

## SUMÁRIO

	Página
<i>Introdução.....</i>	1
<i>1 Definições.....</i>	2
<i>2 Ensaio para avaliação do desempenho de unidade de mistura.....</i>	5
<i>3 Ensaio para avaliação do desempenho de uma unidade de floculação...</i>	7
<i>4 Ensaio para avaliação do desempenho de unidades e sistemas de decantação.....</i>	21
<i>5 Ensaio para avaliação do desempenho de unidades e sistemas de filtração.....</i>	27
<i>6 Ensaio complementar.....</i>	43
<i>7 Causas prováveis de baixo valores de desempenho.....</i>	45
<i>Anexo A - Definições específicas.....</i>	47
<i>Anexo B - Técnicas e procedimento de campo e de laboratório.....</i>	51
<i>Anexo C - Modelo padronizado de agitadores para floculação em laboratório.....</i>	57
<i>Anexo D - Modelos de boletins de controle.....</i>	61
<i>Anexo E - Bibliografia.....</i>	73

## INTRODUÇÃO

O presente manual estabelece um conjunto de ensaios e determinações para avaliação do desempenho de estações de tratamento de água do tipo clássico.

Entende-se por "avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água", ao conjunto de ações visando o conhecimento permanente das condições reais de funcionamento das instalações em termos de:

- a) capacidade de produzir continuamente água potável a um determinado custo;
- b) possibilidade de aumento da capacidade da estação, relacionada ao volume dos investimentos necessários e aos custos capitalizados correspondentes;
- c) deficiências de projeto, construção operação e manutenção;
- d) deficiências decorridas do envelhecimento ou obsolescência das instalações e perda correspondente da capacidade de tratamento;
- e) capacidade de absorção dos impactos causados por situações anormais ou de emergência;
- f) confiabilidade do sistema e capacidade de previsão de problemas futuros;
- g) correlação entre as variações de qualidade da água bruta e medidas correspondente;
- h) deterioração da qualidade da água bruta ao longo do tempo.

Assim sendo, o conhecimento acumulado do desempenho visa permitir o domínio da instalação em termos de capacidade objetiva de manejá-la tanto em condições normais como em situações especiais.

O padrão de desempenho subjacente em qualquer circunstância é determinado pelo princípio da obtenção contínua da qualidade e quantidade necessária ao menor custo possível. Desta forma, a formulação de indicadores diversos e seu acompanhamento ao longo do tempo permitirão, para uma mesma instalação, criar padrões de referência.

Um desdobramento posterior poderá conduzir a valores médios obtidos em diferentes instalações, em diferentes circunstâncias com o que poder-se-a pensar, no futuro, no estabelecimento de padrões gerais de desempenho, os quais mesmo assim, só terão validade no contexto das regras e princípios da estatística e do bom senso. Este manual se restringe aos processos mais importantes de uma estação de tratamento de água, ou seja, aqueles relacionados diretamente a potabilização, omitiram-se outros processos, bem como os aspectos e fatores ligados ao funcionamento de equipamentos e instalações de apoio tais como instalações elétricas, eletromecânicas e de controle operacional.

Foram estabelecidos padrões de desempenho provisórios em alguns casos, a afirmação desses padrões somente poderá se realizar através da aplicação prática deste Manual.

A aplicação deste manual, portanto, tem um caráter experimental e deverá permitir tirar conclusões a respeito da validade e representatividade dos diversos indicadores e respectivos métodos de medição dos diversos processos envolvidos, inclusive da água bruta e da água tratada.

Também as variáveis de controle operacional, constituem indicadores cujo conhecimento acumulado ao longo do tempo permitirá antecipar problemas que possam ocorrer além de servirem de referência quanto ao desempenho das instalações.

Os Ensaios, destinam-se a verificar condições de funcionamento das diversas partes, com vistas a eliminação de falhas e defeitos que contribuam para um desempenho insatisfatório.

Os diagnósticos servirão de guia para a realização das modificações que se fizerem necessárias.

Durante a realização dos ensaios estabelecidos neste manual deverá ser observada a manutenção da qualidade da água em processamento e demais fatores que possam prejudicar a compatibilidade entre condições reais de funcionamento da ETA e condições de laboratório. Dentre tais fatores destacam-se a variação significativa da temperatura da água e do ar, alteração das dosagens dos produtos químicos, interrupção no fornecimento de energia elétrica, modificação da vazão, falha de equipamento, etc.

A periodicidade de realização dos ensaios será determinada em cada caso em função de circunstâncias locais, seja no tocante a condições técnicas, seja no tocante a aspectos administrativos, financeiros e institucionais, especialmente aqueles referentes ao nível de importância que a administração do serviço de água atribuir às ações que este manual pretende estabelecer.

Este manual apresenta no Anexo D modelos "Boletins de Controle", os quais fornecerão continuamente dados complementares necessários ao processo de interpretação dos resultados obtidos e consequente diagnóstico e formulação de medidas corretivas.

São objetivos deste Manual:

- a) estabelecer métodos para avaliação do desempenho de estações de tratamento de água e dos processos que as compõem;
- b) fornecer aos responsáveis pelos sistemas de tratamento, elementos necessários para estabelecer e executar programas de avaliação;
- c) fornecer orientação a respeito das causas mais prováveis de um baixo rendimento;
- d) padronizar os registros de dados operacionais, através dos "Boletins de Controle".

Este Manual aplicá-se a estações de tratamento de água com fins de potabilização para abastecimento público, sendo que sua concepção voltou-se basicamente para aquelas instalações mais comuns compostas de mistura, floculação, decantação e filtração. Sua aplicação a outros tipos de instalação carecerá sempre de adaptação conveniente

## 1 DEFINIÇÕES

Para fins deste manual, adotam-se as seguintes definições.

### 1.1 Unidade de processo

É cada uma das partes constituintes da ETA, onde um determinado processo se realiza por completo.

### 1.2 Sistema de unidades de processo

É um conjunto de unidades de processo da mesma natureza.

### 1.3 Unidade de mistura

Unidade onde se realiza o processo de mistura.

#### 1.4 Unidade de floculação

Unidade onde se realiza o processo de floculação.

#### 1.5 Câmara de floculação

É um dos compartimentos de unidade de floculação.

#### 1.6 Unidade de decantação

Unidade onde se realiza o processo de decantação.

#### 1.7 Unidade de filtração

Unidade onde se realiza a filtração.

#### 1.8 Mistura

É o processo através do qual o coagulante é colocado em contacto com toda a massa líquida, de forma contínua e homogênea, processo esse que deverá estar concluído em um intervalo de tempo menor do que o tempo de reação do coagulante.

#### 1.9 Floculação

É o processo através do qual se dá a aglutinação forçada de partículas presentes em suspensão na água em torno de núcleos formados pela coagulação.

#### 1.10 Decantação

É o processo através do qual se dá a separação das partículas sólidas suspensas na água pela ação da gravidade.

#### 1.11 Filtração

É o processo de passagem da água através de material granular onde se dá a retenção de partículas sólidas.

NOTA: Muito embora seja comum se estabelecer uma distinção conceitual entre operação e processo para fins deste Manual usa-se a palavra processo para designar ambos conceitos.

#### 1.12 Afluente

Água que entra na ETA ou numa de suas unidades de processo.

#### 1.13 Efluente

Água que sai de uma ETA ou de uma de suas unidades de processo.

#### 1.14 Agitador mecânico

Dispositivo mecânico utilizado para transmitir energia à água nas unidades de mistura e floculação.

### 1.15 Água decantada

Efluente de uma unidade de decantação ou de um sistema de decantação.

### 1.16 Água filtrada

Efluente de um filtro ou de um sistema de filtração.

### 1.17 Água floculada

Efluente de uma unidade de floculação ou de um sistema de floculação.

### 1.18 Água para lavagem

Água a ser utilizada para a lavagem de unidades.

### 1.19 Amostra composta ao longo do tempo

Amostra formada pela junção e mistura de diversas amostras individuais, coletadas no mesmo ponto em instantes diferentes.

### 1.20 Carreira de filtração

Lapso decorrido entre o instante da colocação em funcionamento de uma unidade de filtração e o instante de sua interrupção para lavagem.

### 1.20 Cor remanescente ou residual

Cor do efluente.

### 1.22 Taxa de filtração

Quociente que resulta na divisão da vazão pela área através do qual essa vazão é filtrada.

### 1.23 Taxa superficial

Quociente que resulta da divisão da vazão de uma unidade de decantação pela área horizontal da mesma.

### 1.24 Topografia dos lodos de um decantador

Configuração da superfície dos lodos de um decantador com relação ao fundo em um determinado momento. Representação desta configuração.

### 1.25 Tracador

Substância que lançada na água permite obter inferências sobre as características do fluxo numa unidade através de sua detecção sistemática da sua concentração à jusante do ponto de lançamento.

### 1.26 Turbidez remanescente ou residual

Turbidez de um efluente.

### 1.27 Volume filtrado

Volume de água processada por uma unidade de filtração, num determinado tempo.

### 1.28 Volume gasto na lavagem

Volume de água de lavagem gasto numa ETA, num determinado período.

### 1.29 Volume produzido

Volume de água processado por uma ETA e entregue ao sistema adutor de água tratada num determinado período.

## 2 ENSAIO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES DE MISTURA

### 2.1 Avaliação da eficiência do processo de mistura rápida em função do consumo de coagulantes

#### 2.1.1 Finalidade do ensaio

Avaliar a eficiência de um sistema de mistura rápida na dispersão de coagulantes através do consumo dos mesmos:

#### 2.1.2 Fundamentação do método

A dispersão de coagulantes, no volume de água a tratar, se processa em três fases sucessivas:

- a) 1ª fase: hidrólise do coagulante;
- b) 2ª fase: polimerização dos íons hidrolizados;
- c) 3ª fase: difusão dos polímeros e sua adsorção pelas partículas coloidais.

Estas três fases se completam em aproximadamente um segundo.

Os vários produtos que se formam nestas três fases, não apenas aparecem com velocidades diferentes, mas também com diferentes capacidades de desestabilização das partículas coloidais. Os monohidróxidos simples e polímeros, por exemplo, são muito mais eficientes como coagulantes do que os hidróxidos neutros que são os últimos produtos que se formam ao fim de uma série de reações hidrolíticas.

Conclui-se daí que se as reações físico-químicas entre a água e os coagulantes se completarem antes que estes tenham tido a oportunidade de serem adsorvidos pelas partículas coloidais, a eficiência do processo diminui notavelmente, o que se traduz em um aumento do consumo de coagulantes para obter os mesmos resultados que poderiam ser alcançados com um sistema de mistura adequado.

### 2.1.3 Procedimento

#### 2.1.3.1 Ensaio de floculação da água bruta em laboratório

No local de entrada da água bruta na ETA será colhida uma amostra. Esta amostra será processada em laboratório de acordo com a norma CETESB L5.006 "Ensaio de Floculação", para obter-se a melhor dosagem, designada por DLp, anotando-se a turbidez correspondente, designada TLp.

#### 2.1.3.2 Aplicação na ETA da dosagem obtida no ensaio de floculação

Aplica-se em seguida à água bruta da ETA, a mesma dosagem DLp, aguardando-se em tão 20 a 30 minutos para equilíbrio de todo o processo.

#### 2.1.3.3 Coleta de amostra de água misturada na ETA

Na seção de entrada da unidade de floculação definida no item A-1 do Anexo A, serão colhidas amostras suficientes para 6 (seis) frascos das utilizadas no ensaio de floculação.

#### 2.1.3.4 Processamento

Numera-se os frascos de 1 a 6 colocando-se 2 litros de água misturada em cada um deles. Adiciona-se em seguida quantidades crescentes de coagulante a partir do 2º frasco e anota-se a dosagem final de cada um desses, sendo que ao 1º frasco nada é acrescentado. Em seguida a água contida em cada frasco é submetida à floculação, medindo-se, após a decantação estática, a turbidez correspondente, nas mesmas condições que levaram a determinação de TLp.

Compara-se em seguida os valores da turbidez obtidos nos frascos de 1 a 6 e determina-se aquele de menor turbidez. Sua dosagem correspondente é designada por DEm.

### 2.1.4 Resultados

Calcula-se a relação porcentual entre as dosagens através da expressão:

$$Rd = \frac{DEm}{DLp} \times 100$$

Onde:

Rd = relação entre dosagens em %

DLp = melhor dosagem obtida para água bruta no ensaio de floculação em mg/l.

DEm = dosagem do frasco de menor turbidez conforme 2.1.3.4, em mg/l.

De acordo com o resultado obtido, a unidade de mistura será classificada conforme o critério abaixo:

Valor de Rd	Conceito
100	Muito Bom
$100 < Rd < 120$	Bom
$120 < Rd < 130$	Regular
$> 130$	Mau

### 3 ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES DE FLOCULAÇÃO

#### 3.1 Avaliação da eficiência de uma unidade de floculação, através da filtrabilidade do efluente em laboratório

##### 3.1.1 Finalidade

A finalidade deste ensaio é avaliar a eficiência da unidade de floculação por comparação da filtrabilidade da água floculada na ETA, com a filtrabilidade da água floculada em laboratório.

##### 3.1.2 Fundamentação do método

A floculação em laboratório representará a melhor floculação possível a ser pesquisada pelo operador do ensaio. A comparação entre a floculação obtida em laboratório com a floculação obtida na ETA, fornecerá uma medida relativa da capacidade da unidade de floculação em atingir as condições ideais.

##### 3.1.3 Procedimento

###### 3.1.3.1 Amostragem na entrada da unidade de floculação

A seção de entrada na unidade de floculação é definida no ítem A-1 do Anexo A. Cada amostra será colhida através de um frasco dos utilizados nos ensaios de floculação seguindo-se a técnica descrita no ítem B-1 do Anexo B. Deverá ser evitada que durante a colheita seja apanhada qualquer quantidade de espuma, normalmente presente na superfície das unidades de floculação.

O volume de cada amostra será de 2 litros.

### 3.1.3.2 Floculação em laboratório

Cada amostra será levada imediatamente ao laboratório. A melhor floculação será obtida tentativamente combinando-se criteriosamente valores de gradiente de velocidade tempos de detenção e escalonamento do gradiente de velocidade.

O escalonamento será feito sempre no mesmo frasco com o que obter-se-á a condição ideal de ausência de curto circuito. Para a variação do gradiente de velocidade será necessário um dispositivo que permita a variação contínua de velocidade.

O Anexo C apresenta um modelo de agitador de laboratório que permite a determinação exata do gradiente de velocidade em função da rotação do aparelho.

Na variação do gradiente de velocidade usar-se-á quatro valores decrescentes, aplicados a cada amostra de água durante um tempo igual a  $T/4$ ; sendo  $T_i$  o tempo total de detenção.

Cada combinação de valores de tempo de detenção e gradientes de velocidade levará a um resultado final de floculação. Uma vez concluída essa floculação, toma-se água floculada e filtra-se no dispositivo da Figura 1. Filtra-se todo o volume contido no frasco medindo-se em seguida a turbidez  $T_L$ .

Os valores de  $T_i$ , e  $G_{ij}$  serão estabelecidos tentativamente pelo operador do ensaio.

O menor valor obtido entre os valores  $T_L \text{ m} \text{m} (T_L)$  representará a melhor floculação possível.

Sugere-se a adoção dos seguintes valores de detenção:

$$T_1 = 15 \text{ m} \text{m}$$

$$T_2 = 20 \text{ m} \text{m}$$

$$T_3 = 30 \text{ m} \text{m}$$

$$T_4 = 35 \text{ m} \text{m}$$

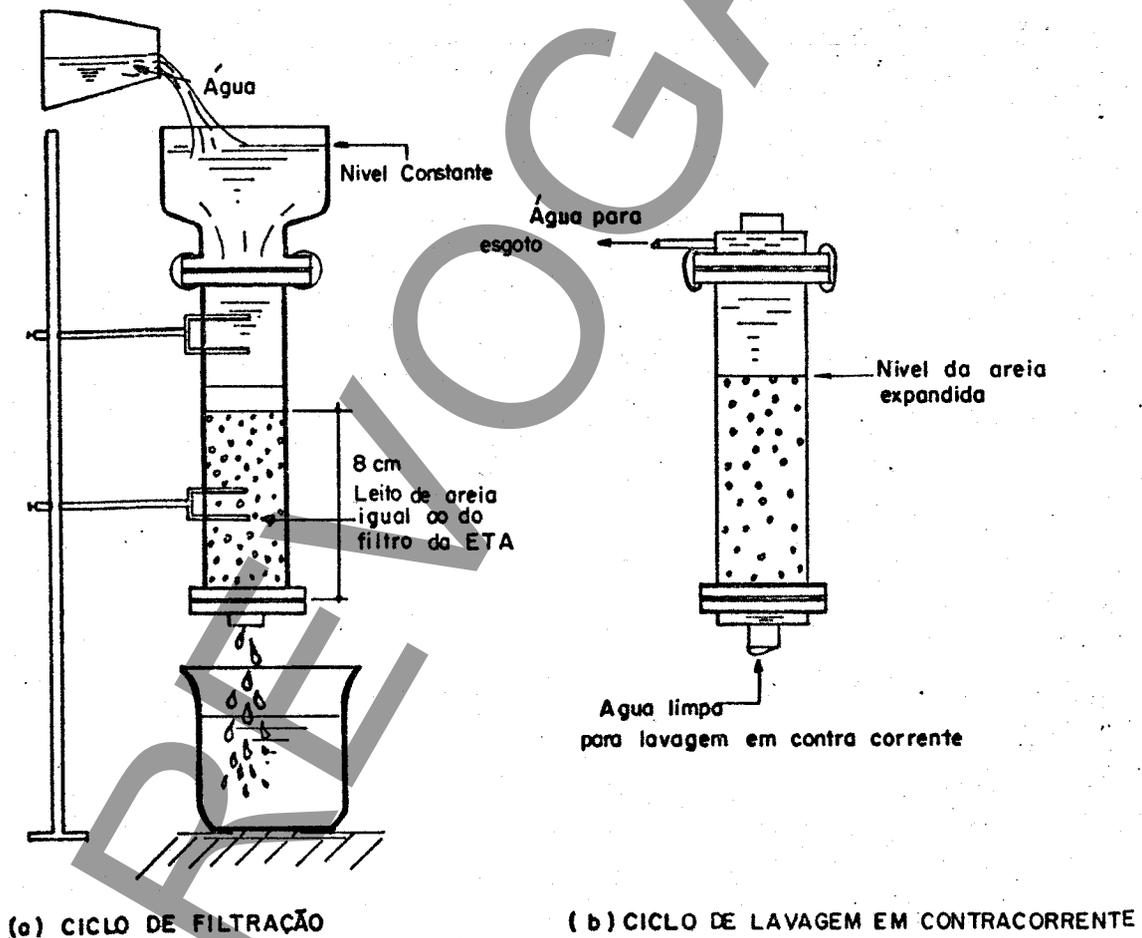
$$T_5 = 40 \text{ m} \text{m}$$

Sugere-se a adoção dos seguintes valores para o gradiente  $G_{ij}$ :

$G_{11} = 100$	$G_{12} = 80$	$G_{13} = 60$	$G_{14} = 40$
$G_{21} = 90$	$G_{22} = 70$	$G_{23} = 50$	$G_{24} = 30$
$G_{31} = 80$	$G_{32} = 60$	$G_{33} = 40$	$G_{34} = 20$
$G_{41} = 70$	$G_{42} = 50$	$G_{43} = 30$	$G_{44} = 10$
$G_{51} = 60$	$G_{52} = 40$	$G_{53} = 20$	$G_{54} = 10$

NOTA: Na realização deste ensaio admite-se que a melhor dosagem de produtos químicos já foi estabelecida em ensaio de floculação e que essa dosagem está sendo aplicada na água bruta da ETA.

Durante a realização do ensaio deve-se verificar se a qualidade da água bruta não se alterou.



**FIGURA 1 - Esquema de filtro de laboratório usado para a verificação de filtrabilidade dos flocos**

### 3.1.3.3 Flocculação na ETA

Durante a pesquisa da melhor flocculação, tomar-se-á uma amostra de água flocculada na ETA (saída do flocculador), de volume igual a 2 l, de acordo com a técnica estabelecida em B-1 do Anexo B.

Em seguida filtrar-se-á esse volume no dispositivo da Figura 1.

Mede-se então a turbidez da água filtrada  $T_E$ .

**NOTA:** Ao colher-se a amostra na ETA, deverá ser verificada a permanência da mesma qualidade de água bruta do início do ensaio.

### 3.1.4 Resultados

A eficiência da unidade de flocculação ( $\eta_{FF}$ ), em função da filtrabilidade direta do efluente é determinada pela seguinte expressão:

$$\eta_{FF} = \frac{T_L}{T_E} \times 100 (\%)$$

onde:  $T_L$  = menor turbidez encontrada pelo processo acima descrito em UT

$T_E$  = turbidez da água flocculada na ETA e filtrada em laboratório em UT

A unidade de flocculação será classificada segundo o critério abaixo:

$\eta_{FF}$	Conceito
> 90	Muito bom
80 - 90	Bom
60 - 80	Regular
< 60	Mau

## 3.2 Avaliação da eficiência de unidades de mistura e flocculação conjugadas, através do teste de filtrabilidade do floco em laboratório

### 3.2.1 Finalidade

Avaliar a eficiência de um conjunto composto de unidades de mistura e flocculação por comparação da filtrabilidade dos flocos do efluente da água misturada e flocculada na ETA com a filtrabilidade dos flocos da água misturada e flocculada em laboratório.

### 3.2.2 Fundamentação do método

A conjugação dos processos de mistura e flocculação obtida em laboratório representará a melhor flocculação possível, a ser pesquisada pelo operador do ensaio. A comparação entre a mistura e a flocculação obtidas em laboratório com a mistura e a flocculação obtidas na ETA fornecerá uma medida relativa da capacidade do conjunto unidade de mistura - unidade de flocculação de atingir as condições ideais.

### 3.2.3 Procedimento

#### 3.2.3.1 Amostragem de água bruta

Será colhida uma amostra de 2 l de água bruta. O bocal de colheita de água bruta deve ser aquele mesmo bocal onde se colheu a amostra indicada em 2.1.3.1.

#### 3.2.3.2 Mistura e floculação em laboratório

A amostra colhida será levada ao laboratório e colocada em um frasco dos utilizados nos ensaios de floculação,

Aplica-se a quantidade de produtos químicos correspondente à dosagem da ETA, a qual por sua vez resultou de ensaio de floculação anterior. A mistura será feita através de agitação intensa, com gradiente de velocidade mínimo de  $500 \frac{1}{s}$ . Em seguida processa-se esta amostra como descrito em 3.1.3.2.

#### 3.2.3.3 Mistura e floculação na ETA

Procede-se como estabelecido em 3.1.3.3.

### 3.2.4 Resultados

A eficiência do conjunto unidade de mistura - unidade de floculação, em função da filtrabilidade direta do efluente ( $\eta_{MF}$ ) é determinada pela seguinte expressão:

$$\eta_{MF} = \frac{TL}{TE} \times 100 (\%)$$

Considerando o valor de  $\eta_{MF}$ , o conjunto unidade de mistura - unidade de floculação será classificado de acordo com o critério abaixo.

$\eta_{MF}(\%)$	Conceito
>90	Muito bom
80 - 90	Bom
60 - 80	Regular
<60	Mau

### 3.3 Avaliação do gradiente de velocidade em uma câmara de floculação dotada de floculador mecânico de eixo vertical do tipo de paletas verticais

#### 3.3.1 Finalidade

Avaliar o gradiente de velocidade médio em uma câmara de floculação dotada de floculador mecânico de eixo vertical do tipo de paletas verticais.

#### 3.3.2 Fundamentação teórica

O gradiente de velocidade médio em uma câmara como a da Figura 2 pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

$G$  = gradiente de velocidade em  $s^{-1}$

$P$  = potência transmitida à água pelo flocculador, em watts (J/s)

$\mu$  = viscosidade absoluta da água, em  $\frac{Ns}{m^2}$  (Ver Tabela 1)

$V$  = volume de água contida na câmara, em  $m^3$ .

$$P = 1,46 \times 10^{-5} C_D \gamma \{(1-k)n\}^3 b \sum (Re_j^4 - Ri_j^4) \cdot B \quad (2)$$

Onde:

$P$  = potência fornecida à água, em watts (J/s)

$C_D$  = coeficiente de arrasto das paletas (Ver Tabela 1)

$\gamma$  = peso específico da água (9806,65) em  $\frac{N}{m^3}$

$k$  = relação entre a velocidade da água e a velocidade da paleta = 0,25

$n$  = rotação do eixo, em rpm

$b$  = comprimento das paletas, em m

$Re_j$  = distância entre o eixo\* e o lado externo da paleta  $j$ , em m

$Ri_j$  = distância entre o eixo\* e o lado interno da paleta  $j$ , em m

$B$  = número de braços do flocculador

O coeficiente de arrasto  $C_D$  depende da relação entre o comprimento e a largura das paletas  $l = Re_j - Ri_j$ .

TABELA 1 - VALORES DE  $C_D$  EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO  $\frac{b}{l}$

$\frac{b}{l}$	$C_D$
1	1,10
2	1,15
4	1,19
10	1,29
18	1,40
$\infty$	2,01

\* Entenda-se eixo, como a linha vertical imaginária que passa pelo centro do eixo mecânico.

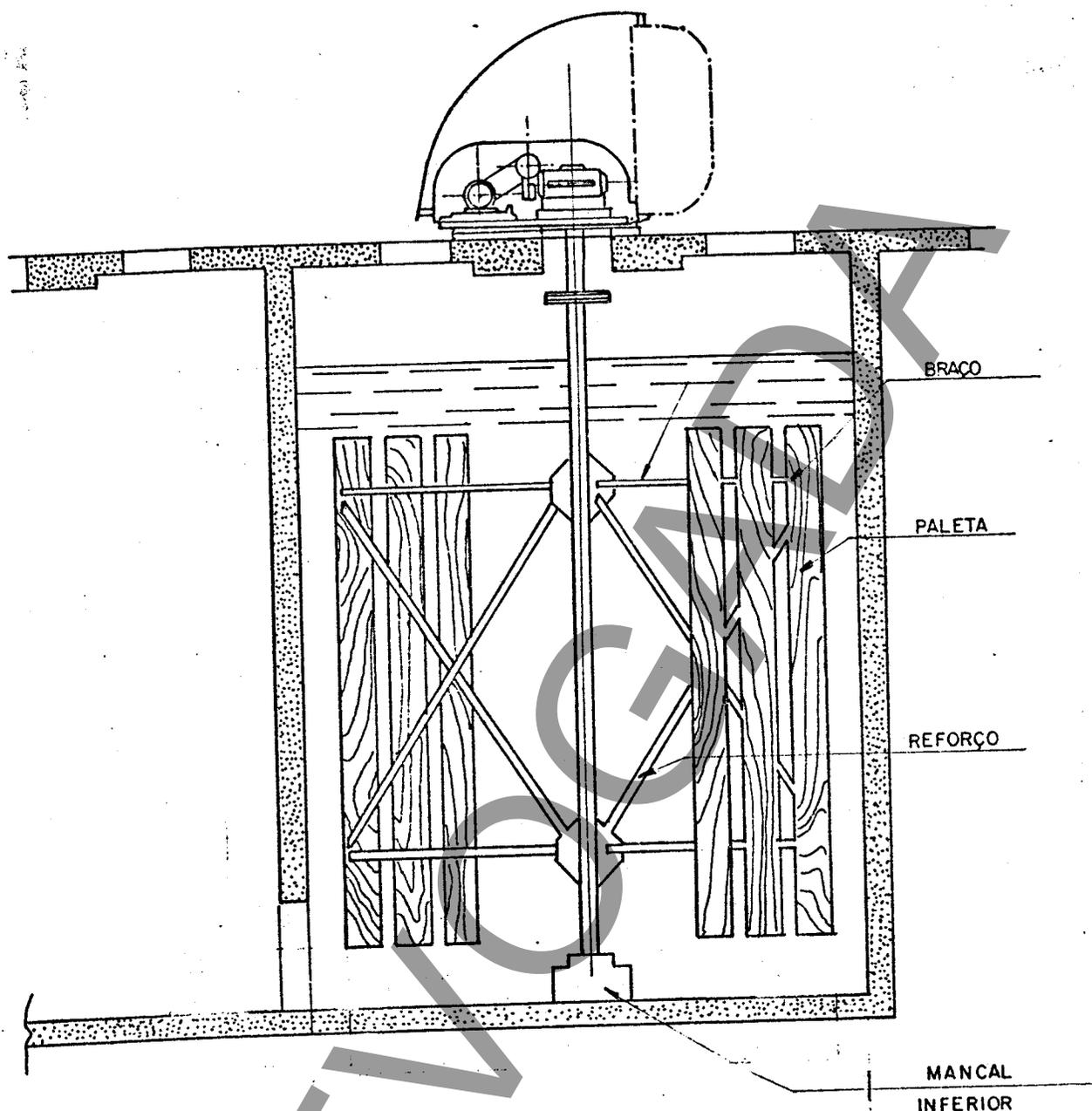


FIGURA 2 - Câmara de Flocculação

### 3.3.3 Procedimento

Para o cálculo da potência  $P$ , é necessário medir a rotação  $n$  e as dimensões  $l$ ,  $b$ ,  $R_{ej}$  e  $R_{ij}$ , com o que obter-se-ã todos os valores para a utilização da expressão (2).

Uma vez calculado  $P$ , e medido o volume  $V$  da câmara, procede-se à determinação da temperatura da água, com o que se obtém  $\mu$ , através da Tabela 2.

TABELA 2 - Viscosidade da água em função da temperatura

Temperatura °C	Viscosidade absoluta ( $\mu$ )
	$10^{-4} \frac{Ns}{m^2}$
0	17,92
1	17,32
2	16,74
3	16,19
4	15,68
5	15,19
6	14,73
7	14,29
8	13,87
9	13,48
10	13,10
11	12,74
12	12,39
13	12,06
14	11,75
15	11,45
16	11,16
17	10,88
18	10,60
19	10,34
20	10,09
21	9,84
22	9,61
23	9,38
24	9,16
25	8,95
26	8,75
27	8,55
28	8,36
29	8,18
30	8,00

### 3.3.4 Resultados

Com esses valores determinados, utiliza-se a expressão (1) do ítem 3.3.2, obtendo-se o valor do gradiente de velocidade médio.

### 3.4 Avaliação do gradiente de velocidade em chicânas

### 3.4.1 Finalidade do ensaio

Avaliar o gradiente de velocidade medio de uma chicana ou de partes de uma chicana.

### 3.4.2 Fundamentação teórica

O gradiente de velocidade de uma chicana pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T}} \quad (1)$$

onde:  $G$  = gradiente de velocidade, em  $s^{-1}$

$\gamma$  = peso específico da água (9806,65) em  $N/M^3$

$\mu$  = viscosidade absoluta da água em  $\frac{Ns}{m^2}$

$T$  = tempo de detenção, em segundos

$h$  = perda de carga, em  $mH_2O$

### 3.4.3 Procedimento

#### 3.4.3.1 Determinação de $h$

Mede-se o desnível total da água entre o primeiro e o último compartimento da chicana, através de um referencial determinado (Ver Figura 3). Caso necessário, pode-se utilizar uma mangueira transparente cheia de água.

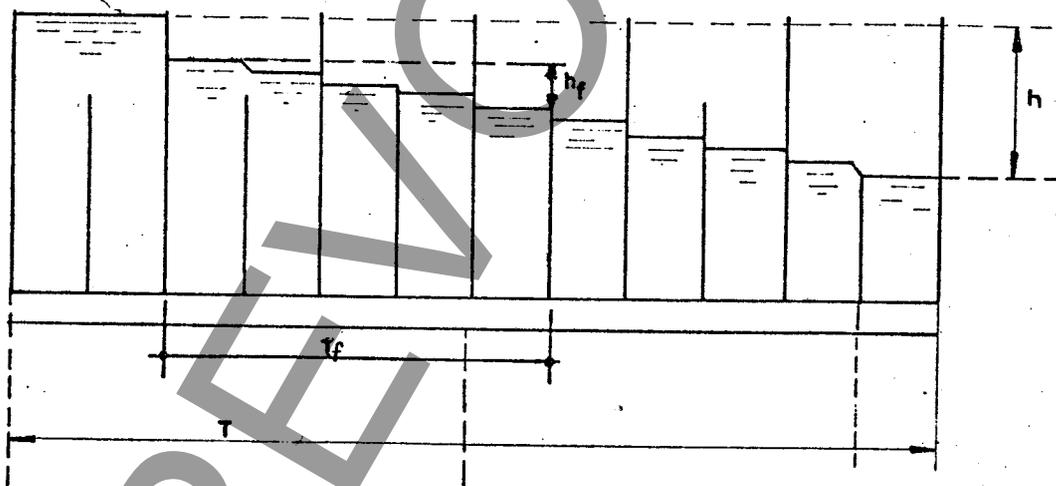


FIGURA 3 - Esquema de perda de carga em chicanas

#### 3.4.3.2 Determinação de $T$

Conhecendo-se a vazão  $Q$  ( $m^3/s$ ) através da chicana e o volume  $V$  ( $m^3$ ) total de água nela contido, determina-se o valor de  $T$ , através da seguinte expressão:

$$T = \frac{V}{Q}$$

Onde:  $T$  = tempo teórico de detenção, em  $s$

$V$  = volume da câmara, em  $m^3$

$Q$  = vazão em  $m^3/s$

### 3.4.3.3 Determinação de $\mu$

Mede-se a temperatura da água com o que se determina o valor de  $\mu$ , através da Tabela 2 do ensaio 3.3.

### 3.4.4 Resultados

Uma vez conhecidos os valores de  $h$ ,  $T$ ,  $\mu$ , calcula-se  $G$  através da expressão (1) do item 3.4.2.

NOTA: Para determinação do gradiente de velocidade em frações pré-determinadas da chicana, determina-se os valores correspondentes de  $h_f$  e  $t_f$  e procede-se do mesmo modo (ver Figura 3).

## 3.5 Avaliação do desempenho hidráulico de unidades de floculação através da aplicação de substâncias traçadoras

### 3.5.1 Finalidade do ensaio

Este ensaio visa verificar o comportamento do floculador do ponto de vista hidráulico, analisando como ele se comporta em relação a uma situação ideal em que todas as partículas permaneceriam retidas o mesmo tempo.

### 3.5.2 Fundamentação teórica

Nas unidades de floculação é normal que uma certa parte do seu volume seja ocupada por água que fica circulando internamente, praticamente sem sair. Entretanto, outras partes da unidade servem para veicular rapidamente a água que entra, até a saída.

Quanto mais intenso o fenômeno, menor é a eficiência do floculador e mais se afasta da situação ideal, na qual cada partícula de fluido percorreria a unidade no mesmo tempo que as outras.

A situação ideal é denominada de "Fluxo de Pistão", entanto que a oposta é chamada de "Fluxo Perfeitamente Misturado", o qual apresenta-se acompanhado de curto-circuito e espaços mortos.

A determinação de índices que caracterizem numericamente os fluxos de Pistão e Perfeitamente Misturado, bem como os Curto-Circuitos e os Espaços Mortos, permitirão definir como um floculador está se comportando.

Aplica-se uma substância (traçadora) na seção de entrada e analisando-se sua presença na seção de saída obtemos uma curva característica apresentada na Figura 4.

Em relação à Figura 4, definem-se os seguintes elementos, todos relativos às observações na saída:

$t_i$  = tempo decorrido entre o instante da aplicação do traçador na seção de entrada e o instante de seu aparecimento na seção de saída;

$t_p$  = tempo modal ou tempo que corresponde à máxima concentração do traçador;

$t_m$  = tempo médio de residência ou permanência - corresponde à abscissa do centro de gravidade da área encerrada pela curva e o eixo das abscissas;

$t_o$  = tempo médio teórico de permanência - definido como o quociente da divisão do volume do floculador pela vazão;

$t_1$  = instante correspondente ao primeiro ponto de inflexão;

$t_{II}$  = instante correspondente ao segundo ponto de inflexão;

- $C_0$  = concentração do traçador aplicada - calcula-se dividindo o peso de traçador aplicado, pelo volume do flocculador;
- $p$  = fração da vazão, correspondente a fluxo de pistão - toma-se o instante  $t_I$ , correspondente ao ponto de inflexão da curva;
- $(1-p)$  = fração da vazão, correspondente a fluxo não de pistão;
- $m$  = fração do volume considerado como espaço morto;
- $C$  = concentração do traçador num determinado instante.

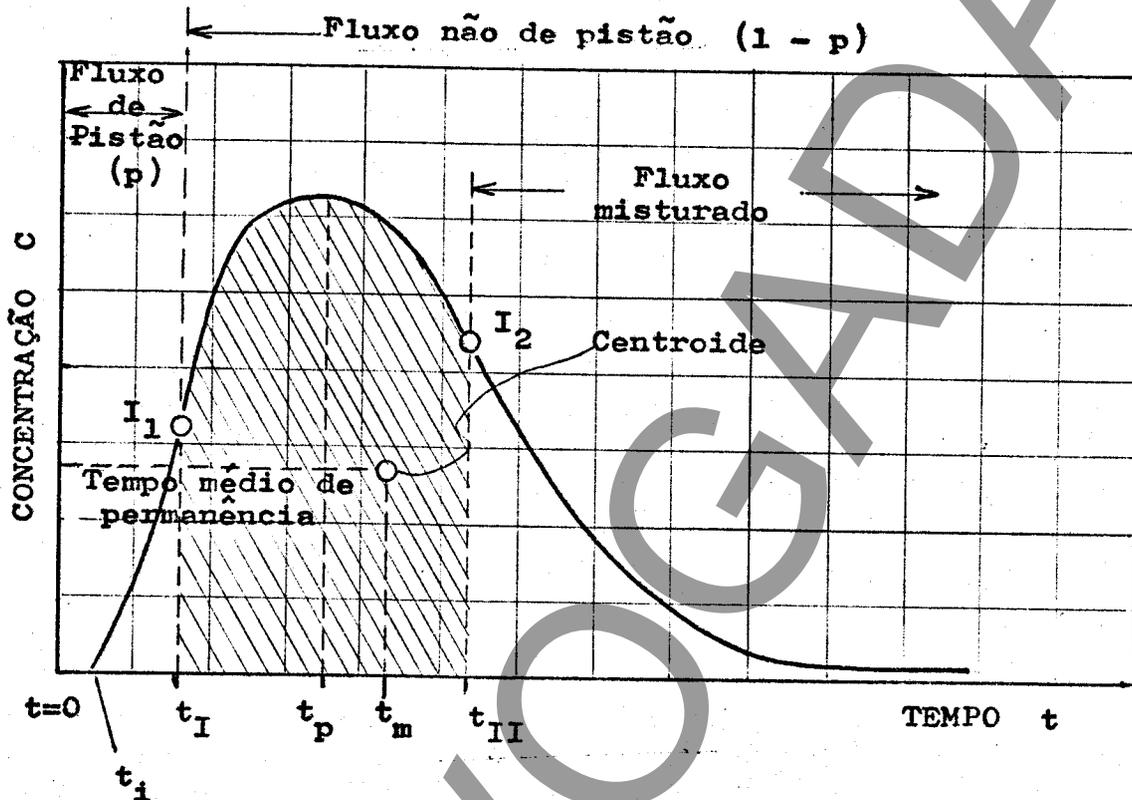


FIGURA 4 - Curva característica Concentração x Tempo

É fácil ver que:

$$p(1-m) + (1-p)(1-m) + m = 1$$

Nesta equação, o primeiro termo caracteriza a fração efetiva de fluxo de pistão. O segundo termo caracteriza o grau de mistura do flocculador.

O fluxo de pistão puro está representado pelo tempo em que demora em aparecer os primeiros sinais de traçador. Porém, considera-se que pode se tomar o instante correspondente à primeira inflexão da curva ( $t_I$ ).

A partir deste ponto o fluxo é considerado não de pistão.

Entre os pontos I e II o fluxo é de dois tipos combinados (parte de pistão e parte não de pistão).

A partir do ponto II o caráter do fluxo é misturado.

Tem sido propostos diversos sistemas analíticos para interpretar a curva Concentração - Tempo.

Aqui será desenvolvido o sistema apresentado por Wolf e Resnick.

Define-se a função:

$$F(t) = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) = 1 - e^{-\eta \cdot \frac{(t - \theta)}{t_0}}$$

na qual:  $\theta = p(1 - m)$  é o deslocamento da curva devido aos espaços mortos.

$\eta = \frac{1}{(1 - p)(1 - m)}$  e caracteriza a eficiência da mistura.

A transformação da expressão de  $F(t)$  da lugar a esta outra.

$$\log |1 - F(t)| = \frac{-\log e}{(1 - m)(1 - p)} \cdot \left|\frac{t}{t_0} - p(1 - m)\right|$$

O valor  $|\log e / (1 - m)(1 - p)|$  pode ser achado desenhando em papel mono-log, com o eixo das abscissas representando  $t/t_0$  e o das ordenadas, o valor  $|1 - F(t)|$ . (ver Figura 5)

Da representação resulta uma reta que forma um ângulo  $\alpha$  com a horizontal. Achou-se, experimentalmente, que essa reta tem uma declividade diferente de  $(-1)$  e não passa pela origem, como aconteceria, caso a mistura fosse perfeita. A equação anterior poderia então ser escrita assim:

$$\log |1 - F(t)| = -\text{tg } \alpha \left(\frac{t}{t_0} - \theta\right)$$

ter-se-ia:

$$\text{tg } \alpha = \frac{-\log e}{(1 - m)(1 - p)} = \frac{0,435}{\theta} \cdot \frac{-p}{(1 - p)}$$

O valor  $|1 - F(t)|$  é a fração do fluxo que sai do floculador num tempo maior que  $t_0$  e é igual a:

\*  $|1 - \frac{C}{C_0}|$  quando começa a aplicação do traçador (ramo ascendente da curva)

\*  $|\frac{C}{C_0}|$  quando é suspensa a aplicação do traçador (ramo descendente).

Da expressão de  $\text{tg } \alpha$  deduz-se o valor de  $p$

$$p = \frac{\theta \text{ tg } \alpha}{0,435 + \theta \text{ tg } \alpha}$$

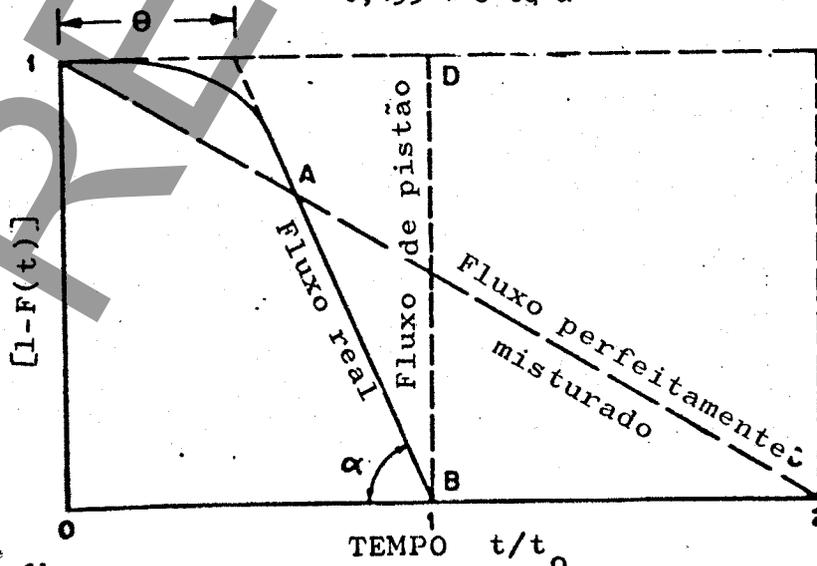


FIGURA 5 - Curvas dos fluxos

O valor  $|\theta = t/t_0|$  pode ser achado prolongando a linha AB, uma vez que, para:

$$\begin{aligned} |1 - F(t)| &= 1 && \text{teremos} \\ \log |1 - F(t)| &= 0 && \text{ou seja,} \\ - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{t}{t_0} - \theta \right) &= 0 \end{aligned}$$

Portanto, conhecendo os valores de  $C$  para uma sucessão de tempos, pode ser achado o valor de  $\alpha$ .

E achado  $\alpha$  podem se calcular os valores de  $\theta$ ,  $p$ , e  $m$ .

### 3.5.3 Procedimento

O ensaio consistirá em aplicar, na seção de entrada da unidade a ser ensaiada, uma substância determinada e analisar sua presença na seção de saída, em função do tempo.

A substância utilizada recebe o nome de traçador e deve ser aplicada num intervalo de tempo previamente estabelecido e numa concentração tal, que permita determinar quantitativamente sua presença na seção de saída, ao final de um certo tempo.

#### 3.5.3.1 Substâncias traçadoras

Diversas substâncias podem ser utilizadas como traçadores, numa ETA.

A título de exemplo podem se citar:

- sais de fluor;
- cloreto de sódio;
- azul de metileno;
- substâncias radiativas.

Para que uma substância possa ser usada para esta finalidade, deve satisfazer às seguintes condições:

- Não deve por em perigo a saúde pública, quando sua permanência atinja o efluente das unidades de filtração.

Particularmente, no caso de substâncias radiativas, elas devem ter uma "vida média" tal, que bem antes de atingir o sistema de distribuição, sua concentração tenha se reduzido a valores abaixo dos admitidos pelos padrões de potabilidade.

- Deve ser facilmente detectada ainda que em pequenas concentrações, com ajuda de equipamento disponível.
- A análise quantitativa de suas concentrações deve ser precisa, ainda para valores bem baixos.
- Não deve perder-se com o tempo, nem combinar-se com outras substâncias presentes na água;
- Deve ser barata.

#### 3.5.3.2 Seção de entrada à unidade de floculação

A definição de seção ou seções de entrada é dada em A-1 do Anexo A.

### 3.5.3.3 Seção de saída da unidade de floculação

Quando o floculador (ou floculadores) sejam seguidos de uma canalização para o transporte de água floculada, considerar-se-á seção de saída, aquela imediatamente a montante da entrada na canalização.

A seção de saída será escolhida de forma tal, que nela não haja fluxo de águas floculadas proveniente de outras unidades.

No caso de floculadores ligados diretamente aos seus respectivos decantadores, a comunicação entre ambos os tipos de unidades poderá se dar através de uma cortina perfurada, um vertedor submerso ou uma passagem ocupando toda a largura do decantador.

Nesses casos, a seção de saída deverá ser subdividida em sub-seções de igual área.

A sub-divisão caberá ao engenheiro encarregado dos ensaios, de modo que os resultados se tornem representativos.

No caso de ter-se a montante da cortina uma ante-câmara de água floculada, considerar-se-á seção de saída, a passagem entre o floculador e essa ante-câmara.

### 3.5.3.4 Aplicação do traçador na seção de entrada

Para efeito deste ensaio, o tempo  $t = 0$  corresponde ao instante em que começa a ser feita a aplicação do traçador.

O traçador deve ser aplicado, na seção de entrada, em forma instantânea ou durante um lapso igual a 3 (três) vezes o tempo de permanência teórica definido em A-2 do Anexo A.

A aplicação do traçador deve corresponder a uma concentração  $C$ , mantida constante ao longo desse lapso.

A concentração deve ser perfeitamente conhecida, através de cálculos, e deve referir-se à substância que está sendo realmente medida. Por exemplo, quando o traçador é um composto (como p.e. a sal comum -  $ClNa$ ) e o que se mede é um dos seus componentes no efluente, ( $Na$ , p.e.), deve determinar-se a sua proporção no composto utilizado, para achar a concentração real do ion aplicado.

A aplicação do traçador, quando feita durante um lapso, deve ser realizada em forma uniforme ao longo desse tempo.

### 3.5.3.5 Medição das concentrações do traçador na saída

Na seção de saída serão colhidas amostras a intervalos regulares de tempo, a partir do momento do começo da aplicação na entrada ( $t = 0$ ).

Será analisada a concentração do traçador em cada amostra, e simultaneamente serão anotados os resultados, em correspondência com os respectivos tempos.

Essas medições serão prolongadas até não se observar mais a presença do traçador nas amostras.

### 3.5.4 Resultados

O fluxo caracterizado pelos valores de  $\theta$ ,  $p$ ,  $(1 - p)$  e  $m$ , devem ser calculados conforme indicado em 3.5.2.

Os ensaios de traçadores devem ser analisados conjuntamente com os estudos do comportamento físico-químico do processo.

**Uma grande porcentagem de fluxo misturado e porcentagens igualmente grandes de espaços mortos serão indicadores de que a compartimentação é deficiente. Isto significa que boa parte do fluxo está permanecendo no floculador um tempo menor que o tempo médio teórico da permanência.**

Porém, isto não fornece informações sobre a eficiência do processo de coagulação-floculação. A ocasionalmente poderemos achar duas unidades que apresentem os mesmos valores para as porcentagens dos fluxos de pistão e mistura, porém com resultados bem diferentes no que diz respeito à floculação atingida.

A situação ideal seria termos uma porcentagem alta para o fluxo de pistão e um volume de espaços mortos bem reduzido.

Não se apresenta como possível estabelecer uma classificação de floculadores em função e o seu desempenho hidráulico caracterizado pelos valores de  $p$ ,  $(1 - p)$  e  $m$ .

#### 4 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES E SISTEMAS DE DECANTAÇÃO

##### 4.1 Ensaio de eficiência de uma unidade de decantação por comparação com a decantação estática

###### 4.1.1 Finalidade

Avaliar o comportamento de uma unidade de decantação, comparando a turbidez da água decantada com a obtida na decantação ideal em laboratório.

###### 4.1.2 Procedimento

O ensaio consistirá em colher uma amostra de água floculada na seção de entrada da unidade de decantação. A amostra será levada ao laboratório para medição da turbidez ao longo do tempo a fim de ser traçada a curva da turbidez em função da velocidade de decantação. Por outro lado, deverá ser colhida uma amostra de água decantada na seção de saída da unidade de decantação.

A turbidez desta amostra deverá ser comparada com a turbidez medida no laboratório correspondente à velocidade de sedimentação definida pela taxa superficial aplicada.

###### 4.1.2.1 Amostragem e medição na seção de entrada

Usando-se a técnica descrita em B-1 do Anexo B, será colhida uma amostra na seção de entrada da unidade de decantação definida segundo o ítem A-3.1 do Anexo A.

O frasco com a amostra será levado imediatamente para o laboratório, utilizando a técnica descrita na norma CETESB L5.006 - "Floculação - Método de Ensaio", serão medidos os valores da turbidez para se obter a curva turbidez remanescente - velocidade de sedimentação.

###### 4.2.1.2 Amostragem e medição na seção de saída

Após um tempo igual ao tempo teórico de permanência definido em A-3.3 do Anexo A e contado a partir do momento da coleta da primeira amostra será colhida uma amostra de água decantada, na seção de saída, e medida sua turbidez.

No caso em que na saída exista um sistema múltiplo de calhas ou tubulações coletoras, deverão ser colhidas amostras em cada uma delas. A turbidez a ser comparada com a medida de laboratório será a média dos valores de turbidez individuais.

###### 4.1.3 Resultados

A taxa superficial é definida pelo quociente entre a vazão que passa pela unidade de decantação e a área superficial da mesma.

A eficiência da unidade de decantação será definida pela expressão:

$$\eta = \frac{T_E - T_S}{T_E - T_L} \times 100$$

Onde:  $\eta$  = eficiência, em %

$T_E$  = turbidez na água na entrada da unidade

$T_S$  = turbidez da água na saída da unidade

$T_L$  = turbidez da água, medida no laboratório, correspondente à taxa superficial da unidade de decantação. Se  $T_L > 5uT$ , adota-se  $T_L = 5uT$ .

$\eta$ (%)	Conceito
>90	Muito Bom
70 - 90	Bom
50 - 70	Regular
<50	Mau

#### 4.2 Avaliação do sistema de decantação quanto ao grau de semelhança no comportamento de suas unidades

##### 4.2.1 Finalidade

Avaliar o sistema de decantação pela comparação das eficiências das unidades entre si.

##### 4.2.2 Procedimento

O ensaio descrito em 4.1 será realizado simultaneamente em cada um dos decantadores da ETA.

##### 4.2.3 Resultados

Determina-se a diferença:

$$\Delta = \eta_{\max} - \eta_{\min}$$

Onde:  $\Delta$  = diferença de eficiências em %

$\eta_{\max}$  = eficiência da unidade que apresentou o melhor desempenho durante o ensaio, em %

$\eta_{\min}$  = eficiência da unidade que apresentou o menor desempenho durante o ensaio, em %

##### 4.2.4: Interpretação dos resultados

O sistema de decantação será classificado no que se refere ao grau de semelhança no comportamento de suas unidades de acordo com o critério abaixo:

$\Delta$	Conceito
$\leq 10\%$	Bom
$> 10\%$	Mau

### 4.3 Avaliação do sistema de mistura, floculação e decantação

#### 4.3.1 Finalidade

Avaliar a eficiência do sistema de mistura, floculação e decantação por comparação entre o processo na ETA e o processo em laboratório.

#### 4.3.2 Fundamentação do método

Os processos sequenciais de mistura, floculação e decantação realizados em laboratório, representarão o melhor tratamento possível da água a montante dos filtros. A comparação entre o tratamento assim obtido com aquele realizado na ETA fornecerá uma medida relativa da capacidade do sistema de mistura, floculação e decantação de atingir as condições ideais.

#### 4.3.3 Procedimento

##### 4.3.3.1 Amostragem de água bruta

Será colhida uma amostra de 2 l de água bruta, no mesmo local que se colheu a amostra indicada em 2.1.3.1.

##### 4.3.3.2 Mistura, floculação e decantação em laboratório

A amostra colhida será levada ao laboratório e colocada em um frasco dos utilizados nos ensaios de floculação.

Aplica-se a quantidade de produtos químicos correspondente à dosagem da ETA. A mistura será feita através de agitação intensa, com gradiente de velocidade mínima de 500 s<sup>-1</sup>.

Em seguida procede-se como em 3.1.3.2 para a pesquisa da melhor floculação possível. A água floculada dessa forma será então decantada, levantando-se a curva da turbidez em função da velocidade de decantação. Determina-se então o valor (T<sub>L</sub>) da turbidez correspondente à velocidade de sedimentação definida pela taxa superficial do sistema de decantação da ETA. Se T<sub>L</sub> for maior do que 5 UT, adota-se T<sub>L</sub> = 5 UT.

##### 4.3.3.3 Amostragem e medição na saída do decantador

Durante a realização do ensaio de laboratório, toma-se uma amostra de água decantada na ETA de acordo com o estabelecido em A-3.2 do Anexo A. Mede-se imediatamente o valor da turbidez T<sub>E</sub>.

##### 4.3.3.4 Resultados

A eficiência do tratamento realizado a montante dos filtros (η<sub>MFD</sub>) é determinada pela seguinte expressão:

$$\eta_{MFD} = \frac{T_L}{T_E} \times 100 (\%)$$

Onde: T<sub>L</sub> = valor da turbidez da água processada em laboratório em UT

T<sub>E</sub> = valor da turbidez da água na saída do decantador em UT

##### 4.3.3.5 Interpretação dos resultados

Considerando o valor de η<sub>MFD</sub>, o conjunto sistema de mistura, sistema de floculação e sistema de decantação será classificado de acordo com o critério a seguir:

$\eta_{MFD}$ (%)	Conceito
>90	Muito Bom
80 - 90	Bom
60 - 80	Regular
<60	Mau

#### 4.4 Levantamento topográfico dos lodos

##### 4.4.1 Finalidade

Este ensaio tem por finalidade determinar a distribuição dos lodos sedimentados num decantador, sendo que seus resultados podem ser usados para:

- confirmar e completar as conclusões tiradas com os ensaios da avaliação de eficiência hidráulica;
- concluir a respeito da eficiência da zona de sedimentação propriamente dita e das características de sedimentação dos flocos.

##### 4.4.2 Campo de aplicação

Este ensaio aplica-se a decantadores do tipo clássico, de fluxo horizontal. Quando o decantador possuir removedor mecânico de lodo o mesmo deverá ser mantido fora de funcionamento durante um tempo suficiente para que ocorra a acumulação de lodo no seu interior.

**NOTA:** Devem ser tomados cuidados especiais quando da recolocação em serviço do removedor mecânico, afim de evitar possíveis esforços anormais resultantes do excesso de acúmulo de lodo.

##### 4.4.3 Aparelhagem

- corda ou cabo leve de aço, de comprimento maior que a largura do decantador, para deslocar o barco no sentido transversal do decantador;
- barca ou balsa com capacidade para 2 pessoas;
- vara rígida e leve, de comprimento maior que a profundidade do decantador, possuindo numa extremidade, um disco de 15 cm de diâmetro, pintado de branco, e colocado num plano perpendicular à vara. A vara será graduada, com divisões de 5 em 5 cm, numerada cada 10 cm e com marcas e numerações maiores a cada metro.

**NOTA:** Afim de facilitar o manuseio da vara e do disco no meio líquido é recomendável que ambos sejam feitos de material de densidade ligeiramente superior à da água.

##### 4.4.4 Procedimento

###### 4.4.4.1 Parada do decantador

Doze horas antes do início do ensaio, a unidade de decantação deve ser retirada de operação, para permitir a sedimentação dos lodos e uma certa compactação dos mesmos.

###### 4.4.4.2 Traçado de coordenadas

Divide-se o lado maior em 20 partes iguais e usa-se a medida resultante ou a mais

próxima inferior de maneira a dividir o lado menor em um número igual de partes.

#### 4.4.4.3 Levantamento topográfico

Doze horas após a parada do decantador, será determinada a profundidade da superfície do lodo em todos os pontos correspondentes às coordenadas marcadas nos lados da unidade.

Para determinar a profundidade do lodo num determinado ponto, será introduzida lentamente a vara, em posição vertical, até que o disco branco desapareça, o que acontecerá após ele atravessar a superfície do lodo.

Nesse instante, um operador lerá a profundidade (h) referida à superfície da água e anotará o valor numa planilha previamente preparada.

Nessa planilha, cada ponto a ser levantado será representado por um número e uma letra (exemplo 7B).

#### 4.4.4.4 Cotas dos pontos em relação a um plano de referência

A fim de cotar-se a posição de cada ponto em relação a um plano de referência usa-se a seguinte expressão:

$$C = C_p - h$$

Onde: C = cota de um ponto qualquer em relação ao plano de referência, em m;  
 $C_p$  = cota do plano de referência adotado em relação à superfície da água em m, (devendo  $C_p$  ser maior ou igual a maior profundidade do decantador para evitar-se cotas negativos);  
 h = profundidade de um ponto, em relação ao nível d'água, em m.

#### 4.4.5 Resultados

Valendo-se da localização planimétrica dos pontos e dos valores de C correspondentes a cada um, serão desenhadas as curvas de nível e todas as seções longitudinais e transversais, seções estas resultantes da subdivisão do decantador.

A análise desta configuração poderá dar indicações de zonas mortas e zonas de correntes preferenciais.

Normalmente, um decantador que opere de forma correta, a maior parte do lodo será acumulada no primeiro terço da unidade.

Uma topografia que revele disposição de lodo mais ou menos uniforme ao longo do decantador, poderá indicar uma pobre floculação (flocos poucos densos) ou uma velocidade horizontal excessiva.

### 4.5 Avaliação do desempenho hidráulico de uma unidade de decantação através da aplicação de substâncias traçadoras

#### 4.5.1 Finalidade do ensaio

Este ensaio visa verificar o desempenho de um decantador do ponto de vista hidráulico, analisando como ele se comporta, em relação às condições ideais, segundo as quais todas as partículas permaneceriam retidas o mesmo tempo. Esta situação configuraria o chamado "Fluxo de Pistão".

Num decantador real, esta situação não é atingida: é possível observar zonas mortas e regiões de corrente preferencial. Quanto maiores são as intensidades destes fenômenos, mais se afasta o decantador da situação ideal e menor é sua eficiência.

A situação oposta à de Fluxo de Pistão é chamada de Fluxo Perfeitamente Misturado e se apresenta acompanhada de Curto-circuitos e Espaços Mortos.

A determinação de Índices que caracterizem numericamente estes fenômenos permitirá definir a forma como um decantador está se comportando.

#### 4.5.2 Fundamentação teórica

É semelhante ao apresentado no Ítem 3.5.2.

#### 4.5.3 Procedimento do ensaio

O ensaio consistirá em aplicar, na seção de entrada da unidade a ser ensaiada, uma substância determinada e analisar sua presença na seção de saída, em função do tempo.

A substância utilizada recebe o nome de traçador e deve ser aplicada num intervalo de tempo previamente estabelecido e numa concentração tal, que permita determinar quantitativamente sua presença na seção de saída, ao fim de um certo tempo.

##### 4.5.3.1 Seção de entrada ao decantador

Para fins deste ensaio, definiu-se a seção de entrada ao decantador, como a seção com a qual ele se comunica com a (as) unidades (s) de processo que a precede (m) ou com a canalização de água floculada que a alimenta.

Poderá haver decantadores com várias seções de entrada.

##### 4.5.3.2 Seção de saída do decantador

A seção de saída correspondente à definição do Ítem A-3.2 do Anexo A.

##### 4.5.3.3 Aplicação do traçador na seção de entrada

Valem aqui os mesmos conceitos do Ítem 3.5.3.4, acrescentando-se que, no caso de existir diversas seções de entrada, o traçador deve ser aplicado em todas elas em forma simultânea e na mesma concentração.

##### 4.5.3.4 Medição das concentrações do traçador na saída

A medição das concentrações do traçador na seção (ou nas seções) de saída será feita na forma descrita no Ítem 3.5.3.5.

#### 4.5.4 Resultados

Ver Ítem 3.5.4 do ensaio 3.5.

Não há elementos que permitam estabelecer uma classificação de decantadores em função do seu desempenho hidráulico, caracterizado pelos valores das porcentagens de Fluxo de Pistão, Fluxo Misturado e Espaços Mortos.

Quanto maior o Fluxo de Pistão e menores os Espaços Mortos, melhor será o desempenho da unidade.

Valores altos do Fluxo Misturado e dos Mortos indicarão a existência de deficiências a serem corrigidas, nos sistemas de entrada e saída.

A repetição dos ensaios após a realização de reformas, permitirá avaliar os resultados das modificações introduzidas.

## 5 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES E SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

### 5.1 Avaliação da eficiência de uma unidade de filtração, através da comparação com filtro piloto

#### 5.1.1 Finalidade

Avaliar a eficiência de uma unidade de filtração por comparação entre o processo na ETA e o processo em filtro-piloto.

#### 5.1.2 Fundamentação do método

A filtração da água decantada na ETA, é feita através de um filtro-piloto construído com o mesmo material filtrante da unidade de filtração, conforme indicado na Fig. 6.

As diferenças na qualidade da água filtrada representarão deficiências no comportamento da unidade de filtração, em relação às condições de funcionamento vigentes.

#### 5.1.3 Procedimento

##### 5.1.3.1 Instalação do filtro-piloto

O filtro-piloto deverá ser instalado conforme Figura 6.

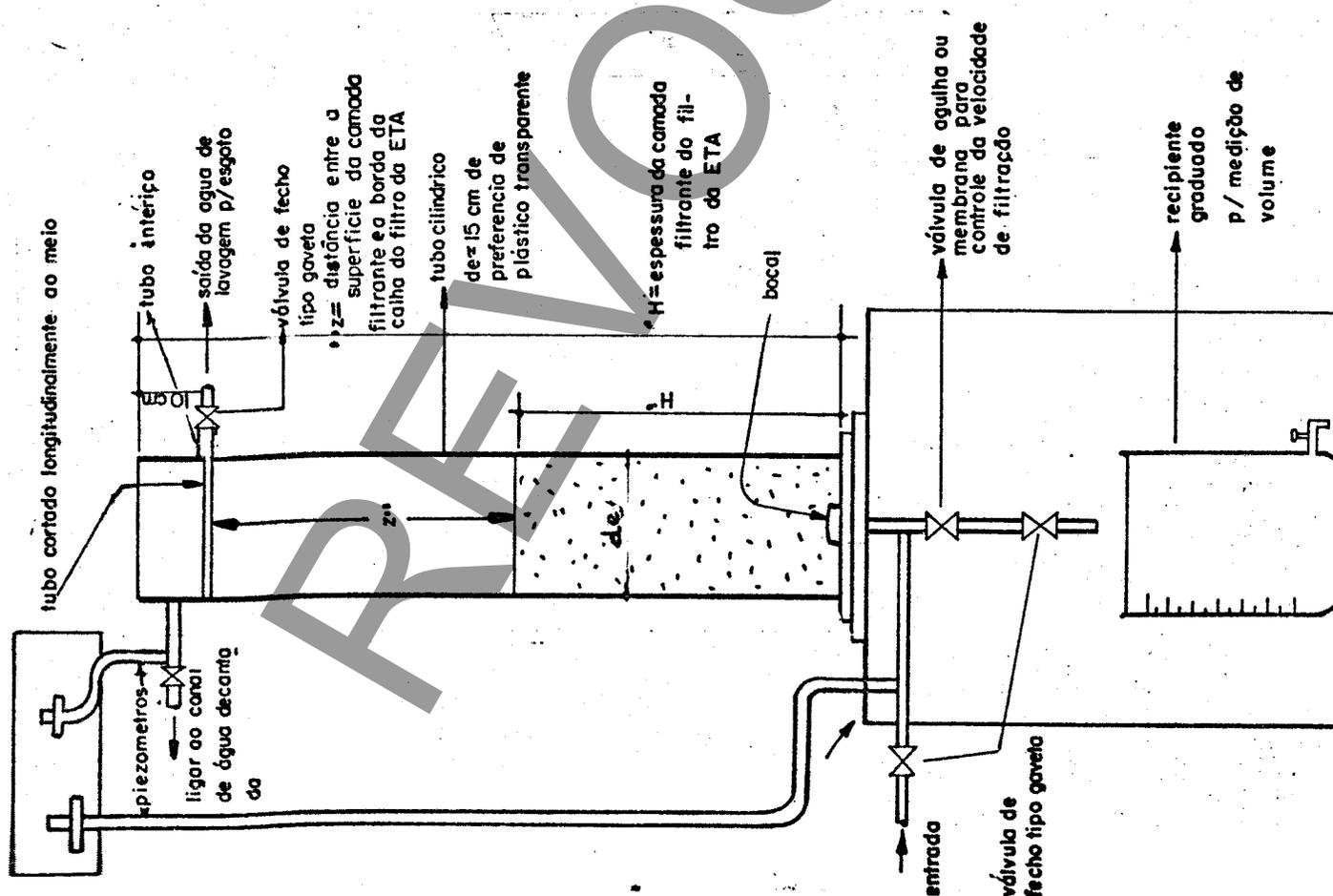


FIGURA 6 - Esquema do filtro-piloto

A alimentação do filtro-piloto deverá ser feita através de tomada direta do canal de água decantada da ETA de modo a tornar possível o funcionamento simultâneo do filtro-piloto e da unidade de filtração em ensaio.

A vazão através do filtro-piloto deverá ser ajustada, de forma a igualar o valor da taxa de filtração na ETA.

#### 5.1.3.2 Funcionamento simultâneo do filtro-piloto e da unidade de ensaio

O ensaio consiste em fazer funcionar simultaneamente o filtro-piloto e a unidade de ensaio, durante uma carreira padrão de filtração, de 18 horas para filtro de areia e de 30 horas para areia e antracito.

Serão determinadas de hora em hora e simultaneamente os valores da turbidez dos dois efluentes e dos valores da perda de carga correspondentes.

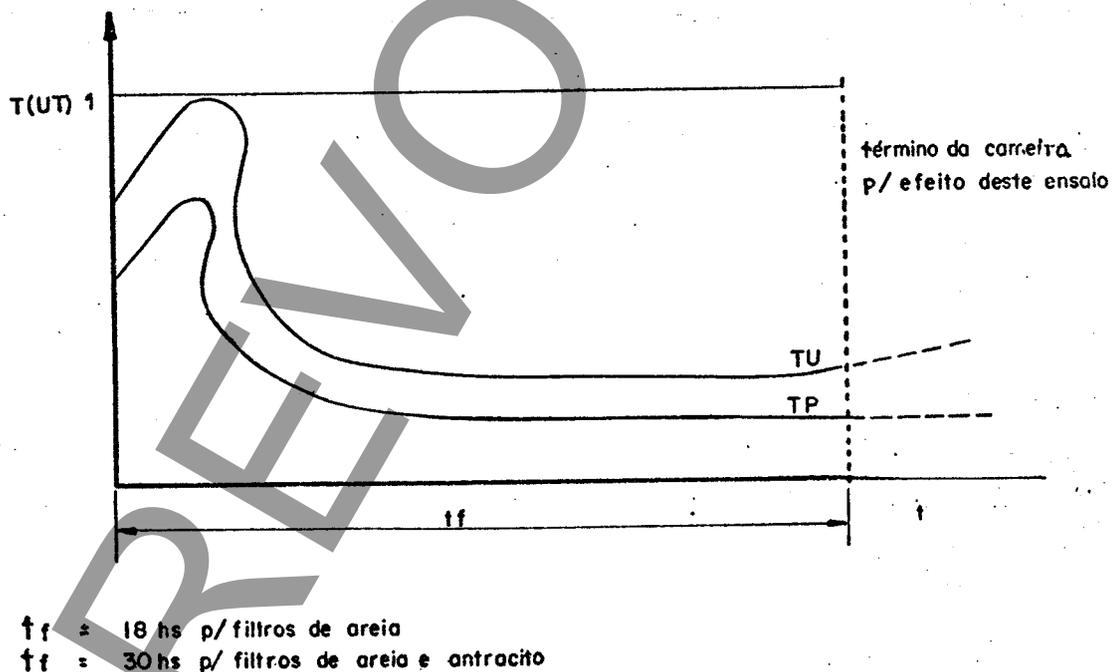
Dessa forma traçam-se as curvas  $T_p \times t$  e  $T_u \times t$  (Ver Figura 7).

Onde:

$t$  = tempo

$T_p$  = turbidez do efluente do filtro-piloto em UT.

$T_u$  = turbidez do efluente da unidade em UT.



**FIGURA 7** - Curvas turbidez-tempo do efluente da unidade e do filtro-piloto

#### 5.1.4 Resultados

A eficiência da unidade de filtração será definida pela expressão:

$$\eta_F = \frac{SP}{SU} \times 100 (\%)$$

Onde:

$\eta_F$  = eficiência em %

SP = área da Figura 7 compreendida entre o eixo das abcissas e a curva  $T_p$

SU = área da Figura 7 compreendida entre o eixo das abcissas e a curva TU.

**NOTA:** Deverá ser calculada também a área  $S_1$  da Figura 7, compreendida entre o eixo das abcissas e a reta horizontal correspondente ao valor da turbidez do padrão de potabilidade.

Caso  $SP > S_1$ , a eficiência será calculada através da expressão:

$$\eta_F = \frac{S_1}{SU} \times 100 (\%)$$

Considerando o valor de  $\eta_F$ , a unidade de filtração será classificada de acordo com o critério abaixo:

$\eta_F$ (%)	Conceito
>90	Muito bom
80 - 90	Bom
60 - 80	Regular
<60	Mau

Caso ocorra o previsto na Nota acima, tal situação denotará incompatibilidade entre a taxa de filtração, a granulometria da areia e a qualidade da água decantada e o padrão de potabilidade.

#### 5.2 Avaliação de um sistema de filtração quanto ao grau de semelhança no comportamento das suas unidades.

Entre o minuto 5 e o minuto 30 serão colhidas amostras cada 5 minutos.

Após o minuto 30, as amostras serão colhidas a intervalos de uma hora até o fim da carreira do filtro. Os valores horários da turbidez podem ser retirados do boletim diário.

#### 5.4.2 Resultados

Os resultados serão representados graficamente num sistema de coordenadas, colocando-se os valores correspondentes aos tempos de operação do filtro no eixo das abscissas e os valores da turbidez do efluente no eixo das ordenadas.

A Figura 8 representa uma curva característica das variações de turbidez ao longo da carreira de filtração.



FIGURA 8 - Curva turbidez x tempo

Observa-se que no início da carreira há ocorrência de valores de turbidez relativamente altos e em seguida uma diminuição.

Após uns 30 minutos a turbidez se estabiliza, mantendo-se num nível baixo, quase constante, durante um longo período.

Após muitas horas de operação a turbidez do efluente começa a aumentar gradualmente até atingir limites incompatíveis com os padrões de água filtrada. Nesse momento o filtro deverá ser lavado.

### 5.5 Desenvolvimento da perda de carga de unidades de filtração

#### 5.5.1 Finalidade do ensaio

Este ensaio visa estabelecer a curva de desenvolvimento da perda de carga total de um filtro, ao longo da carreira de filtração.

- c) com a válvula efluente fechada, encher o filtro até seu nível normal;
- d) abrir a válvula efluente;
- e) cronometrar o tempo "t" necessário para a água baixar de uma distância "d" devendo esta distância "d" se situar acima das calhas. A distância "d" adotada em geral é de 20 cm.

#### 5.3.4 Resultados

A taxa de filtração será calculada pela expressão:

$$TF = \frac{d}{t} \cdot 86.400$$

Onde:

TF = taxa de filtração, em  $m^3/m^2$  x dia

d = distância que baixou o nível do filtro no tempo "t", em m

t = tempo, em s.

A taxa de filtração obtida no ensaio deverá ser comparada com a especificação da taxa, para o filtro em ensaio.

NOTA: Para sistemas de filtração que funcionam com taxa declinante deve-se determinar para cada unidade a taxa máxima e a taxa mínima.

### 5.4 Desenvolvimento da turbidez do efluente de unidades de filtração

#### 5.4.1 Finalidade do ensaio

Estabelecer a curva do desenvolvimento da turbidez do efluente ao longo do tempo.

#### 5.4.2 Procedimento do ensaio

O ensaio consistirá em medir a turbidez do efluente a intervalos regulares, a partir do início da carreira de filtração, até o final dela. Posteriormente re apresentar graficamente os resultados e analisar o desempenho do filtro.

##### 5.4.2.1 Coleta de amostras do efluente

As amostras do efluente serão colhidas num ponto do sistema de saída, antes que o fluxo dessa unidade de filtração se misture com os de outras unidades.

A primeira amostra será tomada logo após o reinício da operação de filtração.

Durante os primeiros 5 minutos serão tomadas amostras a intervalos de 1 minuto.

Entre o minuto 5 e o minuto 30 serão colhidas amostras cada 5 minutos.

Após o minuto 30, as amostras serão colhidas a intervalos de uma hora até o fim da carreira do filtro. Os valores horários da turbidez podem ser retirados do boletim diário.

#### 5.4.2 Resultados

Os resultados serão representados graficamente num sistema de coordenadas, colocando-se os valores correspondentes aos tempos de operação do filtro no eixo das abscissas e os valores da turbidez do efluente no eixo das ordenadas.

A Figura 8 representa uma curva característica das variações de turbidez ao longo da carreira de filtração.



FIGURA 8 - Curva turbidez x tempo

Observa-se que no início da carreira há ocorrência de valores de turbidez relativamente altos e em seguida uma diminuição.

Após uns 30 minutos a turbidez se estabiliza, mantendo-se num nível baixo, quase constante, durante um longo período.

Após muitas horas de operação a turbidez do efluente começa a aumentar gradualmente até atingir limites incompatíveis com os padrões de água filtrada. Nesse momento o filtro deverá ser lavado.

### 5.5 Desenvolvimento da perda de carga de unidades de filtração

#### 5.5.1 Finalidade do ensaio

Este ensaio visa estabelecer a curva de desenvolvimento da perda de carga total de um filtro, ao longo da carreira de filtração.

Observa-se que no início da carreira há uma perda de carga  $\Delta h_0$ , que corresponde ao filtro limpo.

A medida que passa o tempo, essa perda de carga vai aumentando em forma regular, resultando uma curva suave, sem pontos angulosos, até que ela atinge um valor elevado, o que faz com que o filtro deva ser lavado novamente.

A declividade da curva vai aumentando lentamente.

Uma curva onde se observe uma mudança brusca do valor  $\Delta h$ , poderá indicar que nesse instante a vazão do filtro sofreu uma modificação importante. (curva 2 da Fig. 9).

Tal seria o caso de uma ETA com um número de filtros muito reduzido (2 ou 3) e na qual uma das unidades estivesse sendo ensaiada, quando em determinado instante outra unidade é lavada.

Sem considerar esse fenômeno, que nada tem a ver com um correto desempenho do filtro, há outro resultado a considerar; é o caso da curva apresentar uma configuração como a indicada na Figura 10.

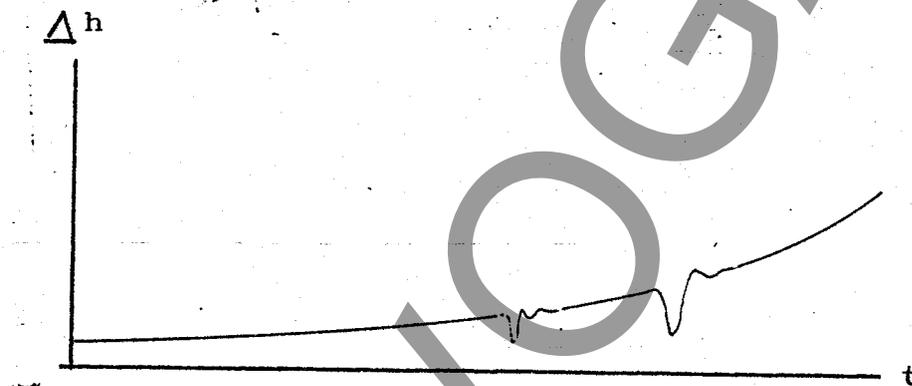


FIGURA 10 - Curva de perda de carga com variações súbitas

Súbitas variações da perda de carga serão indicação de que o leito filtrante tem se deteriorado com o correr do tempo, produzindo-se então, súbitos atravessamentos em locais preferenciais.

## 5.6 Determinação da taxa de lavagem em unidades de filtração

### 5.6.1 Finalidade do ensaio

Determinar a taxa de lavagem de unidades de filtração.

### 5.6.2 Aparelhagem

- a) régua graduada em cm para ser fixada a parede do filtro;
- b) cronômetro para medição do tempo.

### 5.7.1 Finalidade

Determinar a expansão do leito filtrante, quando da operação da lavagem em contra-corrente.

### 5.7.2 Aparelhagem necessária

Dispositivo indicado na Figura 11, que consiste de um vergalhão de aço onde são engastados receptáculos distanciados de 0,05 m e que se rá fixado ao filtro por intermédio de contrapeso.

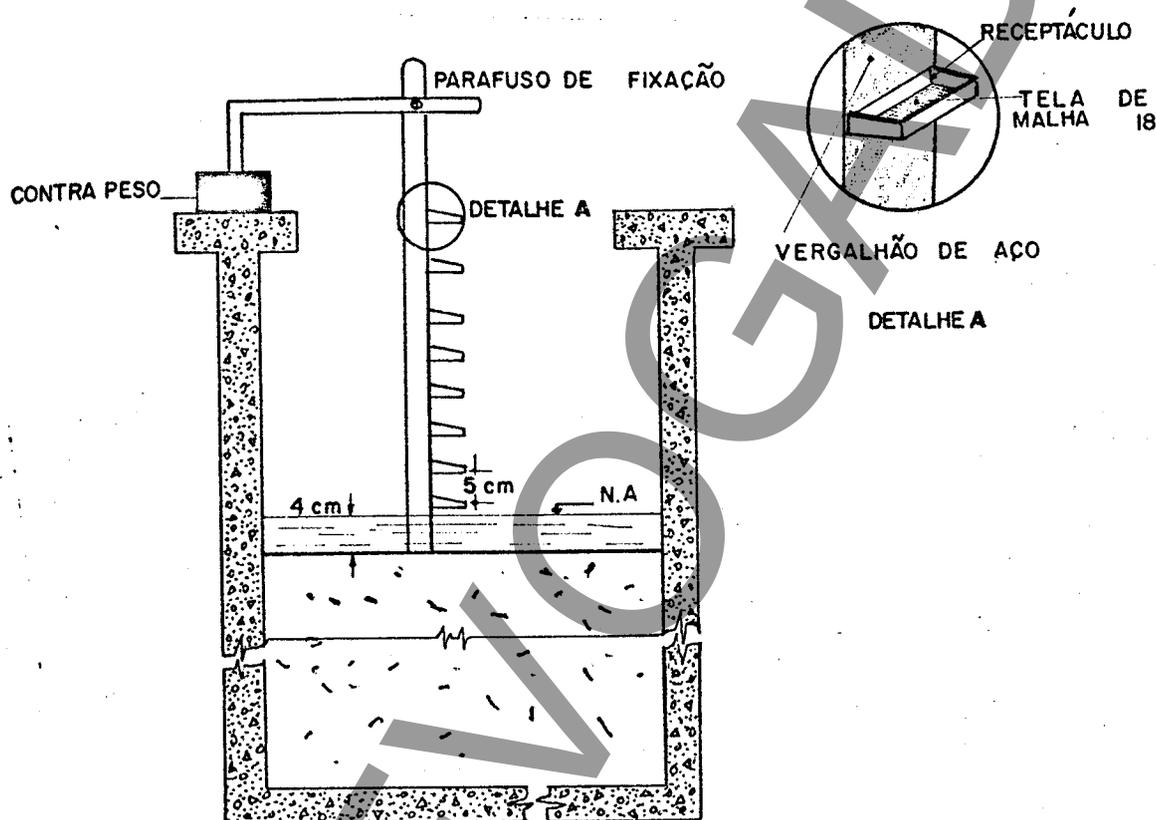


FIGURA 11 - Dispositivo para medição da expansão do leito filtrante

### 5.7.3 Execução

- fixa-se ao filtro o dispositivo indicado na Figura 11;
- faz-se a lavagem normalmente;
- após o término da lavagem, verifica-se qual o mais alto receptáculo, que contém material filtrante;
- determina-se a distância "d", deste receptáculo a superfície superior do leito filtrante em repouso.

#### 5.7.4 Resultados

A expansão do leito filtrante será calculado pela expressão:

$$E = \frac{d}{L} \times 100$$

Onde:

E = expansão do leito filtrante, em %

d = distância de expansão, em cm

L = espessura do leito filtrante em repouso, em cm

### 5.8 Determinação da duração da lavagem em função da turbidez do efluente da lavagem

#### 5.8.1 Finalidade

Determinar a duração da lavagem de um filtro em função da turbidez do efluente de lavagem.

#### 5.8.2 Execução

- a) iniciar a lavagem e colher de minuto a minuto uma amostra do efluente da lavagem;
- b) medir a turbidez de cada amostra;
- c) traçar a curva turbidez x tempo e determinar nesta curva o tempo (tp) a partir do qual a redução de turbidez não é mais significativa.

#### 5.8.3 Resultados

Compara-se o tempo "tp" com o tempo "tl" normalmente utilizado na lavagem do filtro.

Valores de "tl" inferiores a "tp", indicam uma lavagem insuficiente e consequentemente redução na carreira de filtração e a formação de bolas de lodo.

Valores de "tl" superiores a "tp" indicam um desperdício de água e uma sobrecarga mais prolongada nos demais filtros do sistema.

### 5.9 Levantamento topográfico da camada suporte

#### 5.9.1 Finalidade

A finalidade do ensaio é determinar a configuração da superfície da camada suportes de filtros, mediante sondagens da mesma.

### 5.9.2 Aparelhagem

Sonda, constituída de um vergalhão de 12 mm de diâmetro, graduado de 5 em 5 cm, com uma parte plana e a outra munida de alça.

NOTA: O comprimento da sonda será tal que permita a um operador de pé, nas ca lhas de lavagem ou na falta destas, no passadiço do filtro, alcançar com a referida sonda, a camada suporte.

### 5.9.3 Execução

- a) fechar o afluente e o efluente, deixando o nível d'água acima da su perfície do leito de areia;
- b) reticular a superfície do leito de areia em quadrados de aproximada mente 0,5m de lado;
- c) cravar a sonda em cada vêrtice desses quadrados, até que a ponta da mesma toque a camada suporte;
- d) anotar em cada ponto sondado a altura da camada suporte em relação ao nível d'água do filtro (plano de referência).

### 5.9.4 Resultados

Os resultados das sondagens serão representados mediante o desenho das curvas de nível da superfície da camada suporte.

A configuração não plana da superfície da camada suporte indicará problemas nesta camada.

## 5.10 Avaliação do desempenho de unidades de filtração através da verificação da presença de bolas de lodo

### 5.10.1 Finalidade do ensaio

É a determinação da presença de bolas de lodo no meio filtrante.

### 5.10.2 Aparelhagem

- a) amostrador, constituído de um cilindro metálico ôco, com diâmetro in terno de 75 mm e altura de 150 mm, munido de cabo para efetuar a cõ lheita da amostra, como mostrado na Figura 12;
- b) dois baldes com capacidade aproximada de 20 litros cada;
- c) peneira de malha nº 10 (2 mm de abertura), para separação das bolas de lodo.

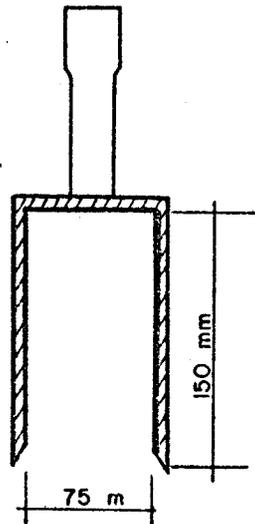


FIGURA 12 - Amostrador

### 5.10.3 Execução do ensaio

- a) efetuar a lavagem do filtro normalmente;
- b) após o término da lavagem abrir a válvula do efluente e aguardar que o nível da água desça até aproximadamente 20 cm abaixo da superfície superior do leito filtrante;
- c) escolher "n" pontos na superfície do leito filtrante onde existe maior probabilidade de formação de bolas de lodo.

NOTA: Recomenda-se que "n" não seja inferior a 5 em cada câmara.

- d) em cada ponto escolhido, cravar o amostrador verticalmente até a introdução total do cilindro, após o que o mesmo é virado até que seu cabo fique quase horizontal, retirando-o cuidadosamente, para evitar que se perca o material contido no seu interior;
- e) recolher o material nos "n" pontos em um balde;
- f) proceder a separação da areia das bolas de lodo o que é feito colocando-se pequenas porções de amostra na peneira mantendo-as semi-mergulhadas em um balde cheio de água; balançar a peneira suavemente de modo que os grãos de areia passem através da mesma sem desagregar as bolas de lodo que ficam retidas.

### 5.10.4 Resultados

A presença de bolas de lodo indicará mau desempenho do sistema de lavagem.

O leito filtrante será classificado de acordo com o critério abaixo:

leito com presença de bolas de lodo	Mau
leito sem presença de bolas de lodo	Bom

## 5.11 Determinação da granulometria da areia de unidades de filtração

### 5.11.1 Finalidade

Determinar a granulometria da areia do leito filtrante de unidades de filtração.

### 5.11.2 Aparelhagem

A mesma prevista no item 6.4.3.1 da norma CETESB M4.500 - Material Filtrante - Areia.

### 5.11.3 Amostra para ensaio

A amostra é colhida, no leito filtrante da unidade em ensaio, com um amostrador igual ao especificado no item 5.10.2 a, e de forma idêntica ao prescrito em 5.10.3, sendo que o número "n" de pontos de amostragem, será tal que a quantidade final colhida seja aquela indicada pelo ensaio da norma CETESB M4.500, item 6.4.3.2.

### 5.11.4 Execução do ensaio

A amostra será ensaiada conforme previsto no item 6.4.3 da norma CETESB M4.500, "Ensaio Granulométrico".

### 5.11.5 Resultados

Os resultados serão calculados conforme item 6.4.3.4 da norma M4.500.

## 5.12 Determinação da amplitude de oscilação da perda de carga em unidades de filtração.

### 5.12.1 Finalidade do ensaio

Determinar a amplitude da oscilação da perda de carga de um filtro, decorrentes da oscilação da vazão da água nas tubulações do efluente.

## 5.12.2 Execução do ensaio

### 5.12.2.1 Lavagem do filtro

O filtro será lavado como normalmente; e as oscilações serão registradas ao longo da carreira de filtração.

### 5.12.2.2 Determinação das amplitudes das oscilações

A cada duas horas deve ser determinada a amplitude máxima das oscilações.

Para tanto, nos instantes 2,4,6 h, etc, coloca-se um papel por trás do piezômetro, e, durante um minuto um operador acompanha, com um lápis, as oscilações, obtendo-se assim nesse período a máxima amplitude da oscilação da perda de carga. Registrando-se também o valor médio da perda de carga, nesse período.

### 5.12.3 Resultados

O resultado de cada determinação realizada nos instantes 2,4,6 h ...etc, será expresso em percentagem da perda de carga através da expressão:

$$R = \frac{a \times 100}{hf}$$

Onde:

R = valor da amplitude da oscilação em relação à perda de carga, em %

a = amplitude máxima da oscilação da perda de carga, obtida em uma determinação, em mm

hf = perda de carga registrada na mesma determinação, em mm.

Uma vez calculada R', para as diversas determinações, obtém-se o comportamento dessas oscilações ao longo da carreira de filtração.

### 5.12.4 Interpretação dos resultados

A influência negativa das oscilações na eficiência de remoção do material em suspensão será classificada pelo critério abaixo:

Valor de R	influência
< 1	desprezível
> 4	grande

### 5.13 Determinação do consumo de água de lavagem

#### 5.13.1 Finalidade

Determinar o consumo de água de lavagem referido aos volumes filtrados.

#### 5.13.2 Procedimento

Para esta determinação será necessário calcular, para um período de 30 dias de operação, os volumes de água filtrados e os usados para lavagens dos filtros.

##### 5.13.2.1 Determinação dos volumes filtrados

Os volumes filtrados serão calculados a partir do volume de água bruta tratado na ETA durante o período, do qual serão descontados, os volumes de água despejados no esgoto quando da limpeza de decantadores, flocculadores, etc... No caso de estações que possuam sistemas automáticos de descarga de lodo dos decantadores, o cálculo dos volumes perdidos será feito em função do número de descargas e do volume despejado em cada uma delas.

Quando se tratar de decantadores de limpeza não automática, mas descontínua e realizada manualmente, os volumes perdidos serão calculados em função do número total de unidades esvaziadas e dos volumes de água não filtrada utilizados em suas limpezas.

Os volumes de água bruta tratados no período, serão obtidos dos registros do aparelho totalizador, caso a ETA possua esse aparelho. No caso da inexistência deste aparelho, os volumes de água serão obtidos integrando-se os registros de vazão ao longo do período.

##### 5.13.2.2 Determinação dos volumes gastos para lavagem

No caso de ETASs que possuam registro totalizador dos volumes gastos para lavagem, a informação será colhida diretamente dos dados registrados.

Caso contrário, os volumes gastos deverão ser calculados com base nos registros do boletim dos filtros, em função do número de lavagens para cada filtro, a duração de cada lavagem e a vazão usada em cada caso.

#### 5.13.3 Resultados

O consumo de água de lavagem será calculado em porcentagem, através da seguinte expressão:

$$p = \frac{VL}{VF} \times 100$$

Onde:

$V_F$  = volume de água filtrado pelo sistema, durante o período de 30 dias considerado, em  $m^3$

$V_L$  = volume de água gasto para lavagens dos filtros, no mesmo período, em  $m^3$

$p$  = eficiência de produção do filtro, em porcentagem

O valor obtido será utilizado como elemento auxiliar na avaliação do sistema de filtração feita através dos outros ensaios.

## 6. ENSAIO COMPLEMENTAR

### 6.1 Avaliação do Índice Econômico de desempenho Global de uma ETA

#### 6.1.1 Finalidade

Esta avaliação visa determinar o desempenho de uma ETA considerada como um todo, independentemente do desempenho individual de cada um dos processos unitários de tratamento. A mesma tem por finalidade avaliar o desempenho de uma ETA do ponto de vista econômico, através dos diversos índices de custos de produção.

#### 6.1.2 Índices de custos de produção

As despesas diretas com o tratamento correspondem a 5 itens mais importantes, a saber:

- energia elétrica
- produtos químicos
- pessoal
- manutenção
- administração da ETA

Em função das despesas correspondentes a esses 5 itens e do local das mesmas, podem ser definidos os respectivos índices de custo de produção.

Os índices de custo de produção são calculados dividindo as respectivas despesas anuais pelo volume de água produzido no mesmo período.

$D_E$  = despesas com energia elétrica

$D_Q$  = despesas com produtos químicos

$D_p$  = despesas com pessoal

$D_M$  = despesas com manutenção

$D_A$  = despesas administrativas da ETA

$D_T$  = despesas totais

$$D_T = D_E + D_Q + D_p + D_M + D_A$$

$V$  = volume produzido, em  $m^3$

Todos esses valores corresponderão a um mesmo período de 365 dias.

NOTA 1: As despesas assim definidas não incluem as correspondentes a recalques de água bruta e de água tratada, salvo a parcela correspondente a água para a lavagem de filtros.

NOTA 2: As unidades de medida das despesas deverão ser sempre referidas a um padrão monetário para fins de comparação ao longo do tempo.

### 6.1.3 Resultados

Os índices de custo de produção ficam assim definidos:

$$C_E = \frac{D_E}{V}$$

$$C_Q = \frac{D_Q}{V}$$

$$C_p = \frac{D_p}{V}$$

$$C_M = \frac{D_M}{V}$$

$$C_A = \frac{D_A}{V}$$

$$C_T = \frac{D_T}{V} = \frac{D_E + D_Q + D_P + D_M + D_A}{V}$$

## 7. CAUSAS PROVÁVEIS DE BAIXOS VALORES DE DESEMPENHO

### 7.1 Na Mistura

- a) existência de curto circuitos
- b) local inadequado de aplicação de produtos químicos
- c) volume inadequado da unidade de mistura
- d) gradiente de velocidade insuficiente
- e) dosagem inadequada

### 7.2 Na Floculação

- a) curto-circuitos e zonas mortas na unidade de floculação
- b) equipamento de agitação inadequado
- c) gradientes de velocidade inadequados
- d) flocos muito leves
- e) tempo de detenção insuficiente

### 7.3 Na Decantação

- a) zonas mortas
- b) correntes parasitas
- c) problemas estruturais
- d) geometria do decantador inadequada
- e) sistema de saída deficiente
- f) sistema de entrada deficiente
- g) procedimento de remoção de lodo inadequado
- h) taxa de aplicação inadequada

### 7.4 Na Filtração

- a) taxa de filtração incompatível com as características do leito filtrante e/ou com a qualidade da água bruta.
- b) existência de fendas no leito filtrante e/ou desarranjos no leito suporte

- c) existência de bolas de lodo
- d) deficiências do sistema de entrada nos filtros de igual vazão
- e) deficiências no sistema de saída
- f) colmatação do leito filtrante por algas
- g) modificação da granulometria do leito ao longo do tempo
- h) especificação inadequada do leito filtrante
- i) granulometria inadequada
- j) defeitos estruturais
- l) procedimentos de filtração e de lavagem inadequados
- m) descolamento do leito filtrante das paredes
- n) perda e fuga de material filtrante

#### 7.5 No Geral

- a) procedimentos inadequados de operação e manutenção
- b) deficiências de projeto e construção
- c) má qualidade dos produtos químicos
- d) funcionamento intermitente
- e) poluição dos mananciais
- f) falta de treinamento do pessoal
- g) dimensionamento inadequado do quadro de pessoal.

REVOGADA

ANEXO A

DEFINIÇÕES ESPECÍFICAS

### A-1 Seção de entrada de um floclador

Considera-se como seção de entrada de floclador o ponto, ou os pontos em que a água, após a mistura, entra na unidade de floclação.

No caso de unidades de floclação com diversas entradas, qualquer uma delas poderá ser considerada como seção de entrada, quando se proceder à coleta de amostras.

Note-se que, após a mistura, a água é conduzida até as câmaras de floclação, por meio de canalizações. O trecho entre a seção de saída da câmara de mistura e a entrada de um floclador contribuirá para modificar as condições do processo global, mas, para todos os efeitos - salvo indicação particular em contrário considerar-se-á que esse trecho não participa do processo de floclação.

Em último caso, neste tipo de instalações, caberá ao bom senso do engenheiro encarregado do Controle Operacional, analisar a influência desses trechos no processo global.

### A-2 Tempo teórico de permanência em uma unidade de floclação

O "tempo teórico de permanência" será calculado pela fórmula:

$$t_p = \frac{V}{Q} \text{ na qual}$$

V = volume da unidade de floclação

Q = vazão que passa pela unidade de floclação

### A-3 Determinação dos limites da unidade de decantação

#### A-3.1 Seção de entrada

Seguindo a direção do fluxo, considera-se que a seção de entrada na unidade de decantação é aquela seção imediatamente a jusante das unidades de floclação e eventualmente a jusante das canalizações que transportam água floclada, caso elas existam.

No caso de diversos decantadores alimentados por um mesmo canal de água floclada, considerar-se-á como seção de entrada, aquela seção do canal alimentador imediatamente a montante da entrada da primeira unidade de decantação.

#### A-3.2 Seção de saída

Considera-se seção de saída do decantador o ponto onde toda a água decantada por essa unidade é reunida antes de misturar-se com o efluente de outras unidades semelhantes, ou de entrar numa outra unidade de processo.

No caso de estações em que cada unidade de decantação possua diversas canalizações coletoras de água sedimentada ligadas diretamente a uma canalização mestre que receba a água decantada de diversas unidades ou a outra unidade de tratamento, a definição anterior não se aplicará.

Nesses casos, considerar-se-á que existem tantas seções de saída quanto canalizações coletoras de água decantada possua o decantador. Essas seções de saída definem-se, para cada canalização, como a seção dessa canalização, onde passa a vazão total coletada pela mesma, a montante da canalização mestre ou das outras unidades de processo referidas anteriormente.

### A-3.3 Tempo teórico de permanência em uma unidade de decantação

Define-se o tempo teórico de permanência na unidade de floculação como o tempo que uma partícula demoraria em deslocar-se entre as seções de entrada e de saída da unidade, no caso hipotético de fluxo de pistão.

De acordo com a definição o cálculo deste valor será feito pela fórmula:

$$t_{pt} = \frac{V}{Q}$$

$t_{pt}$  = tempo teórico de permanência na unidade de decantação

$V$  = volume entre as seções de entrada e saída de unidade

$Q$  = vazão que passa pela unidade

A N E X O B

TÉCNICAS E PROCEDIMENTO DE CAMPO E LABORATÓRIO

REVOGADA

### B-1 Amostragens de água floculada em frascos usados em ensaios de floculação

Toda coleta de água floculada deverá ser feita com uma técnica cuidadosa, para evitar que os flocos se quebrem.

O frasco deverá ser introduzido lentamente no floculador, em posição com a boca para baixo, até que fique submerso e o mais profundo possível.

Ao introduzir o frasco na água, o ar confinado se acumulará na parte superior. Este ar deverá ser eliminado por meio de um tubo rígido em forma de U que será introduzido junto com a jarra.

No momento se introduzir no floculador o frasco e o tubo, deverá fechar-se a saída do ar do tubo com o polegar da mão.

Após submergir o conjunto até a máxima profundidade possível, diminuindo vagorosamente a pressão do polegar, deverá conseguir-se que o ar saia lentamente do frasco sendo substituído por água do floculador.

Após a saída de todo o ar, o frasco deve ser girado, dentro da água, colocando-o com a boca para cima. Em seguida deve ser retirado da água. Com cuidado de não agitar o conteúdo e, conseqüentemente quebrar os flocos, deve ser despejado o excesso de água, de forma que a amostra tenha o mesmo volume da colhida primeiramente na entrada do floculador. A seguir a amostra deve ser levada imediatamente ao laboratório.

A seqüência da Figura 13 abaixo ilustra a operação descrita anteriormente.

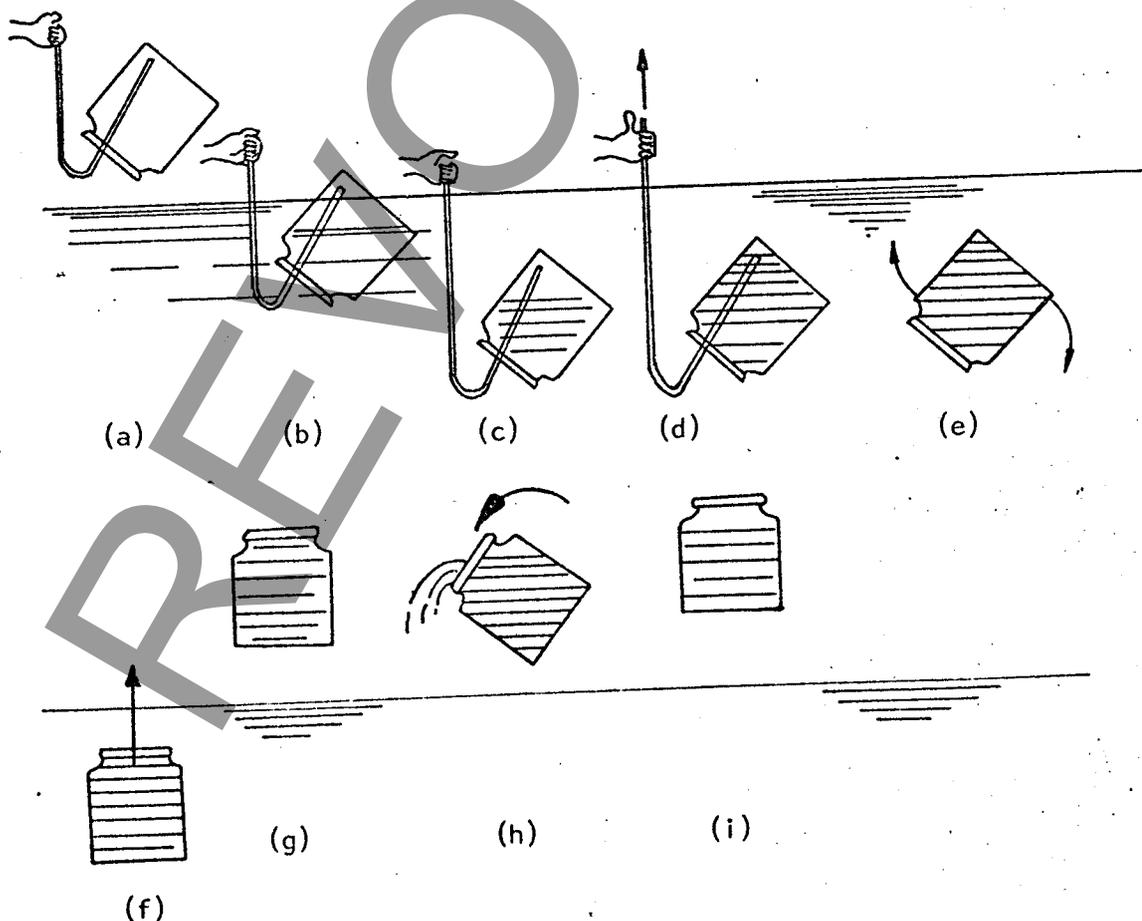


FIGURA 13 - SEQUENCIA PARA COLETA DE ÁGUA FLOCULADA

Em lugar de usar-se frascos comuns e tubos em U poderá usar-se um tipo de frasco especial como o ilustrado a seguir, com o qual a operação fica facilitada.

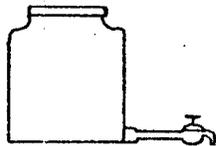


FIG. 14 - FRASCO ESPECIAL PARA COLHEITA DE AMOSTRA

Em qualquer caso, as dimensões dos frascos serão as mesmas das empregadas no Ensaio de Flocculação.

#### B-2 Transferência a um cone de Imhoff, de uma amostra flocculada em frasco

A transferência, a um cone de Imhoff, de uma amostra flocculada em frasco - segundo a técnica de ensaios de flocculação deverá ser feita com uma técnica cuidadosa, para evitar a quebra dos flocos.

Usar-se-á para tal fim, uma peça intermediária, semelhante a um tronco de cone; a sua base maior terá uma seção maior que a base do cone de Imhoff, enquanto que a sua base menor terá uma seção igual à boca do frasco.

Esta peça será interposta entre o cone e o frasco, usando-se, se necessário, dois anéis de borracha para que as ligações sejam perfeitamente estanques.

No início, o frasco com a amostra flocculada receberá a peça intermediária. Sobre esta será colocado o cone, com o vértice para cima.

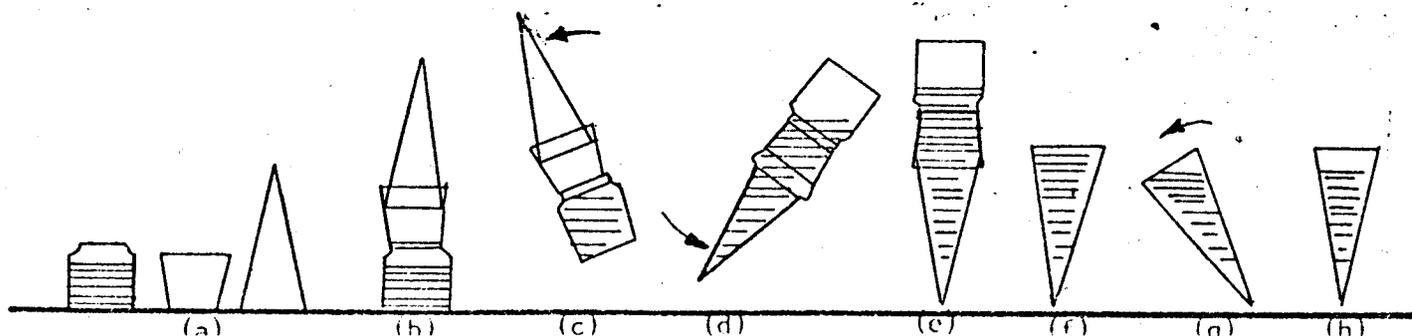
Segurando o frasco e o cone de forma a pressionar ambos entre si e contra a peça intermediária, far-se-á girar o conjunto lentamente de forma que a amostra de água flocculada flua lentamente do frasco para o cone.

Uma vez completado um giro de 180°, o cone acabará sendo preenchido pela água.

Se a amostra processada em laboratório for de 2,1 ou 1,5 l, o volume excedente do cone será automaticamente derramado no instante em que se separem as partes, deixando de exercer as pressões.

A seguir, será jogado fora o excesso de água do cone, de forma que a amostra colhida seja de 1.000 cm<sup>3</sup>.

Todas estas operações serão realizadas lenta e cuidadosamente, evitando-se sacudidas que poderiam romper os flocos. A Fig. 15 mostra a sequência das operações.



### B-3 Coleta de água floculada, na ETA, por meio de cone de Imhoff

Uma vez que se trata da colheita de uma amostra de água floculada, o equipamento empregado deverá ser adequado e a operação requererá uma técnica especial e cuidada, para evitar que os flocos se quebrem.

O cone de Imhoff necessário para esta operação, deverá possuir no seu vértice uma válvula ou dispositivo que permita abrir e fechar essa extremidade.

O cone deverá ser introduzido lentamente no floculador, em posição com o vértice para cima, até que fique submerso e o mais profundo possível. Durante esta parte da operação, a válvula ou dispositivo do vértice deverá estar fechada.

Ao introduzir o cone na água, o ar confinado se acumulará na parte superior. Este ar deverá ser eliminado lentamente, abrindo-se vagarosamente o dispositivo do vértice. A medida que se deixe o ar sair, o espaço que ele ocupava será preenchido por água.

Uma vez eliminado o ar, o cone será girado  $180^\circ$ , até a base ficar para cima, sendo que durante esta operação o cone deverá permanecer submerso.

A seguir, o cone será retirado cuidadosamente da água. Em seguida será jogado fora o excesso, de forma que a amostra colhida seja de  $1.000 \text{ cm}^3$ . Esta operação será também realizada cuidadosamente, evitando a ruptura de flocos, o que ocorreria, se o conteúdo fosse sacudido.

A Figura 16 que segue apresenta a sequência das operações.

Recomenda-se que seja usado um cone de Imhoff de vidro ou material plástico transparente, com um orifício no vértice. Para vedar ou abrir o vértice o cone virá provido de uma tampinha de material plástico que encaixe perfeitamente na abertura.

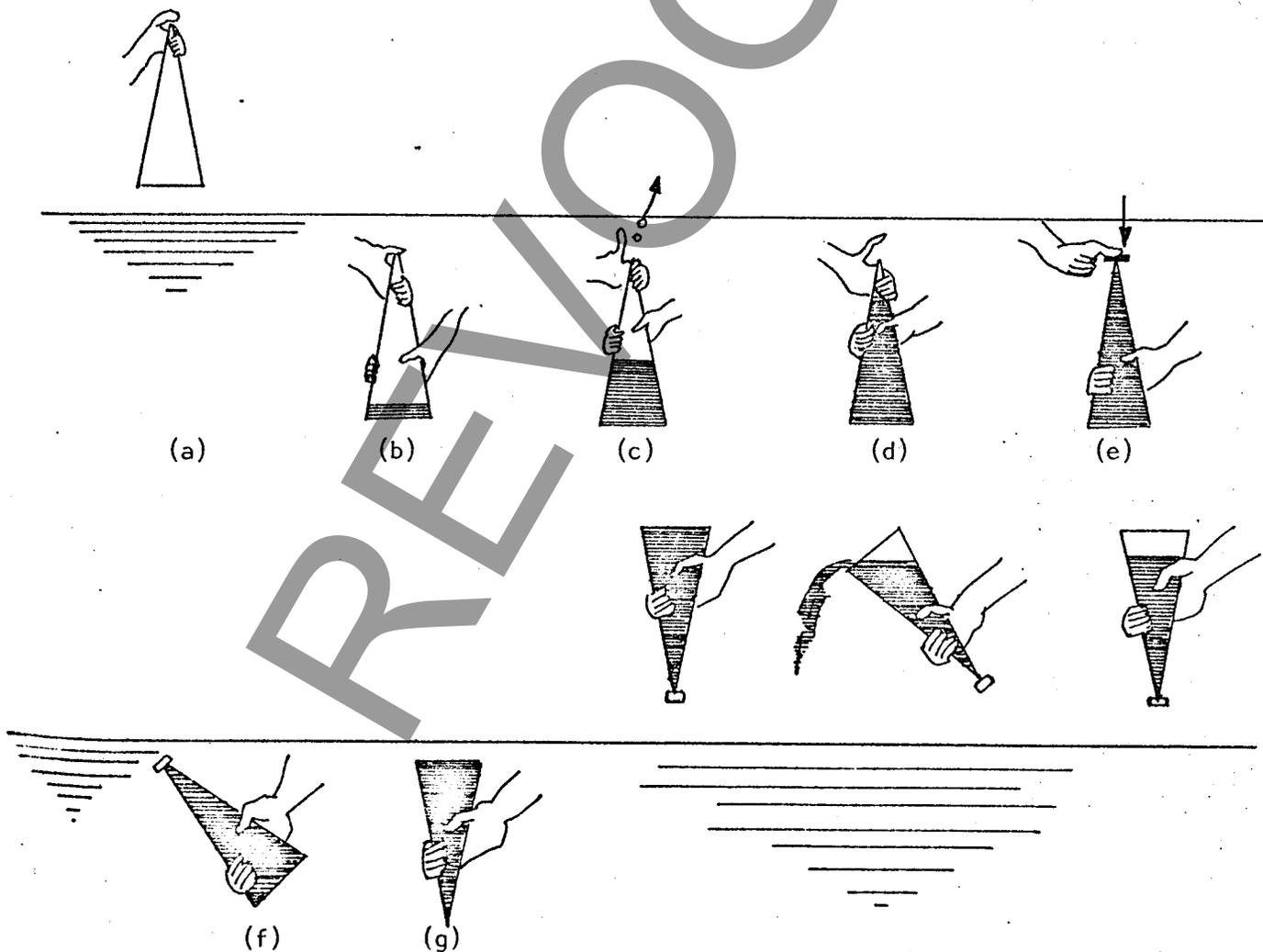


FIGURA 16 - SEQUÊNCIA PARA COLHEITA DE AMOSTRA DE ÁGUA FLOCULADA COM CONE IMHOFF

A N E X O C

MODELO PADRONIZADO DE AGITADOR PARA FLOCULAÇÃO EM LABORATÓRIO

RENOVADA

ANEXO C - MODELO PADRONIZADO DE AGITADOR PARA FLOCULAÇÃO EM LABORATÓRIO

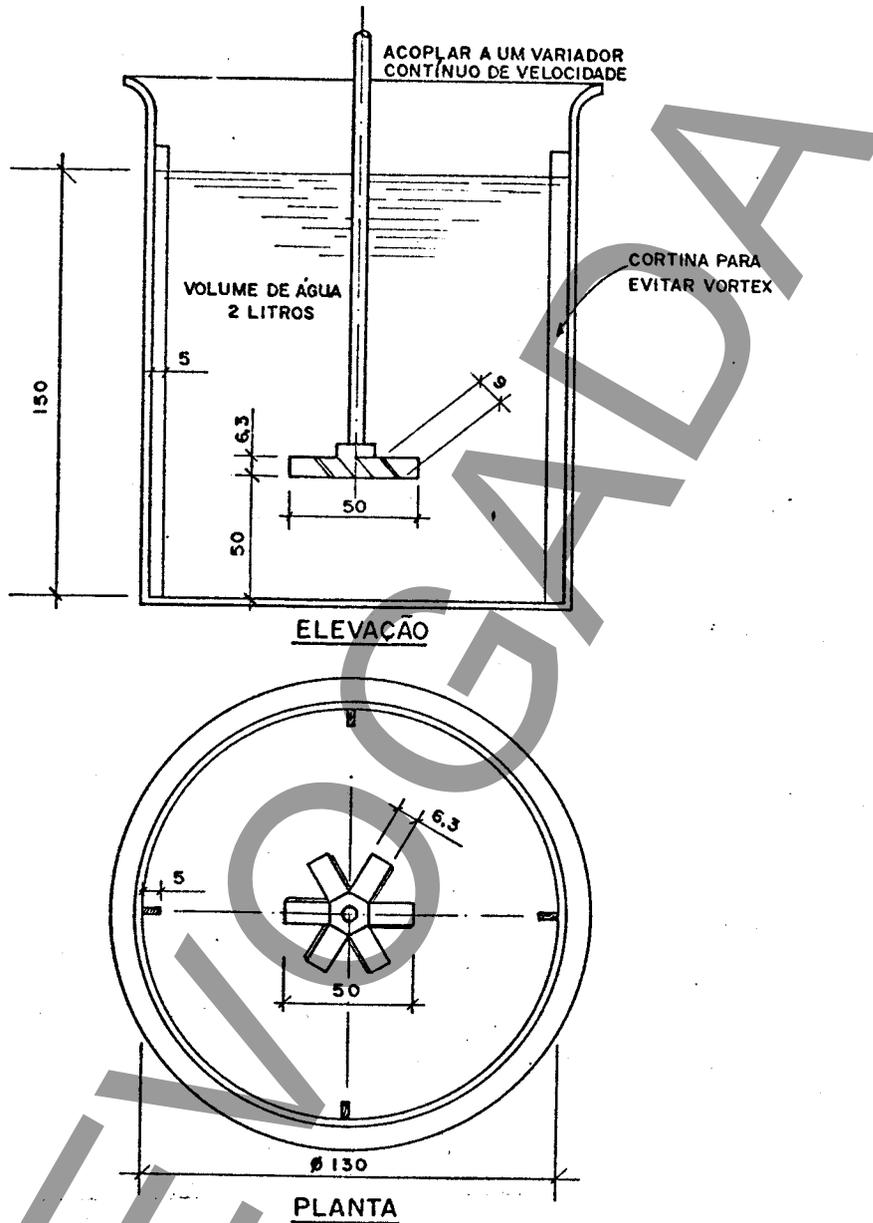


FIGURA 17 - ESQUEMA DO AGITADOR-PADRONIZADO

C-1 Determinação do gradiente de velocidade

G é determinado pela expressão:

$$G = 7,77 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{n^3 D^5}{\mu V}}$$

adotam-se:  $V = 0,002 \text{ m}^3$   
 $D = 0,05 \text{ m}$

A expressão fica simplificada para

$$G = 9,71 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{n^3}{\mu}}$$

onde:

G = gradiente de velocidade em.....s<sup>-1</sup>

n = rotação do agitador em.....rpm

$\mu$  = viscosidade absoluta da água (ver tabela 2) em .....Ns/m<sup>2</sup>

V = volume do agitador em .....m<sup>3</sup>

A N E X O D

· MODELOS DE BOLETINS DE CONTROLE

REVOGADA

**DI - BOLETIM DIÁRIO DE REGISTRO DAS DETERMINAÇÕES**

ETA  
DATA

OPERADOR 1º TURNO

OPERADOR 2º TURNO

OPERADOR 3º TURNO

OPERADOR 4º TURNO

Temp. °C	ANÁLISES INDIVIDUAIS				ALCALINIDADE FINAL Co CO3	
	REACAO PH	COR mg P/L	TURBIDEZ UNT	O2 CONS. mg/l	MO	FF
HORA	BRUTA	BRUTA	BRUTA	BRUTA	BRUTA	BRUTA
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						

OCORRÊNCIAS

*AMOSTRA DA	AMOSTRA COMPOSTA		P.H.S	Fe	F	AL
	DUREZA	ALCALINIDADE DE TOTAL				
BRUTA	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
FILTRADA						
FINAL						
COLHER 100 ml CADA HORA OBTENDO-SE 241 NO FINAL DO PERÍODO QUE SERÁ A AMOSTRA A ANALISAR						
1. ÁGUA						Unid.
1.1 VOLUME ADUZIDO DE ÁGUA BRUTA						m <sup>3</sup>
1.2 VOLUME PRODUZIDO FINAL						m <sup>3</sup>
2. LAVAGEM						—
2.1 Nº DE FILTROS LAVADOS						unid.
2.2 Nº DE FLOCULADORES LAVADOS						unid.
2.3 Nº DE DECANTADORES LAVADOS						unid.
2.4 Nº DE CAMARAS OU CARAIS LAVADOS						unid.
2.5 VOLUME TOTAL DE ÁGUA DE LAVAGEM E FILTROS						m <sup>3</sup>
2.6 VOLUME DE LAVAGEM DE OUTRAS						m <sup>3</sup>
2.7 VOLUME TOTAL DE LAVAGEM						m <sup>3</sup>
2.8 TEMPO TOTAL DE LAVAGEM DOS FILTROS						min
2.9 VOL. LAVAGEM						%
3. COAGULANTE						Kg
3.1 CONSUMO DE						mg/l
3.2 DOSAGEM MÉDIA						—
4. ALCALINIZANTE						Kg
4.1 CONSUMO DE						mg/l
4.2 DOSAGEM MÉDIA						—
5. DESINFETANTE						Kg
5.1 CONSUMO DE						mg/l
5.2 DOSAGEM MÉDIA						—
6. FLUORETANTE						Kg
6.1 CONSUMO DE						mg/l
6.2 DOSAGEM MÉDIA						—
7. OUTROS PRODUTOS						Kg
7.1 CONSUMO DE						mg/l
7.2 DOSAGEM MÉDIA						—
8. RELACOES PURIFICAS						unid.
8.1 Nº DE VISITANTES NO DIA						unid.
9. DIVERSOS						mm
9.1 DETERMINAÇÕES DE LAB.						unid.
9.2 Nº DE ENSAIO DE FLOCULAÇÃO						mm
9.3 CHUVAS NA 24 hs						mm
9.4 Nº DE INTERRUPÇÕES TRATAMENTO POR E. ELÉTRICA						unid.
9.5 " " POR OUTRAS CAUSAS						min
9.6 TEMPO DE INTERRUPÇÃO POR ENERGIA ELÉTRICA						min
9.7 " " POR OUTRAS CAUSAS						min

• EFETUAR O REGISTRO

## D2 BOLETIM DIARIO DA CASA DE QUÍMICA

ETA	
DATA	
OPERADOR 1º TURNO	OPERADOR 2º TURNO
OPERADOR 3º TURNO	OPERADOR 4º TURNO

HORA	COAGULANTE										ALCALINIZANTE										FLUORETANTE					OUTROS PRODUTOS	OBS												
	ADUÇÃO		CARGAS		DOSADOR EM FUNCIONAMENTO		TOTALIZAÇÃO		CARG.		DOSADOR EM FUNCIONAMENTO		ABERTURA		LEITURA		DIF. CONSUMO EM		CONSUMO EM		CARGA		DOSADOR EM FUNCIONAMENTO		CARGAS			TOTALIZAÇÃO											
	3 NIVEL DA AGUA	2 DE OMBAS	1 NO MEDIDOR	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	
1																																							
2																																							
3																																							
4																																							
5																																							
6																																							
7																																							
8																																							
9																																							
10																																							
11																																							
12																																							
13																																							
14																																							
15																																							
16																																							
17																																							
18																																							
19																																							
20																																							
21																																							
22																																							
23																																							
24																																							

OCORRÊNCIAS

# D4 BOLETIM DIÁRIO DE CLORAÇÃO (outras fontes)

ETA \_\_\_\_\_  
 DATA \_\_\_\_\_  
 OPERADOR 4º TURNO \_\_\_\_\_

OPERADOR 1º TURNO \_\_\_\_\_ OPERADOR 2º TURNO \_\_\_\_\_ OPERADOR 3º TURNO \_\_\_\_\_

HORA	VOL. TRAT.	CARGA		DOSADOR				TOTAL			RESIDUAL (mg/l)		DEMANDA TOTAL DE CLORO	
		CAIXA Nº	CONCENT. DE C12	VAZÃO DA SOLUÇÃO	DOSAGEM	VAZÃO DA SOLUÇÃO	DOSAGEM	SOLUÇÃO APLICADA	PRODUTO APLICADO	DOSAGEM DE CLORO	PRE	INTER		POST.
			No do prod.	mg/min	mg/l	mg/min	mg/l	mi/h	Kg/h	mg/l	livre total	livre total	livre total	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														

**RESUMO DA OPERAÇÃO DO DIA**

VOL. TRATADO \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/dia  
 CONSUMO PRODUTO \_\_\_\_\_ Kg  
 % DE CLORO NO PROD. \_\_\_\_\_ %  
 DOSAGEM APLIC. DO PROD. \_\_\_\_\_ mg/l  
 DOSAGEM APLIC. DE CLORO \_\_\_\_\_ mg/l  
 CLORO RESIDUAL FINAL (média)  
 LIVRE \_\_\_\_\_ mg/l  
 TOTAL \_\_\_\_\_ mg/l  
 CONSUMO FINAL MÉDIO \_\_\_\_\_ mg/l

**ESTOQUE DO PRODUTO**

ESTOQUE ANTERIOR \_\_\_\_\_ Kg  
 CONSUMO DIA \_\_\_\_\_ Kg  
 ESTOQUE FINAL PERÍODO \_\_\_\_\_ Kg

OBS: \_\_\_\_\_

# D5 BOLETIM DIÁRIO DOS FILTROS

ETA

DATA

OPERADOR 1º TURNO

OPERADOR 2º TURNO

OPERADOR 3º TURNO

OPERADOR 4º TURNO

## INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

FILTRO Nº	TURB. DEZ EFLUENTE mg/l	PERDA DE CARGA m	TEMPO ACUMULADO	FILTRO Nº	FILTRO Nº	MOTIVO DA LAVAGEM	TAXA DE FILTRAÇÃO m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	LAVADO ÀS h e min	DURAÇÃO DA LAVAGEM min	VOLUMES GASTOS (m <sup>3</sup> )	
										LAVAGEM	PERO TOTAL
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											

TEMPO TOTAL DE FUNCIONAMENTO ..... h / dia.  
 VAZÃO MÉDIA DO SISTEMA ..... m<sup>3</sup> / dia  
 TAXA DE FILTRAÇÃO MÉDIA DO SIST. .... m<sup>3</sup> / dia

OBSERVAÇÕES

OCCORRENCIAS

BIBLIOGRAFIA

- 1 Arboleda, Valécia; Vargas Caballero; Correal Correal; Hernando - Manual de Tratamento de Águas Potables; Caracas - 1969.
- 2 Arboleda, Valécia: Teoria, Diseno y Control de los Procesos de Clarificación del Agua.
- 3 American Water Works Association; Water Treatment plant design - New York AWWA, ASCE, CSSE - 1969.
- 4 Bates, Robert L. et al - Impeller characteristic and power (in UHL, Vicent". & GRAY, Joseph B. Mixing Theory and practice New York, Academic Press - 1966.
- 5 CETESB - Norma D3.440 - Operação e Lavagem de Filtros Rápidos de Gravidade.
- 6 CETESB - Norma L7.410 - Misturadores Rápidos mecanizados Tipo Turbina.
- 7 CETESB - Norma E7.411 - Misturadores ou Agitadores para Soluções ou Suspensões.
- 8 CETESB - Norma E7.401 - Floculadores Mecânicos de Eixo Vertical Tipo Paletas.
- 9 CETESB - Norma L5.006 - Floculação - Método de Ensaio.
- 10 OTTERSTETTER HORST - Controle de Operações dos Filtros - Apostila de aulas de curso ministrado na CETESB.
- 11 M. Rebhun and Argaman - The influence of Horizontal velocity on the Efficiency of Sedimentation Basin - TECHION, HALFA - 1963.
- 12 M. Rebhun and Argaman - Evaluation of hidraulic Efficiency of Sedimentation Basin.
- 13 Parlatore, Antonio Carlos - Misturadores e Floculadores Mecanizados - Trabalho apresentado no XIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária - Agosto 1972 - Assunção - Paraguai.