ fileiras}$$

3.7- Número Final de Orifícios

$$N_{fo} = 6 \times 6 = 36 \text{ orifícios}$$

3.8-Verificação: $Q_o = 36 \times 0,8 = 28,8 \text{ L/s}$

3.9-Conclusão : $28,8 < 30 \text{ L/s}$ não serve

4-Orifício $D_o = 125 \text{ mm}$

4.1- Área Total Necessária para Os Orifícios

$$A_{T125} = \frac{0,030}{0,12} = 0,25 \text{ m}^2$$

4.2-Número de Orifícios Necessários Preliminarmente

$$N_{O125} = \frac{\frac{0,25}{3,14 \times 0,125^2}}{4} = 20,38 - 21 \text{ orifícios}$$

4.3- Área de Influência de cada Orifício:

$$A_{I100} = \frac{4,00 \times 3,60}{21} = 0,686 \text{ m}^2$$

4.4- Diâmetro da Área de Influência de cada Orifício

$$D_{I125} = \sqrt{\frac{4 \times 0,686}{3,14}} = 0,935 \text{ m}$$

4.5--Número de Fileiras Horizontais

$$N_{FH125} = \frac{3,60}{0,935} = 3,85 \quad - 4 \text{ fileiras}$$

4.6- Número de Fileiras Verticais

$$N_{FV125} = \frac{4,00}{0,935} = 4,28 \quad - 5 \text{ fileiras}$$

4.7- Número Final de Orifícios

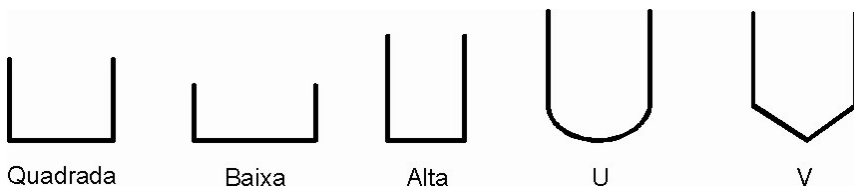
$$N_{fo} = 4 \times 5 = 20 \text{ orifícios}$$

4.8-Verificação: $Q_o = 20 \times 1,5 = 30 \text{ L/s}$

4.9- Conclusão : então as 20 fileiras de orifícios de 125mm de diâmetro são aceitas.

Saída de Água Decantada

A água que sofreu o processo de decantação, sai das unidades de decantação, através de calhas coletoras que visam uma distribuição do fluxo, reduzindo as velocidades ascencionais na estrutura de saída dos decantadores, diminuindo o arrastamento dos flocos. tais calhas tem secção transversal de vários modelos conforme a figura seguinte:



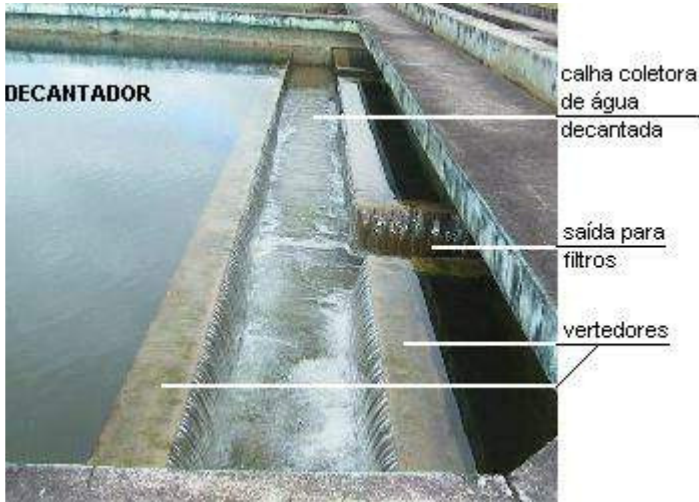


Figura 27: Secções transversais para calhas

Dimensionamento das calhas de água decantada

Vazão Linear

$Q_L \leq 0,018HI$ em que Q_L é a vazão linear em L/s.m
 H é a altura útil do decantador em metros
 I é a taxa de escoamento superficial no decantador em $m^3/m^2.dia$

Comprimento Total do Vertedor :

$L_V = \frac{Q_D}{Q_L}$ em que L_V é o comprimento total para o vertedor em metros

Q_D é a vazão do vertedor em L/s

Q_L é a vazão linear das calhas em L/s.m

Comprimento de cada Calha

$L_C = 0,20L$ em que L_C é o comprimento de cada calha em metros
 L é o comprimento do decantador em metros

Número de Calhas para cada Decantador

$N_C = \frac{L_V}{L_C}$ em que N_C é o número de calhas
 L_V é o comprimento do vertedor em metros
 L_C é o comprimento de cada calha

Número de Calhas Adotado

N_{CA} é o número inteiro maior ou igual ao número de calhas calculado

Novo Comprimento do Vertedor

$L_{VN} = 2N_{CA} \cdot L_C$ em que L_{VN} é o novo comprimento do vertedor, em metros

N_{CA} é o número de calhas adotado

L_C é o comprimento de cada calha em

metros

Nova Vazão Linear

$$Q_{LN} = \frac{Q_D}{L_{VN}}$$

em que Q_{LN} é a nova vazão linear em L/s.m

Q_D é vazão no decantador em L/s

L_{VN} é o novo comprimento do vertedor em

metros

Espaçamento entre Calhas

$$E_C = \frac{B}{N_{CA}}$$

em que E_C é o espaçamento entre calhas em metros

B é a largura do vertedor em metros

N_{CA} é o número de calhas adotado.

EXERCÍCIO:

Dimensionar o sistema de calhas de água decantada em um decantador para a vazão de 19008 m³/dia, largura de 12 m, comprimento de 46 m, lâmina de água de 4,0m, vazão linear de 2,5 L/s.m

SOLUÇÃO:

$$\text{Vazão: } 19008 \text{ m}^3/\text{dia} = \frac{19008 \times 1000}{86400} = 220 \text{ L/s}$$

Taxa de Escoamento Superficial :

$$I = \frac{19008}{12 \times 46} = 34,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

Vazão Linear Calculada

$$Q_L \leq 0,018HI \leq 0,018 \times 4 \times 34,43 \leq 2,48 \text{ L/s.m}$$

Vazão Linear adotada

$$Q_L = 2,5 \text{ L/s.m}$$

Comprimento Total do Vertedor

$$L_V = \frac{Q_D}{Q_L} = \frac{220}{2,5} = 88\text{m}$$

Comprimento de cada Calha

$$L_C = 0,20L = 0,20 \times 46 = 9,2\text{m}$$

Número de Calhas

$$N_C = \frac{L_V}{L_C} = \frac{88}{9,20} = 9,57$$

Número de Calhas Adotado

$$N_{CA} = 5$$

Novo Comprimento do Vertedor

$$L_{VN} = 2N_{CA} \cdot L_C = 2 \times 5 \times 9,2 = 92\text{m}$$

Nova Vazão Linear

$$Q_{LN} = \frac{Q_D}{L_{VN}} = \frac{220}{92} = 2,39\text{L/s.m}$$

Espaçamento entre Calhas

$$E_C = \frac{B}{N_{CA}} = \frac{12}{5} = 2,4\text{ m}$$

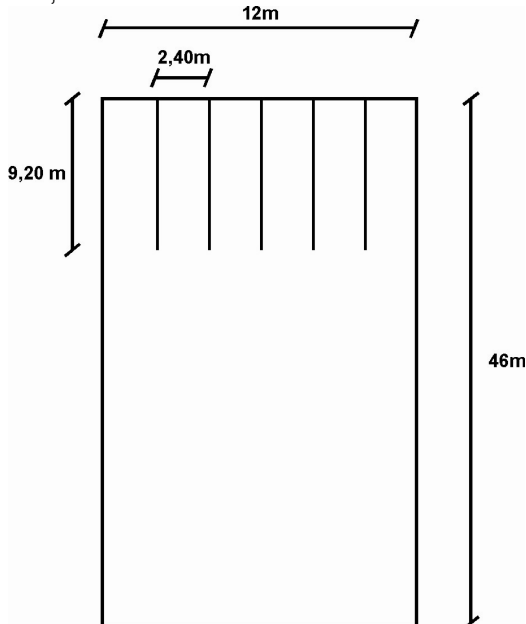


Figura 28: Decantador e suas calhas

Limpeza dos Decantadores

Periodicamente, os decantadores, devem ter a sua operação suspensa para que possa sejam feitas a sua lavagem e a retirada do lodo acumulado; para isso os decantadores devem contar com

1-Descarga de fundo para esvaziamento rápido, bem como facilitar a remoção do lodo

2-Fundo com declividade, canaleta ou poço de descarga

3-Sistema pressurizado de água para lavagem.

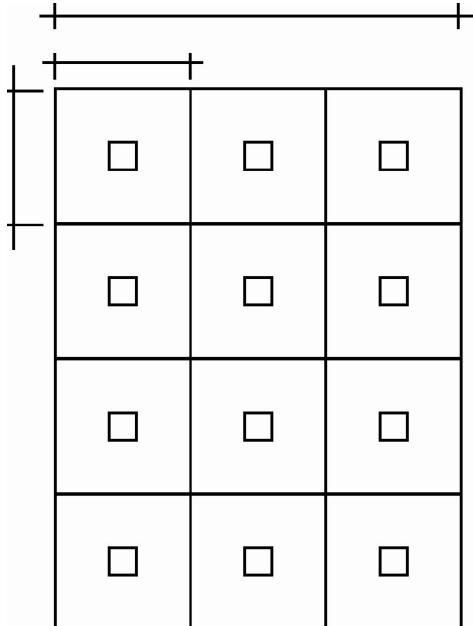


Figura 29: Poços em fundo de decantador

Comporta para Esvaziamento do Decantador

O cálculo da secção da comporta é feita pela seguinte expressão

$$S = \frac{A_D}{48507} \sqrt{h}$$

em que

S é a secção da comporta em m²

A_D é a área superficial do decantador em m²

h é a lâmina de água acima do eixo horizontal da comporta em m

T é o tempo de esvaziamento do decantador em horas

O diâmetro é obtido em função da referida secção

$$D = \sqrt{\frac{4S}{3,14}} \quad \text{em que } D \text{ é o diâmetro da comporta em metros}$$

S é a área da secção da comporta em m²

EXERCÍCIO: seja um decantador com 12m de largura, 46m de comprimento, profundidade útil de 4,00m e tempo previsto para esvaziamento de 2 horas. Calcular o diâmetro da comporta admitindo que ela tenha o seu eixo horizontal a 20cm do fundo

Solução

Secção da Comporta

$$S = \frac{A_D}{48507} \sqrt{h} = \frac{12 \times 46}{4850 \times 2} \sqrt{3,80} = 0,111 \text{m}^2$$

Diâmetro da Comporta

$$D = \sqrt{\frac{4S}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,111}{3,14}} = 0,376 \text{m ou } 376 \text{mm}$$

Diâmetro para a comporta ser adotada

$$D = 400 \text{mm}$$

Em conseqüência o tempo de esvaziamento será menor do que 2 horas, como podemos verificar a seguir

$$S = \frac{3,14 \times 0,4^2}{4} = 0,1256 \text{m}^2$$

$$T = \frac{12 \times 46}{4850 \times 0,1256} \sqrt{3,80} = 1,77 \text{ horas ou ainda } 1 \text{ hora e } 46,2 \text{ minutos.}$$

4- FILTRAÇÃO

4.1-DEFINIÇÃO – é o processo de remoção das partículas que não foram retiradas pela decantação, além dos microorganismos a elas associadas.

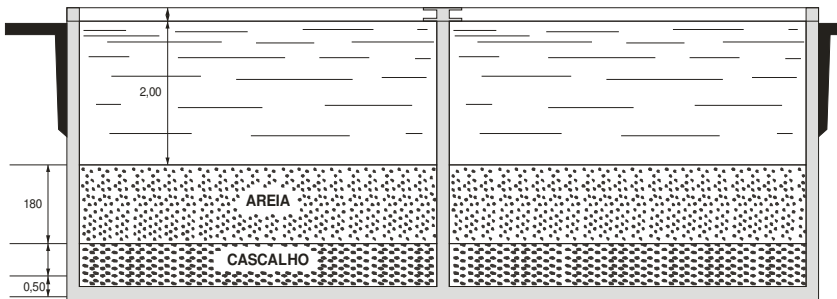
4.2-FILTROS

4.2.1-DEFINIÇÃO – são as unidades das estações de tratamento responsáveis pela retenção das partículas existentes na água que não foram removidas pela decantação.

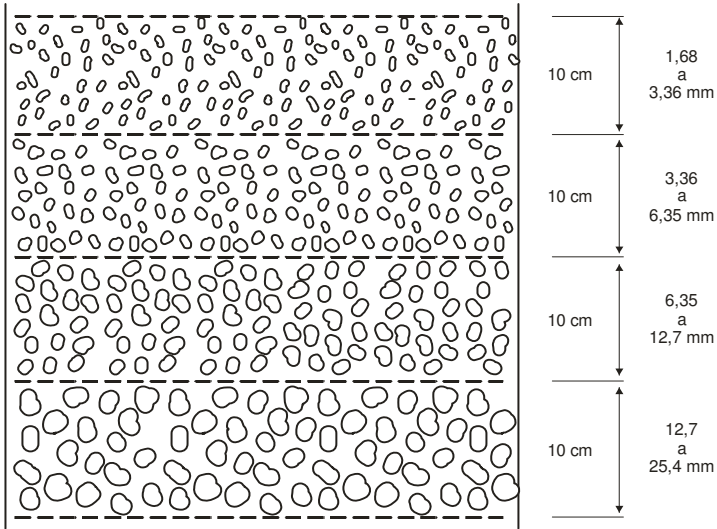
4.2.2-CONSTITUIÇÃO – os filtros em geral são constituídos por:

Tanque – são estruturas de contenção da água a ser filtrada, podendo ser executados em alvenaria de tijolo, concreto armado, aço ou fibra de vidro.

Leitos filtrantes – são as camadas de material filtrante, areia, carvão antracito com granulometria definida, situadas acima das camadas-suporte

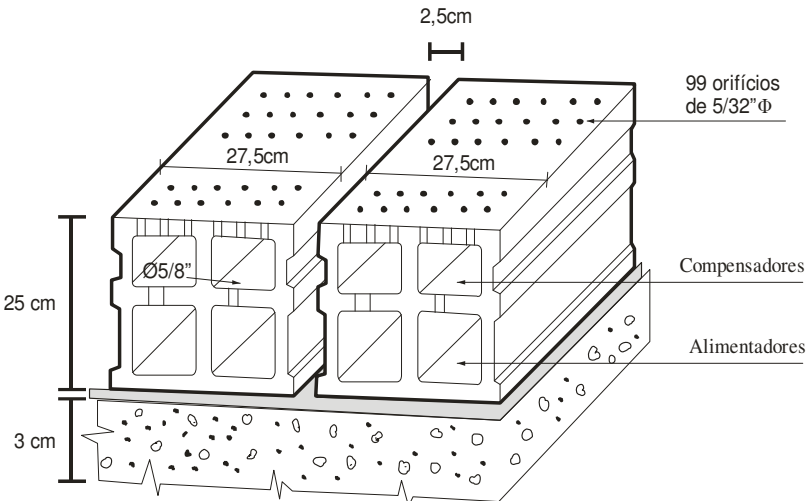


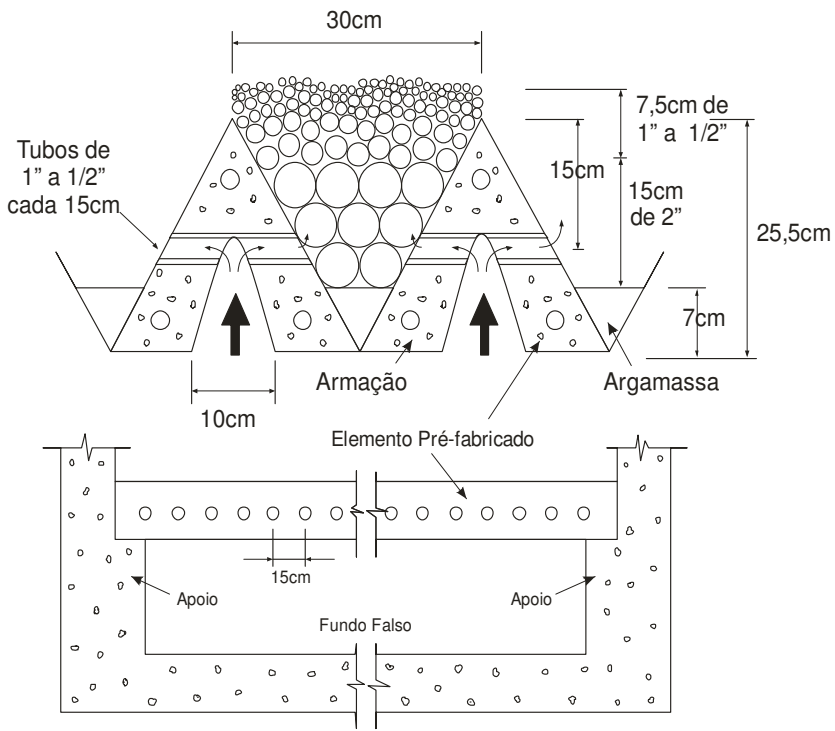
Camadas-suporte – são camadas de material granular e pedregulhos de granulometria bem maior que a dos leitos filtrantes e servem de sustentação para os mesmos.



Fundos falsos – são os elementos dos filtros situados abaixo das camadas-suporte, constituindo um sistema drenante com vigas (vigas Califórnia), blocos cerâmicos (blocos Leopold) ou ainda tubos perfurados. Tais elementos drenantes são cobertos por material granular de diâmetros maiores.

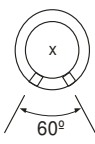
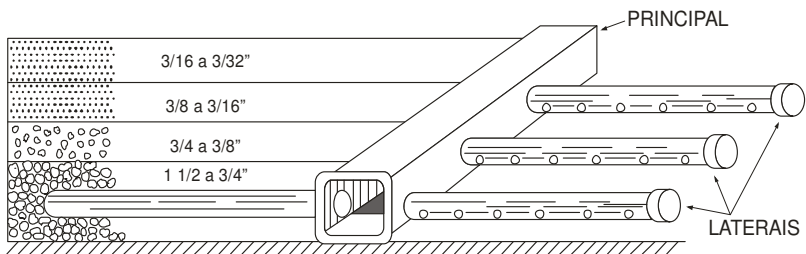
Blocos Cerâmicos Tradicionais



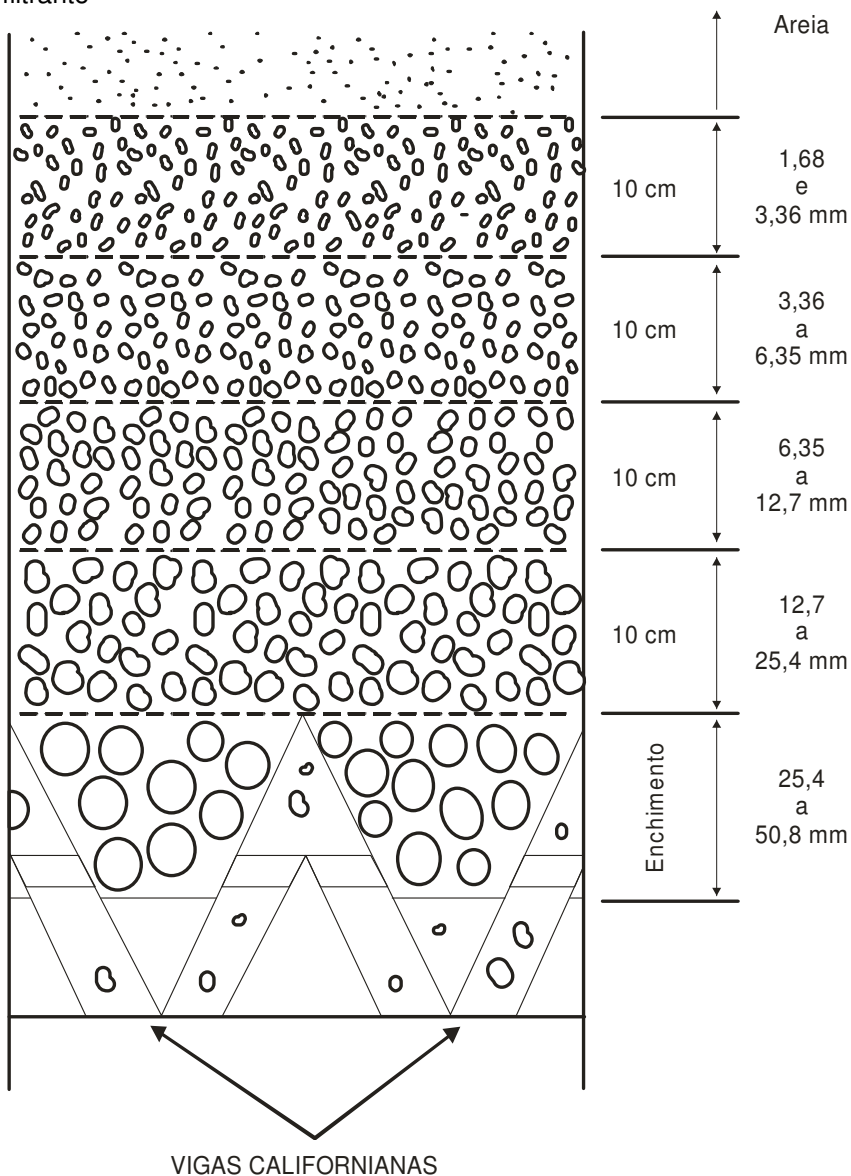


Vigas Californianas: Detalhes

Tubos Perfurados



A seguir, corte mostrando, fundo falso, camada-suporte e camada filtrante



Tubulações e acessórios – tubulações e válvulas para a entrada de água bruta; tubulações e válvulas para a saída de água tratada; tubulações e válvulas para entrada de água de lavagem; tubulações e válvulas para saída da água de lavagem; manômetros; etc.

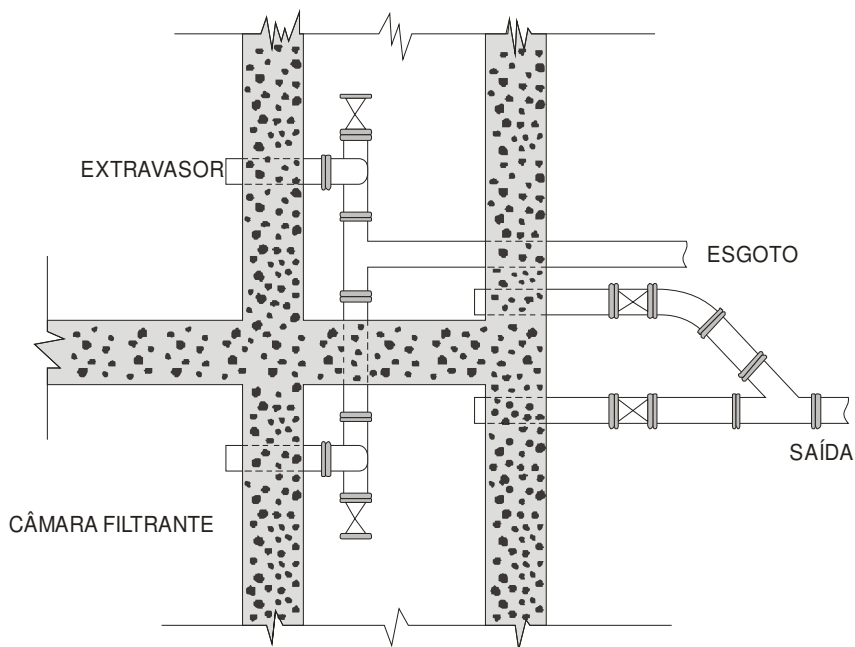
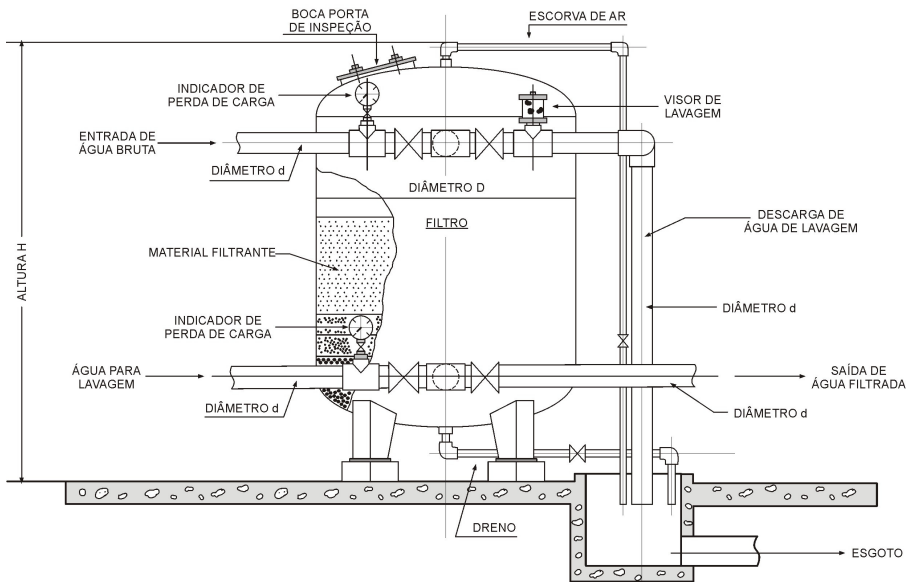


Figura 30: Detalhe da Câmara de Saída

INSTALAÇÃO DE FILTRAÇÃO

FILTRO DE AREIA PRESSURIZADO TIPO VERTICAL

SOLANIL - REF.: 18-01



4.2.3-CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS

Quanto a taxa de filtração

Filtro lentos - baixa taxa de filtração ($2,4$ a $9,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$)

Filtros rápidos - alta taxa de filtração (120 a $480 \text{ m}^3/\text{m}^2$)

Quanto ao sentido do fluxo da água a ser filtrada

Filtros de fluxos ascendente – quando a água a ser filtrada segue o fluxo de baixo para cima

Filtros de fluxos descendente – quando a água a ser filtrada segue o fluxo de cima para baixo

Quanto ao número de camadas filtrantes

Filtros de camada simples – só tem uma camada filtrante

Filtros de múltiplas camadas: têm mais de uma camada filtrante

Exs.: filtros de 2 camadas – areia e antracito; filtros de 3 camadas – areia, antracito e granada.

Quanto a pressão de operação

Filtros de pressão – são filtros que operam com pressão acima da atmosférica

Filtros de gravidade – são aqueles abertos cuja água está em contato direto com a atmosfera

4.2.4-FILTROS RÁPIDOS DE GRAVIDADE

Taxas de filtração: conforme a tabela a seguir

Condições	Taxa de Filtração (m ³ /m ² .dia)
Filtro de Camada Simples Água de Qualidade Duvidosa	120
Filtro de Camada Dupla Água de Melhor Qualidade	300
Filtro de Camada Dupla Água de Qualidade Duvidosa	240

Número mínimo de filtros: 03

Altura de água acima do leito filtrante:

Filtros de areia: 1,40 m a 1,80 m

Filtros de areia e antracito: 1,80 m a 2,40 m

Altura livre adicional: 0,25 m a 0,40 m

Altura do leito filtrante

Filtros de camada única de areia: 0,60 a 0,80 m

Filtros de dupla camada:

Antracito de 0,45 a 0,70 m

Areia de 0,15 a 0,25 m

Camada suporte: 0,30 a 0,55 m

Fundo falso

Altura ≥ 0,50 m

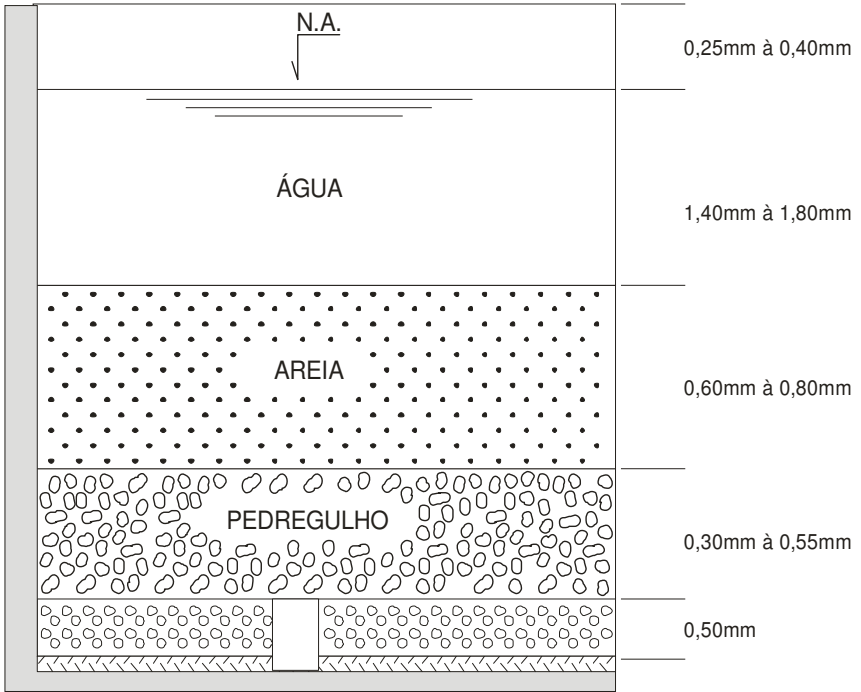
Material Filtrante:

Camada simples – tamanho efetivo de 0,45 mm a 0,55 mm (areia)

Camada dupla

Areia – tamanho efetivo de 0,40 mm a 0,45 mm

Antracito – tamanho efetivo de 0,8 mm a 1,0 mm



Esquema de filtro de areia

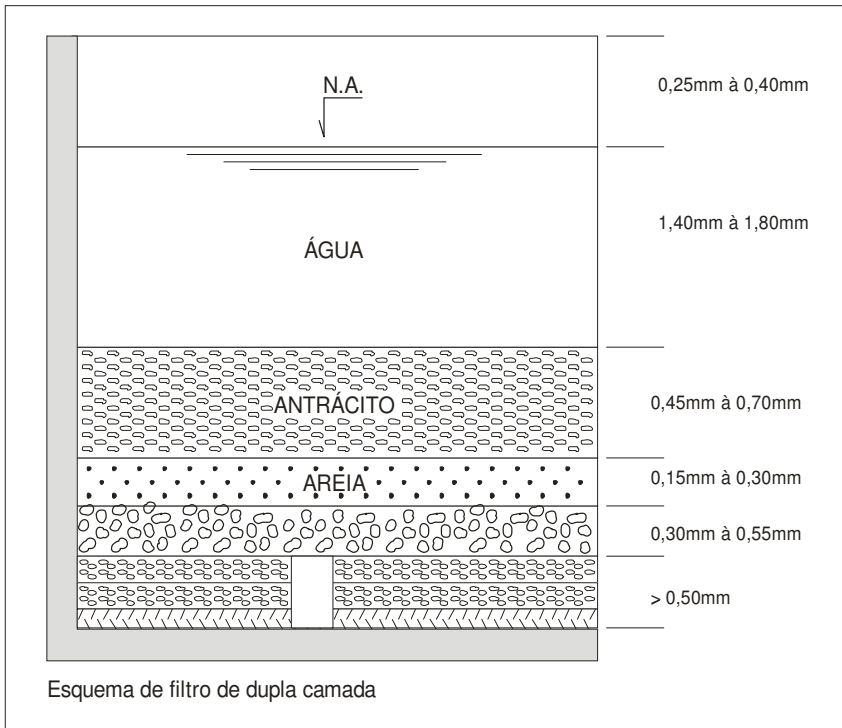


Figura 31: Área transversal de cada filtro

$$S_F = \frac{Q_{DF}}{I_F} \quad \text{em que}$$

S_F é a secção transversal de cada filtro em m^2

I_F é a taxa de filtração em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Q_{DF} é a vazão diária para cada filtro em m^3/d

Lavagem de cada filtro

Taxa de lavagem: $1200 m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Tempo de lavagem: 8 a 12 minutos

Volume de água consumido na lavagem de um filtro

$$V_L = \frac{I_L \cdot S_F \cdot t \cdot 60}{86400} \text{ em que}$$

V_L é o volume de água consumido na lavagem de um filtro em m^3

S_F é a secção transversal do filtro em m^2

I_L é a taxa de lavagem em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

t é o tempo de lavagem em minutos.

Vazão de lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} \text{ em que}$$

Q_L é a vazão de lavagem em m^3/s

V_L é o volume de lavagem em m^3

t é o tempo de lavagem em minutos

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de filtração rápida de gravidade considerando os seguintes dados:

- População: 13.500 hab
- Quota per capita: 150 L/hab.dia
- Coeficiente do dia de maior consumo: 1,25
- Taxa de filtração: $160 m^3/m^2 \cdot \text{dia}$
- Número de filtros: 3
- Período diário de operação: 24 h
- Altura de água acima do leito filtrante: 1,50 m
- Altura da camada suporte: 0,50 m
- Tipo de cada filtro: areia e 1 camada
- Secção do filtro: circular
- Tempo de lavagem: 9 minutos
- Altura do leito filtrante: 0,70 m
- Taxa de lavagem: $1200 m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Solução

– Vazão a tratar

$$Q = \frac{PqK_1}{n \cdot 3600} = \frac{13500 \cdot 0,15 \cdot 1,25}{24 \cdot 3600} = 0,0293 \text{ m}^3/\text{s}$$

– Vazão diária

$$Q_D = 0,0293 \cdot 24 \cdot 3600 = 2531,25 \text{ m}^3/\text{dia}$$

– Vazão diária para cada filtro

$$Q_{DF} = \frac{Q_D}{N} = \frac{2531,25}{3} = 843,75 \text{ m}^3/\text{dia}$$

– Área ou secção transversal de cada filtro

$$S_F = \frac{Q_{DF}}{I_F} = \frac{843,75}{160} = 5,27 \text{ m}^2$$

– Diâmetro de cada filtro

$$D = \sqrt{\frac{4S_F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,27}{3,14}} = 2,59 \text{ m}$$

– Lavagem

Volume consumido na lavagem de 1 filtro

$$V_L = \frac{I_L \cdot S_F \cdot t \cdot 60}{86400} = \frac{1200 \cdot 5,27 \cdot 9 \cdot 60}{86400} = 39,525 \text{ m}^3$$

Volume consumido na lavagem dos 3 filtros

$$V_{TL} = 3 \cdot 39,525 = 118,575 \text{ m}^3$$

Vazão de lavagem para 1 filtro

$$Q_L = Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} = \frac{39,525}{9 \cdot 60} = 0,0732 \text{ m}^3/\text{s} = 263,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

– Volume de areia para o material filtrante, para cada filtro

$$V_A = S_F \cdot 0,70 = 5,27 \cdot 0,70 = 3,689 \text{ m}^3$$

– Volume de pedregulho para a camada suporte, para cada filtro

$$V_P = S_F \cdot 0,50 = 5,27 \cdot 0,50 = 2,635 \text{ m}^3$$

– Volume de água acima do leito filtrante, para cada filtro

$$V_{Ag} = S_F \cdot 1,50 = 5,27 \cdot 1,50 = 7,905 \text{ m}^3$$

4.2.5-FILTROS LENTOS

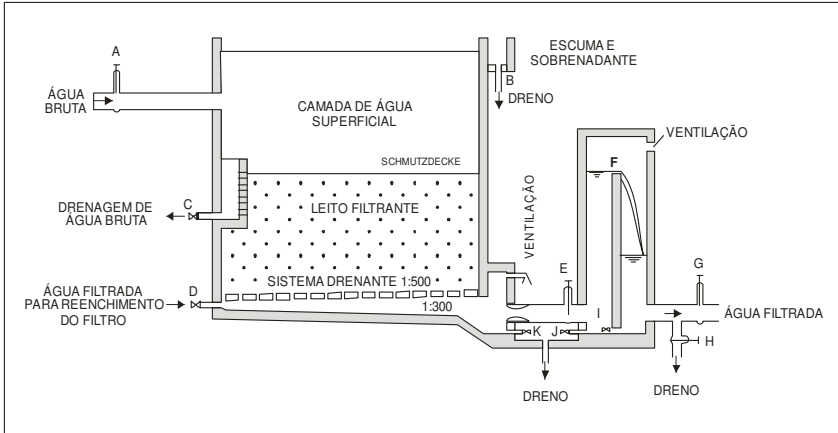
Taxas de filtração: 2,4 a 9,6 m³/m².dia

Número mínimo de filtros: 2

Material filtrante:

Tamanho efetivo: 0,25 a 0,35 mm

Espessura da camada: 0,90 a 1,20 m



Elementos básicos de um filtro lento de areia.

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de filtração lenta, com os seguintes dados:

- Vazão a ser filtrada: 8 L/s
- Período diário de operação: 22 h/dia
- Taxa de filtração: 5 m³/m².dia
- Largura de cada filtro: 6 m
- Espessura da camada filtrante: 1,0 m
- Espessura da camada suporte: 0,50 m
- Número de filtros: 2
- Taxa de lavagem: 1200 m³/m².dia
- Tempo de lavagem: 8 minutos
- Lâmina de água acima do leito filtrante: 1,20 m

Solução

– Vazão diária

$$Q_D = \frac{8.22.3600}{1000} = 633,60 \text{ m}^3/\text{dia}$$

– Vazão diária para cada filtro

$$Q_{DF} = \frac{Q_D}{N} = \frac{633,60}{2} = 316,80 \text{ m}^3/\text{dia}$$

– Área ou necessária para de cada filtro

$$S_F = \frac{Q_{DF}}{I_F} = \frac{316,80}{5} = 63,36 \text{ m}^2$$

– Comprimento de cada filtro

$$B=6\text{m} \quad L = \frac{S_F}{B} = \frac{63,36}{6} = 10,56\text{m}$$

– Volume de areia para cada filtro

$$V_A = S_F \cdot 1 = 63,36 \cdot 1 = 63,36 \text{ m}^3$$

– Volume de água acima do leito filtrante

$$V_{ag} = S_F \cdot 1,20 = 63,36 \cdot 1,20 = 76,032 \text{ m}^3$$

– Lavagem

Volume consumido na lavagem de 1 filtro

$$V_L = \frac{I_L \cdot S_F \cdot t \cdot 60}{86400} = \frac{1200 \cdot 63,36 \cdot 8 \cdot 60}{86400} = 422,40 \text{ m}^3$$

Vazão de lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} = \frac{422,40}{8 \cdot 60} = 0,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.6-FILTROS DE PRESSÃO

Taxas de filtração: 120 a 480 m³/m².dia

Material filtrante: areia e/ou antracito

Espessura da camada: muito variável

Taxa de lavagem: 1200 m³/m².dia

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de filtração de pressão com os seguintes dados:

- Vazão a ser filtrada: 10 L/s
- Número de filtros: 01
- Taxa de filtração: $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$
- Tempo de operação: 24 h/dia
- Pressão no filtro: 10 mca
- Taxa de lavagem: $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$
- Tempo de lavagem: 10 minutos
- Altura da camada filtrante: 1,60m
- Altura da camada suporte: 0,50 m

Solução

- Vazão diária

$$Q_D = \frac{10 \cdot 24 \cdot 3600}{1000} = 864 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Secção necessária para o filtro

$$S_F = \frac{Q_D}{I_F} = \frac{864}{180} = 4,80 \text{ m}^2$$

- Diâmetro do filtro

$$D = \sqrt{\frac{4S_F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,80}{3,14}} = 2,47 \text{ m}$$

- Diâmetro adotado

Considerando que tais filtros são fabricados em aço, com diâmetros padronizados, devemos adotar o diâmetro padrão igual ou imediatamente superior ao diâmetro calculado, no caso deverá ser $D=2,50\text{m}$

- Taxa efetiva de filtração

$$I_F = \frac{Q_D}{S_F} = \frac{864}{3,14 \cdot 2,50^2 / 4} = 176,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$$

- Volume de lavagem

$$V_L = \frac{I_L \cdot S_F \cdot t \cdot 60}{86400} = \frac{1200 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} \cdot 10 \cdot 60}{86400} = 40,88 \text{ m}^3$$

– Vazão de lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} = \frac{40,88}{10,60} = 0,0681 \text{ m}^3/\text{s} = 245,16 \text{ m}^3/\text{h}$$

– Volume de material filtrante

$$V_{MF} = S_F \cdot 1,60 = \frac{3,14 \cdot 2,50^2}{4} \cdot 1,60 = 7,85 \text{ m}^3$$

– Volume da camada suporte

$$V_{CS} = \frac{3,14 \cdot 2,50^2}{4} \cdot 0,5 = 2,453 \text{ m}^3$$

–

5-ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMPACTAS (ETAs Compactas)

5.1-DEFINIÇÃO: São aquelas em que os processos de clarificação e de filtração, são efetuados por unidades compactas integradas.

5.2-TIPOS: As Estações de Tratamento Compactas podem ser unidades de Superfiltração de Pressão, Unidades de Superfiltração de Gravidade, Clarificadores de Contato e Sistemas Integrados de Clarificação e Filtração

5.3-UNIDADES DE SUPERFILTRAÇÃO DE PRESSÃO

5.3.1-Definição: Superfiltros de Pressão são unidades fechadas construídas geralmente em aço, constituídas por duas câmaras, a primeira delas corresponde à câmara de clarificação, contando com leito de contato e recebe a água bruta juntamente com o coagulante; já a segunda câmara corresponde ao filtro propriamente dito, tipo rápido, de onde a água bruta sai clarificada e filtrada.

5.3.2--Operação: sob pressão maior do que a atmosférica

5.3.3-Classificação: conforme a disposição das câmaras, as unidades de superfiltração de pressão podem ser verticais ou horizontais

5.3.4--Taxas de Clarificação: 120 a 150 m³/m².dia

5.3.5--Taxas de Filtração: devem ser adotadas as mesmas taxas de clarificação

5.3.6-Taxas de Lavagem das Câmaras: as duas câmaras podem ser lavadas conjuntamente com taxas variando de 1000 a 1200 m³/m².dia

5.3.7-Camadas-Suporte: tanto para o filtro rápido, como para a câmara de clarificação, a camada –suporte é constituída por 4 sub-camadas, conforme a tabela seguinte

Granulometria(mm)	Espessura (cm)
3 a 6	7,5
6 a 12	7,5
12 a 25	12,5
25 a 30	7,5

5.3.8-Leito de Contato: camada de areia com 1,50 m de altura, com tamanho efetivo de 0,75 a 0,85mm

5.3.9- Camada Filtrante: constituída de 2 sub-camadas, a inferior com espessura de 20cm com areia de 0,8 a 1,2mm de diâmetro, em quanto que a sub-camada superior tem espessura de 40 cm , com areia com tamanho efetivo que varia de 0,45 a 0,55mm

5.3.10-Fundo das Câmaras: constituído de chapas perfuradas com orifícios distribuídos de modo uniforme com área correspondendo de 25 a 35% da superfície da chapa

5.3.11-Dimensionamento:

1-Câmara de Clarificação

-Secção Transversal

$$S_c = \frac{Q_D}{I_c} \quad \text{em que}$$

S_c é a secção transversal da câmara de clarificação em m²

Q_D = Vazão diária a tratar em m^3/dia

l_c é a taxa de clarificação adotada em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

-Diâmetro Calculado

$$D_c = \sqrt{\frac{4S_c}{\pi}} \text{ em que}$$

D_c é o diâmetro calculado da câmara de clarificação em m

S_c é a secção transversal da câmara em m^2

-Diâmetro Adotado

$D \geq D_c$ de acordo com a padronização do fabricante
em D é o diâmetro-padrão

-Taxa Real de Clarificação:

$$l = \frac{Q_D}{S} \text{ em que}$$

l é a taxa real de clarificação em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Q_D é a vazão diária em m^3/dia

S é a secção transversal adotada que é

$$\text{igual a } \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \text{ em } m^2$$

-Volume do Leito de Contato

$$V_{LC} = S \cdot 1,50 \text{ em que}$$

V_{LC} é o volume do leito de contato em m^3

é a secção transversal corresponde ao diâmetro adotado em m

-Camada Suporte

-Volume Total

$$V_{CS} = 0,35 \cdot S \text{ em que}$$

V_{CS} é o volume total da camada suporte em m^3

S é a secção transversal em m^2

- Volume das Sub-Camadas

-Sub-camada de granulometria de 25 a 30 mm

$$V_1 = 0,075 \cdot S \text{ com } S \text{ em } m^2 \text{ e } V_1 \text{ em } m^3$$

-Sub-camada de granulometria de 25 a 12mm

- $V_2=0,125.S$ com S em m^2 e V_2 em m^3
 -Sub-camada de granulometria de 12 a 6mm
 $V_3=0,075.S$ com S em m^2 e V_3 em m^3
 -Sub-camada de granulometria de 3 a 6mm
 $V_4=0,075.S$ com S em m^2 e V_4 em m^3

-Lavagem

-Volume Consumido na Lavagem da Câmara de Clarificação

$$V_L = \frac{I_L \cdot t \cdot 60}{86400} \text{ em que}$$

I_L é a taxa de lavagem em $m^3/m^2 \cdot dia$

t é o tempo de lavagem em minutos

V_L é o volume de lavagem em m^3

-Vazão de Lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} \text{ em que}$$

Q_L é a vazão de lavagem em m^3/s

V_L é o volume de lavagem em m^3

t é o tempo de lavagem em minutos

-Aplicação do Coagulante

Semelhante ao que foi mostrado anteriormente, porém com a pressão do dispositivo

-Fundo da Câmara de Clarificação

-Área de cada orifício

$$s = \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \text{ em que}$$

s é a área de cada orifício em m^2

d é o diâmetro adotado para cada edifício

- Relação Percentual Área Aberta/Secção Transversal

$$R = \frac{N_o \cdot s \cdot 100}{S} \text{ em que}$$

N_o é o número de orifícios

s é a área de cada orifício em m^2

S é a secção transversal da câmara de clarificação em m^2

Com a condição de $25 \geq R \leq 35$

- Quantidade de Orifícios

$$N_o = \frac{R.S}{100.S}$$

2-Câmara de Filtração

-Taxa de Filtração (Igual a taxa de clarificação adotada)

$I_F = I$ com I em $m^3/m^2.dia$

-Volume da Camada Filtrante

-Volume Total da Camada Filtrante

$V_{CF} = 0,60.S$ com V_{CF} em m^3 e S em m^2

-Volume das Sub-Camadas

Sub-camada inferior de areia de granulometria de 0,8 a 1,2mm

$V_1 = 0,2.S$ com V_1 em m^3 e S em m^2

Sub-camada superior de areia de granulometria de 0,45 a 0,55mm

$V_2 = 0,4S$ com V_2 em m^3 e S em m^2

Camada Suporte

Semelhante em todos os elementos, a camada -suporte da câmara de clarificação

-Lavagem da Câmara de Filtração

Semelhante em todos os elementos à lavagem da câmara de clarificação

-Fundo da Câmara de Filtração

Semelhante em todos os elementos à camada-suporte da câmara de clarificação

5.4-UNIDADES DE SUPERFILTRAÇÃO DE GRAVIDADE

5.4.1 Definição: são unidades, construídas em concreto armado, alvenaria de tijolo, ou mesmo em aço, operando sob a ação da gravidade e constituídas por 2 câmaras, uma para a clarificação, que recebe a água bruta com a dosagem do coagulante e a outra que corresponde ao filtro tipo rápido.

5.4.2 Operação: sob a pressão atmosférica

5.4.3 Taxas de Clarificação: 120 a 150 m³/m².dia

5.4.4 Taxas de Filtração: devem ser adotadas as mesmas taxas de clarificação

5.4.5 Taxas de Lavagem: de 1000 a 1200 m³/m².dia, porém as duas câmaras devem ser lavadas isoladamente

5.4.6 Leito Filtrante, Camadas-Suporte e Leito de Contato:

São semelhantes aos dos superfiltros de pressão.

5.4.7 Fundos das Câmaras:

Semelhantes aos dos superfiltros de pressão

5.4.8 Aplicação de Coagulante:

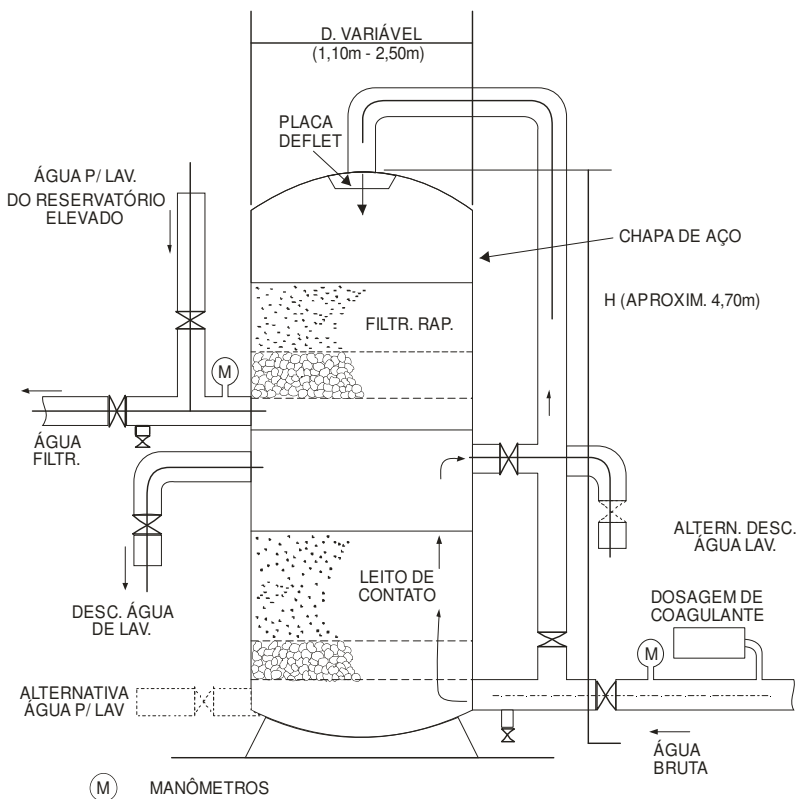
Semelhante ao que já foi estudado.

5.4.9 Lavagem da Câmara de Clarificação

Processo semelhante à lavagem da câmara de clarificação dos superfiltros de pressão

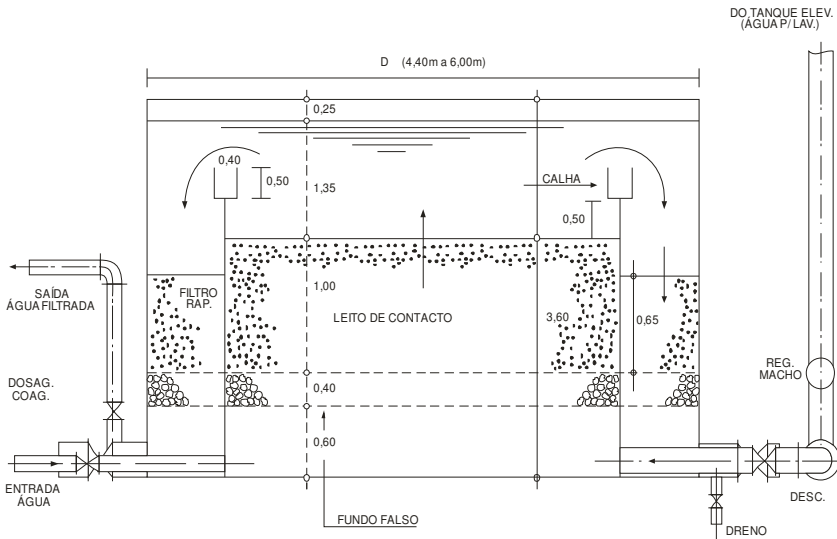
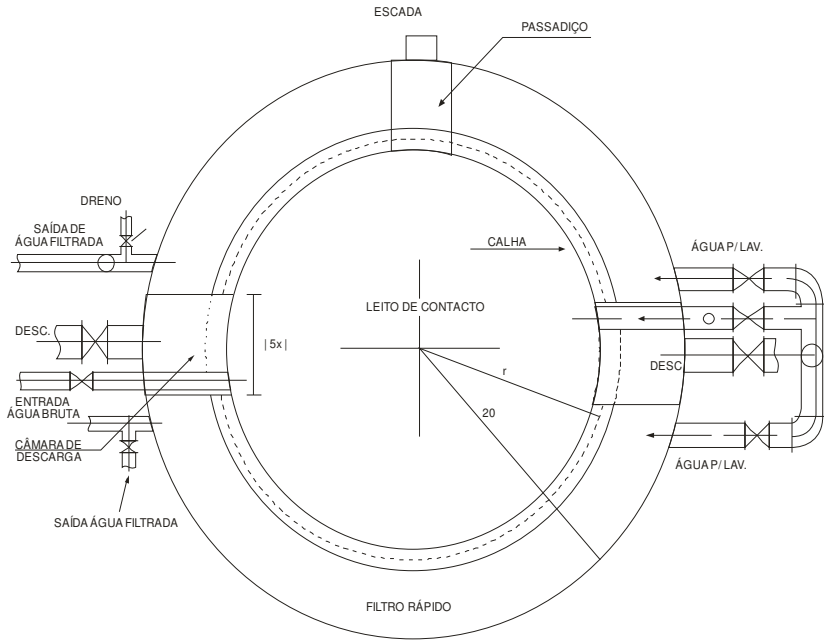
8.5.4.10-Lavagem da Câmara de Filtração

Processo semelhante à lavagem da câmara de filtração dos Superfiltros de pressão



Filtros de dois estágios
Figura 32: Superfiltro de Pressão Vertical

SUPERFILTRO DE GRAVIDADE



CORTE

5.5-SISTEMAS INTEGRADOS DE CLARIFICAÇÃO – FILTRAÇÃO

5.5.1-Definição: são estações de tratamento de água compactas, constituída de unidades de floculação-decantação integradas a filtros de pressão.

5.5.2Objetivos: promover a clarificação da água, através da coagulação, da floculação e da decantação e depois a filtração.

5.5.3-Taxas de Aplicação: 120 A 150 m³/m².dia

5.5.4-Características da Água a Ser Tratada

PARÂMETROS	TEOR MÁXIMO (mg/L)
Cor	100
Turbidez	200
Ferro	2
Oxigênio Consumido	5

5.5.5-Emprego do Coagulante: Coagulante mais empregado: sulfato de alumínio. Dosagem Geral: 30 a 40 mg/L

5.5.6-Unidade de Floculação-Decantação: o floco decantador é constituído por unidade de mistura rápida, unidade de floculação e unidade de decantação.

Na mistura rápida, a água bruta é admitida, juntamente com a dosagem de coagulante, onde o forte turbilhonamento, faz a distribuição dos produtos químicos , abreviando o início da formação dos flocos.

Câmara de Floculação: após a mistura , a água é encaminhada à câmara de floculação, necessitando que os flocos sejam de tamanho e densidade que facilitem a sedimentação

Câmara de Decantação: é a unidade onde os flocos formados se separam da água que segue num curso vertical de baixo para cima , enquanto que os flocos, se precipitam no sentido contrário.

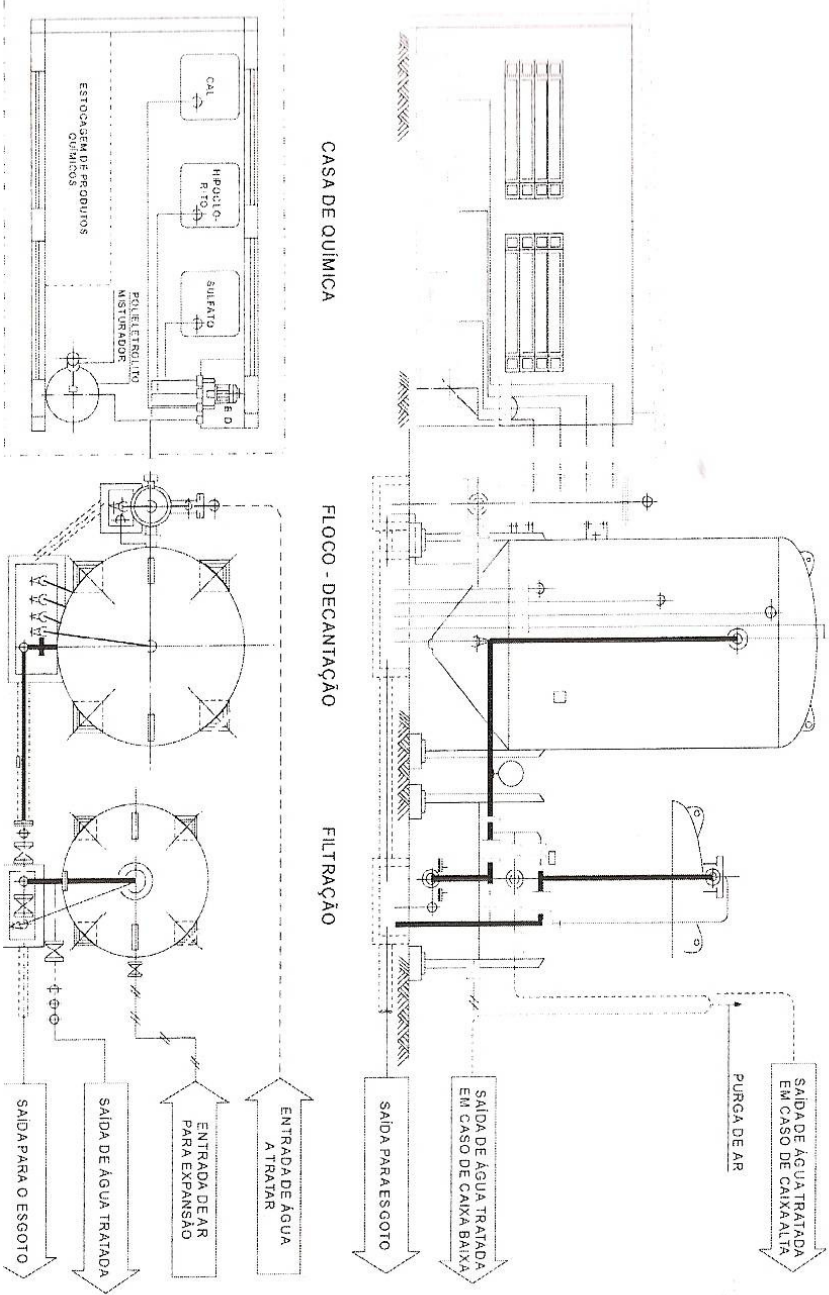
5.5.7-Filtros- a água clarificada, sempre arrasta flocos residuais, o que obriga o emprego de filtros, podendo ser 1 ou mais filtros em aço , tipo pressurizado(s), contando com carga de material filtrante tipo mista com tamanho efetivo de 0,8 a 1,0mm sobreposta a uma camada de areia com tamanho efetivo de 0,55mm. Por sua vez o leito filtrante se apóia sobre camada-suporte de pedrisco. As alturas das camadas filtrante e suporte variam conforme o fabricante dos equipamentos. O sentido da filtração é descendente

5.5.8- Lavagem

Taxas de Lavagem :1000 a 1200 m³/m².dia

Sentido da lavagem: ascendente

SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO E FILTRAÇÃO



5.5.9-Dimensionamento

1-Floco-Decantador

Área transversal

$$S_{FD} = \frac{Q_D}{I_A} \text{ em que}$$

em m² S_{FD} é a Secção transversal do floco-decantador

Q_D é a vazão diária em m³/dia

I_A é a taxa de aplicação em m³/m².dia

Diâmetro do Floco-Decantador

$$D_{FD} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \text{ em que}$$

em m D_{FD} é o diâmetro calculado do floco decantador

em m² S é a secção transversal do floco-decantador

Diâmetro Adotado para o Floco-Decantador

$D \geq D_{FD}$ em que D é o diâmetro padronizado pelo fabricante em m

D_{FD} é o diâmetro calculado em m

Taxa Real de Aplicação

$$I = \frac{Q_D}{3,14.D^2} \text{ em que}$$

4

Q_D é a vazão diária em m³/dia

I é a taxa real de aplicação em m³/m².dia

D é o diâmetro do floco-decantador adotado em m

Q_D é a vazão diária em m³/dia

Dosagem de Coagulante

Conforme já mostrado anteriormente

2-Filtro(s)

Secção transversal de Cada Filtro

$$S_F = \frac{Q_F}{I_A} \text{ em que}$$

S_F é a secção transversal calculada para cada filtro em m^3/dia

Q_F é a vazão em m^3/dia

I_A - taxa de aplicação adotada em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

Diâmetro Calculado para Cada Filtro

$$D_F = \sqrt{\frac{4S_F}{\pi}} \text{ em que}$$

D_F é o diâmetro em m

S_F é a secção em m^2

Diâmetro Padrão adotado para o filtro

$$D \geq D_F$$

Taxa Real de Filtração

$$I = \frac{Q_F}{3,14 \cdot D^2 \cdot 4} \text{ em que}$$

Q_F é a vazão para cada filtro em m^3/dia

I - taxa real de filtração em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

D - Diâmetro do filtro em m

Volume Consumido na Lavagem de Cada Filtro

$$V_L = \frac{I_L \cdot t \cdot 60}{86400} \text{ em que}$$

V_L é o volume consumido na lavagem em m^3

I_L é a taxa de lavagem em $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$

t é o tempo de lavagem em minutos

Vazão de Lavagem de Cada Filtro

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} \text{ em que}$$

Q_L é a vazão para o filtro em m^3/s

V_L é o volume de lavagem em m^3

t é o tempo de lavagem em minutos

Volume da Camada Suporte

$$V_{CS} = \frac{3,14D^2}{4} \cdot H_{CS} \text{ em que}$$

V_{CS} é o volume da camada suporte em m^3

D diâmetro do filtro adotado em m

H_{CS} é altura da camada suporte em m

Volume Necessário de Antracito

$$V_A = \frac{3,14D^2}{4} \cdot H_a \text{ em que}$$

V_A é o volume da camada de antracito em m^3

D é o diâmetro do filtro adotado em m e H_a é

altura da camada de antracito em m.

Volume Necessário de Areia

$$V_a = \frac{3,14D^2}{4} H_a \text{ em que}$$

V_a é o volume de areia em m^3

D é o diâmetro do filtro em m

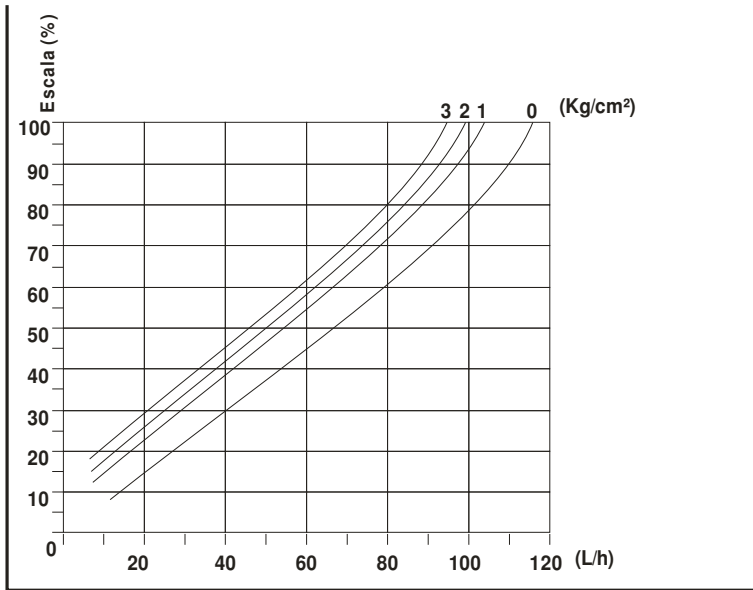
H_a é a altura da camada de areia em m

EXERCÍCIO

Dimensionar uma estação de tratamento compacta, constituída por um floco-decantador e dois filtros com os seguintes dados, considerando ainda o gráfico de desempenho da bomba dosadora:

- Vazão a tratar: 20 L/s,
- Pressão no ponto de aplicação do coagulante: 1,2kg/cm²
- Dosagem de coagulante: 35 mg/L
- Taxa de aplicação: 150 m³/m².dia
- Período diário de operação: 24 h/dia

- Taxa de lavagem: $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$
- Tempo de lavagem: 10 minutos



Solução

Floco-decantador

- Vazão diária

$$Q_d = \frac{20.24.3600}{1000} = 1728 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Secção transversal

$$(S_{FD} = \frac{Q_D}{I_A} = \frac{1728}{150} = 11,52 \text{ m}^2$$

- Diâmetro Calculado

$$D_{FD} = \sqrt{\frac{4.S_{FD}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.11,52}{3,14}} = 3,83 \text{ m}$$

Diâmetro adotado: considerando que o maior floco-decantador adotado tem diâmetro de 3,40 m, é necessário adotar mais de um floco-decantador o que altera as condições operacionais.

Área total necessária: 11,52 m²

$$\text{Área para 2 floco-decantadores: } S = \frac{11,52}{2} = 5,76 \text{ m}^2$$

Diâmetro de cada floco-decantador

$$D = \sqrt{\frac{4.5,76}{3,14}} = 2,70 \text{ m}$$

Emprego de coagulante

Consumo diário de sulfato de alumínio puro

$$C_{SP} = \frac{Q.n.d.3600}{1000000} = \frac{20.24.35.3600}{1000000} = 60,48 \text{ kg}$$

Consumo de sulfato de alumínio com impurezas

$$C_{SI} = \frac{100.C_{SP}}{100-x} = \frac{100.60,48}{100-5} = 63,66 \text{ kg}$$

Volume da Solução

$$V_S = \frac{C_{SP} \cdot 100}{c} = \frac{60,48 \cdot 100}{4} = 1512 \text{ l}$$

Vazão de dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n} = \frac{1512}{24} = 63 \text{ L/h}$$

Vazão máxima do dispositivo dosador

$$Q_{\max} = 2 \cdot Q_D = 2 \cdot 63 = 126 \text{ L/h}$$

Pressão de injeção

$$P_I = 2 \text{ kg/cm}^2$$

Filtros

– Quantidade: 2

– Vazão diária para cada filtro

$$Q_F = \frac{Q_{FD}}{2} = \frac{1728}{2} = 864 \text{ m}^3/\text{d}$$

– Área da secção transversal

$$S_F = \frac{864}{150} = 5,76 \text{ m}^2$$

– Diâmetro de cada filtro

$$D_F = \sqrt{\frac{4.5,76}{3,14}} = 2,70 \text{ m}$$

– Volume de lavagem de cada filtro

$$V_L = \frac{I_L \cdot S_F \cdot t \cdot 60}{86400} = 48 \text{ m}^3$$

– Vazão de lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t \cdot 60} = \frac{48}{10 \cdot 60} = 0,08 \text{ m}^3/\text{s} = 288 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.6-CLARIFICADORES DE CONTATO (FILTROS RUSSOS)

5.6.1-DEFINIÇÃO – são unidades de tratamento que fazem a floculação, a decantação e a filtração, isoladamente.

5.6.2-CONSTITUIÇÃO – os clarificadores de contato são constituídos por tanques, fundo falso, camada suporte, leito filtrante, tubulações de entrada de água bruta, de saída de água tratada, de entrada de água de lavagem, saída de água de lavagem, etc.

5.6.3-SENTIDO DO FLUXO – a água nos clarificadores de contato, segue o fluxo vertical ascendente

5.6.4-COAGULANTE – geralmente como coagulante é empregado o sulfato de alumínio com dosagem de 30 a 40 mg/L

5.6.5-LAVAGEM

5.6.5.1-Taxas de lavagem : 1000 a 1200 m³/m².dia

5.6.5.2-Sentido do fluxo: ascendente

5.6.6- MATERIAIS EMPREGADOS NA FABRICAÇÃO

Alvenaria de tijolo, concreto armado, fibra de vidro, aço

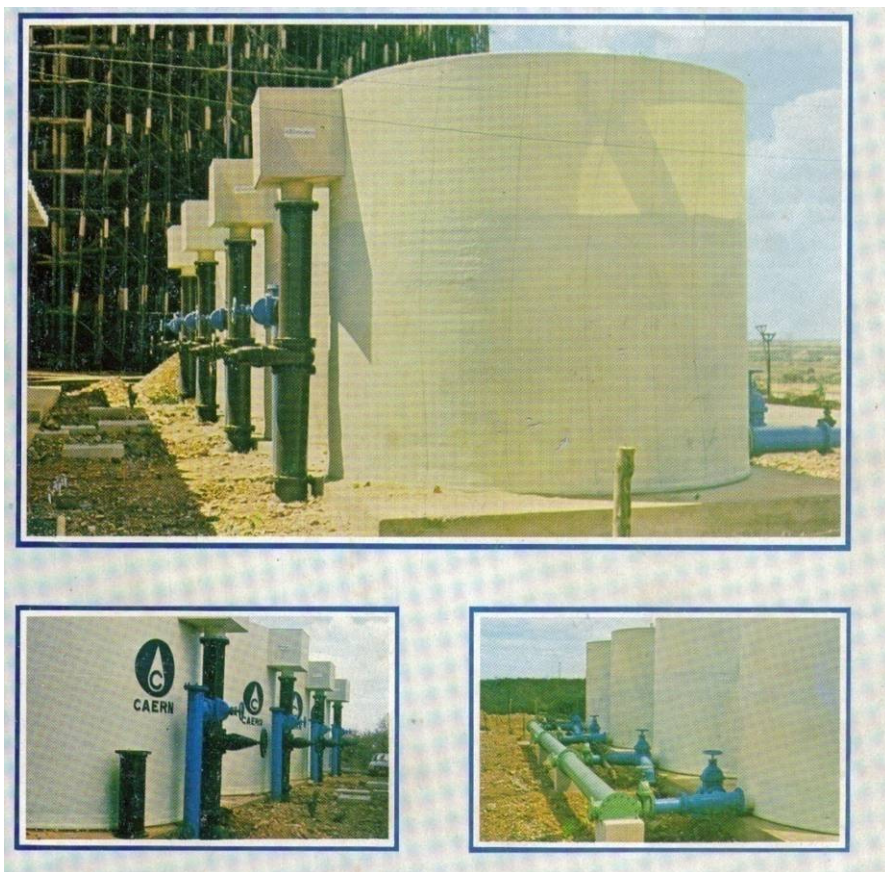
5.6.7- LEITO FILTRANTE

Constituído por camada de areia com granulometria de 0,6 a 1,6mm, com 1,60 m de altura

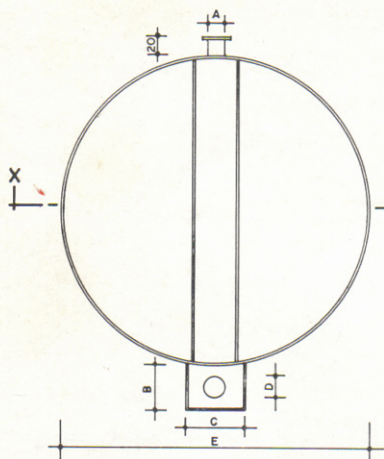
5.6.8-CAMADA SUPORTE

Com altura de 0,60m, é constituída pelas seguintes sub-camadas

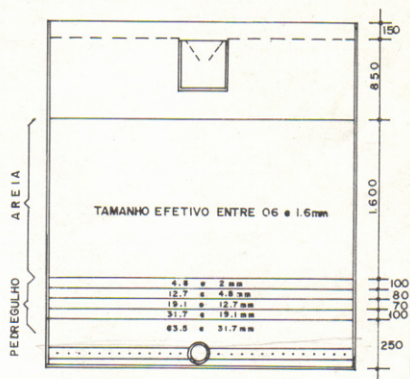
Granulometria (mm)	Altura (m)
31,7 a 63,5	0,25
19,1 a 31,7	0,10
12,7 a 19,1	0,07
4,9 a 12,7	0,08
2,0 a 4,9	0,10



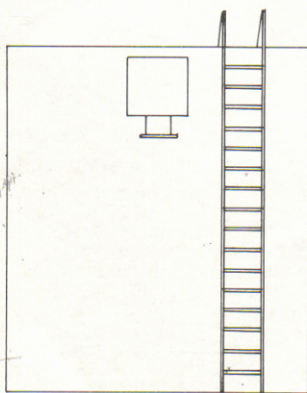
FORMA E DIMENSÕES



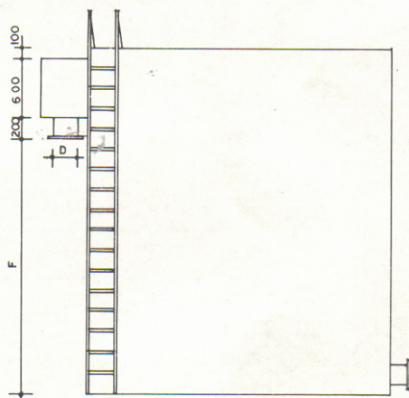
VISTA DE CIMA



CORTE XX



VISTA DE FRENTE



VISTA LATERAL

MÓDELO	VAZÃO (m ³ /h)	DIMENSÕES (mm)						PESO (Kgf)	
		A	B	C	D	E	F	VAZIO	CHEIO
CLA 150	até 12	75	400	400	100	1500	2400	260	9800
CLA 200	13 a 30	100	400	400	150	2000	2400	320	17900
CLA 250	31 a 37	100	600	600	150	2500	2500	420	28900
CLA 300	38 a 52	150	600	600	200	3000	2500	580	41200
CLA 350	53 a 72	200	600	600	250	3500	2550	750	58100
CLA 430	73 a 125	250	600	600	300	4300	2600	1380	78400

5.6.9- DIMENSIONAMENTO

5.6.9.1 Taxas de Aplicação:

120 a 240 m³/m²

5.6.9.2-Área da da Secção Transversal

$$S_C = \frac{Q_D}{I_A} \text{ em que}$$

S_C é a secção transversal do clarificador em m²

Q_D é a vazão diária para o clarificador em m³/dia

I_A é a taxa de aplicação em m³/m².dia

5.6.9.3-Diâmetro Calculado para o Clarificador

$$D_C = \sqrt{\frac{4 \cdot S_C}{\pi}} \text{ em que}$$

D_C é o diâmetro calculado para o clarificador em m.

S_C é a secção transversal necessária para o clarificador em m².

5.6.9.4-Diâmetro do Clarificador Adotado

$$D \geq D_C \text{ em que}$$

D é o diâmetro do clarificador adotado em m

D_C é o diâmetro calculado para o clarificador em m

5.6.9.5-Aplicação do Coagulante

Semelhante ao que já foi visto anteriormente

5.6.9.6-Volume Consumido na Lavagem do Clarificador

$$V_L = \frac{I_L \cdot S \cdot t \cdot 60}{86400} \text{ em que}$$

V_L é o volume consumido em m³

t é o tempo de lavagem em minutos

I_L é taxa de lavagem em m³/m².dia

S é a secção do clarificador adotado em m²

5.6.9.7-Vazão de Lavagem

$$Q_L = \frac{V_L}{t.60} \text{ em que}$$

Q_L é a vazão de lavagem em m^3/s

V_L é o volume consumido na lavagem em m^3

T é o tempo de lavagem em minutos

5.6.9.8- Volume Total da Camada -Suporte

$$V_{CS} = S.0,60 \text{ em que}$$

V_{CS} é o volume da camada suporte em m^3

S é a secção transversal do clarificador adotado em m^2

5.6.9.9-Volume das Sub-camadas da Camada-Suporte

Sub-camada com granulometria de 31,7 a 63,5mm

$$V_1 = 0,25S$$

Sub-camada com granulometria de 19,1 a 31,7mm

$$V_2 = 0,10S$$

Sub-camada com granulometria de 12,7 a 19,1mm

$$V_3 = 0,07S$$

Sub-camada com granulometria de 4,9 a 12,7 mm

$$V_4 = 0,08S$$

Sub-camada com granulometria de 2 a 4,9mm

$V_5 = 0,10S$ com V_1, V_2, V_3, V_4 e V_5 são os volumes em m^3 e S é a secção transversal do clarificador em m^2

5.6.9.10-Volume da Camada Filtrante

$V_{CF} = 1,6S$ em que V_{CF} é o volume do leito filtrante em m^3 e S é a secção transversal do clarificador em m^2 .

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de clarificação por contato constituído por 2 unidades e levando em conta os seguintes dados:

- Vazão: 10 L/s
- Período diário de operação: 24 h/dia
- Taxa de lavagem: $1200 m^3/m^2.dia$

- Taxa de filtração: $150 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$
- Tempo de lavagem: 10 minutos
- Pressão no ponto de aplicação: 8 m
- Dosagem de sulfato: 32 mg/L
- Teor de impurezas: 5%
- Concentração da solução: 4%

Solução

- Vazão diária

$$Q_D = \frac{10.24.3600}{1000} = 864 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Vazão para cada filtro

$$Q_F = \frac{864}{2} = 432 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Área de cada filtro

$$S_F = \frac{432}{100} = 4,32 \text{ m}^2$$

- Diâmetro de cada filtro

$$D_F = \sqrt{\frac{4.4,32}{3,14}} = 2,35 \text{ m}$$

Diâmetro adotado para cada filtro

$$D = 2,50 \text{ m}$$

Taxa real de filtração

$$I_F = \frac{432}{3,14.2,5^2 \cdot \frac{1}{4}} = 88,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

- Volume de água para lavagem

$$V_L = \frac{1200 \cdot \frac{3,14.2,5^2}{4} \cdot 10.60}{86400} = 40,89 \text{ m}^3$$

- Vazão de lavagem

$$Q_L = \frac{40,89}{10.60} = 0,068 \text{ m}^3/\text{s} = 244.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Volume de material filtrante para cada clarificador

$$V_{MF} = \frac{3,14.2,5^2 \cdot 1,60}{4} = 7,85 \text{ m}^3$$

Volume da camada suporte

$$\text{Secção transversal } S = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 4,906 \text{ m}^3$$

Granulometria	Volume (m ³)
31,7 a 63,5	4,906 .0,25=1,227
19,1 a 31,7	4,906.0,10=0,491
12,7 a 19,1	4,906.0,07=0,343
4,9 a 12,7	4,906.0,08=0,392
2 a 4,9	4,906.0,10=0,491

Total: 2,944m³

– Emprego do coagulante

– Consumo diário de sulfato de alumínio puro

$$C_{SP} = \frac{10.32.24.3600}{1000000} = 27,65 \text{ kg}$$

– Consumo diário de sulfato de alumínio com 5% de impurezas

$$C_{SI} = \frac{100.27,65}{100 - 5} = 29,11 \text{ kg}$$

– Volume da solução

$$V_S = \frac{27,65.100}{4} = 691,3 \text{ l}$$

– Vazão de dosagem

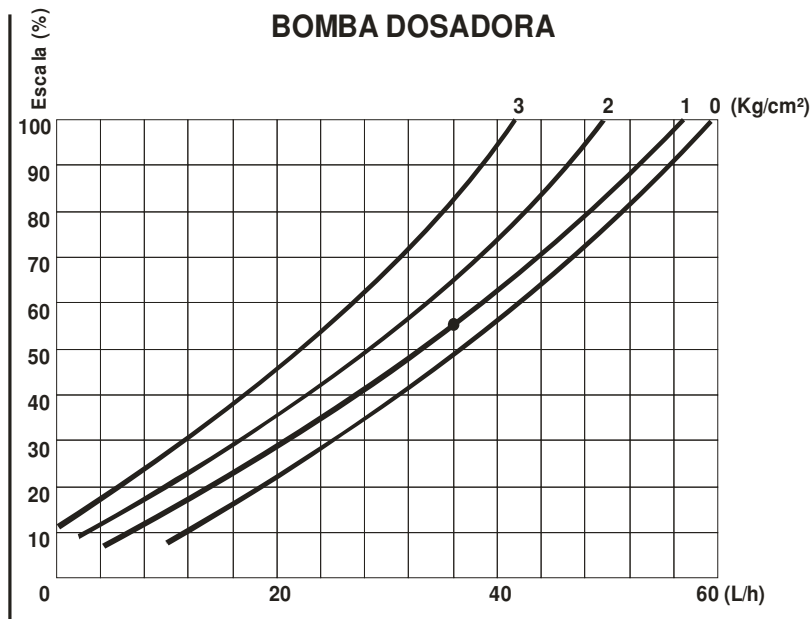
$$Q_D = \frac{691,3}{24} = 28,8 \text{ L/h}$$

– Capacidade da bomba dosadora (máxima)

$$Q_{DM} = 2.28,8 = 57,6 \text{ L/h}$$

– Pressão de injeção

$$P_I = 1 \text{ kg/cm}^2$$



6-FLUORETAÇÃO

6.1-DEFINIÇÃO: é o processo de complementação do teor de flúor na água, com o objetivo de atingir as concentrações ideais, visando a redução das cáries dentárias

6.2-LIMITES RECOMENDADOS PARA A CONCENTRAÇÃO DO ÍON FLUORETO (48)

Média anual das temperaturas máximas diárias do ar em °C	Limite Inferior (mg/L)	Limite Ótimo (mg/L)	Limite Superior (mg/L)
10,0 a 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 a 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 a 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 a 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 a 26,3	0,7	0,8	1,0
26,3 a 32,5	0,6	0,7	0,8

Obs- De um modo geral a Organização Mundial de Saúde, recomenda o limite máximo tolerável de 1,5 mg/L

6.3-PRODUTOS QUÍMICOS MAIS EMPREGADOS

6.3.1-Fluorsilicato de sódio

É um produto de baixa solubilidade, teor de flúor 60%, fórmula Na_2SiF_6

6.3.2-Fluoreto de Sódio

Tem solubilidade relativamente boa, fórmula NaF , custo elevado teor de flúor de 42%

6.3.3-Fluoreto de Cálcio

Produto de custo baixo, fórmula CaF_2 , teor de flúor em torno de 49%, porém quase insolúvel

6.3.4-Ácido Fluorsilícico

Presentemente é o produto mais utilizado em função de seu teor de flúor que é da ordem de 79%.

Sua fórmula é H_2SiF_6 , é de fácil aquisição, sua forma é líquida, é transparente corrosivo e sobretudo irritante.

6.3.5-Aplicação

Em solução através de bomba dosadora

6. 4-Emprego de fluorsilicato de sódio

6.4.1-Teor complementar de flúor

$$t_{CF}=1,5-t_F$$

em que t_{CF} é o teor complementar de flúor em mg/L e t_F é o teor de flúor existente na água

6.4.2-Consumo diário de flúor

$$C_F = \frac{Q.n.3600.t_{CF}}{1000000} \text{ em que}$$

C_F é o consumo diário de flúor em kg

Q é a vazão em L/s

n é o número de horas de operação por dia

t_{CF} é o teor complementar de flúor em kg

6.4.3-Consumo Diário de Fluorsilicato de Sódio

$$C_{FS} = \frac{C_F \cdot 100}{I_F} \text{ em que}$$

C_{FS} é o consumo de fluorsilicato de sódio em kg
 I_F é o teor percentual de flúor no fluorsilicato de sódio

6.4.4-Volume da Solução

$$V_S = \frac{C_{FS} \cdot 100}{c} \text{ em que}$$

V_S é o volume da solução em litros
 C é a concentração da solução em %

6.4.5-Vazão de Dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n} \text{ em que } Q_D \text{ é a vazão de dosagem em L/hora}$$

6.4.6-Capacidade Máxima da Bomba Dosadora

$$C_{max} = 2 \cdot Q_D$$

EXERCÍCIO

Dimensionar um sistema de fluoretação com o emprego de fluorsilicato de sódio, para uma água que contém 1 mg/L de flúor e considerando os seguintes dados:

Vazão: 50 L/s

Período diário de operação: 22 horas

Concentração da solução: 1%

Teor de flúor no fluorsilicato de sódio: 60%

Pressão no ponto de injeção da solução: 10 mca

Solução:

Teor complementar de flúor

$$T_{CF} = 1,5 - t_F = 1,5 - 1,0 = 0,5 \text{ mg/L}$$

Consumo diário de flúor

$$C_F = \frac{Q \cdot n \cdot 3600 \cdot T_{CF}}{1000000} = \frac{50 \cdot 22 \cdot 3600 \cdot 0,5}{1000000} = 1,98 \text{ kg}$$

Consumo diário de fluorsilicato de sódio

$$C_{FS} = \frac{C_F \cdot 100}{I_F} = \frac{1,98 \cdot 100}{60} = 3,3 \text{ kg}$$

Volume da solução

$$V_S = \frac{C_{FS} \cdot 100}{c} = \frac{3,3 \cdot 100}{1} = 330 \text{ l}$$

Vazão de dosagem

$$Q_D = \frac{V_S}{n} = \frac{330}{22} = 15 \text{ L/h}$$

Capacidade máxima da bomba dosadora

$$C_{\max} = 2 \cdot Q_D = 2 \cdot 15 = 30 \text{ L/h}$$

7-CORREÇÃO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

Para a ajustagem do pH, devem ser aplicados de acordo com o da água os seguintes produtos químicos:

7.1-Para Elevação do pH

- Cal hidratada
- Carbonato de cálcio
- Carbonato de sódio (soda ou barrilha)
- Hidróxido de sódio (soda cáustica)

7.2-Para o abaixamento do pH

- Gás carbônico
- Ácido clorídrico
- Ácido sulfúrico

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, José M de e Outros, Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, CETESB,1987.
- BERNARDO, Luiz di, Apostila Curso de Tratamento de Água,CAERN-Cia de Águas e Esgotos do Rio G. do Norte
- BOMAX DO BRASIL.
- CAERN, Cia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte.
- CETESB-Operação e Manutenção de ETA, 1973
- CIA METALÚRGICA BARBARÁ- Divisão Tratamento de Água
- DACACH, Nelson, Gandur, Sistemas Urbanos de Água, Livros Técnicos e Científicos Editora,1979
- ECOSAN-Equipamentos para Saneamento Ltda
- FMC-FILSAN-Equipamentos para Tratamento de Água S.A.
- GARUJÁ Equipamentos para Tratamento de Água
- HEMFIBRA, Com. Ind. Ltda.
- METALÚRGICA ÚTIL S.A
- NEVES, Eurico Trindade , Curso de Hidráulica, Editora Globo,1960.
- NORTESTE-Equipamentos para Saneamento Ltda
- OLIVEIRA, Walter Engrácia de, e outros, Abastecimento de Água, CETESB, 1978.
- RICHTER, Carlos A. AZEVEDO NETTO, José M. de , Tratamento de Água, Tecnologia Atualizada, Editora Edgard Blücher Ltda.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO.G. DO NORTE.
- SOLANIL-Tratamento de Água S.A.
- TEIXEIRA,TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI, Decifrando a Terra, Oficina de Textos São Paulo, 2000.
- VIANNA, Marcos Rocha, Hidráulica Aplicada Às Estações de Tratamento de Água, Instituto de Engenharia Aplicada Editora, 1992.



Walterler Alves de Souza, professor do CEFET-RN desde 1980. Engenheiro Civil, Sanitarista e licenciado em matemática pela UFRN. Engenheiro aposentado da CAERN. Foi chefe da divisão de projetos, da divisão operacional e da gerencia de projetos e da gerencia operacional da CAERN.

O Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte iniciou em 1985 suas atividades editoriais com a publicação da Revista da ETFRN, que a partir de 1999 se transformou na Revista Holos, em formato impresso e, posteriormente, eletrônico. Em 2004, foi criada a Diretoria de Pesquisa que fundou, em 2005, a editora do CEFET/RN. A publicação dos primeiros livros da Instituição foi resultado de pesquisas dos professores para auxiliar os estudantes nas diversas disciplinas e cursos. Buscando consolidar uma política editorial cuja qualidade é prioridade, a Editora do CEFET-RN, na sua função de difusora do conhecimento já contabiliza várias publicações nas diversas áreas temáticas.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os principais tipos de tratamento de água empregados pelos serviços públicos de abastecimento de água, procurando sintetizar o máximo possível todos os conteúdos de modo a torná-los mais acessíveis aos estudantes dos cursos técnicos.

Neste livro efetuamos um pequeno estudo hidrológico da água, contemplando o ciclo hidrológico, as bacias hidrográficas em quanto relacionamos os usos da água e principais requisitos de qualidade, bem como as demandas da mesma. Quanto ao tratamento, relacionamos os principais elementos a serem considerados juntamente com os principais produtos químicos, materiais e equipamentos, as finalidades do tratamento, parâmetros de projeto e principais métodos de tratamento.