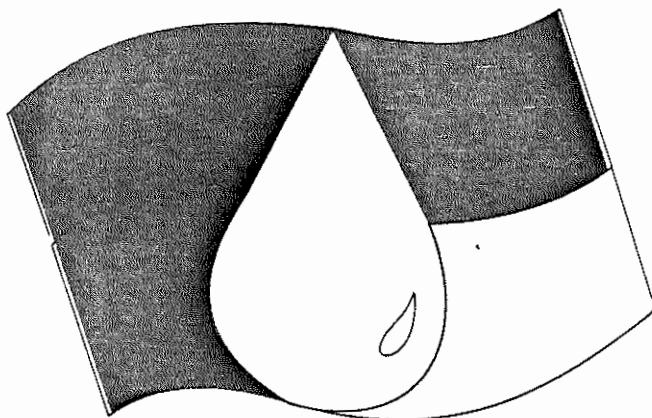


VI SILUBESA

SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



APRH

ABES

Trabalhos Técnicos

Volume 1

Tomo I

TEMA CENTRAL
Recursos Hídricos:
Preservar para Garantir

Florianópolis - SC - Brasil - 12 a 16 de Junho de 1994

ANAIS DO VI SIMPÓSIO
LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

Florianópolis - SC, 12 a 16 de junho de 1994

Vol.1 - TRABALHOS TÉCNICOS - TOMO I

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

S621a

Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (6 : 1994 : Florianópolis, SC)
Anais / do VI Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 1, Tomo I ; promoção ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos ; realização ABES, Seção Santa Catarina . — Rio de Janeiro : ABES, 1994.

Conteúdo: Trabalhos Técnicos
ISBN 85-7022-113-4

1. Engenharia Ambiental - Congresso. 2. Engenharia Sanitária - Congressos. I. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. II. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. III. Título.

94-0378

CDD - 628.06081
CDU - 628:061.3(81)

REMOÇÃO DE ALGAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

LUIZ DI BERNARDO 5075 (*)

CURRÍCULO

(*) Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos - (USP)

ENDEREÇO: (*)

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465

Caixa Postal 359

Cep: 13560-250 - São Carlos - SP

D 534 ~

3, 53, 08.10-4

RESUMO

A presença de algas em número elevado nos mananciais tem comprometido seriamente o desempenho das estações de tratamento de água, independentemente da tecnologia de tratamento, causando redução da vazão de água tratada, aumento do consumo de água para lavagem dos filtros, paralisações temporárias e, dependendo da espécie de algas, conferindo sabor e odor à água, exigindo emprego com carvão ativado ou de algum tipo forte de oxidante como o ozônio, permanganato de potássio ou dióxido de cloro.

O presente trabalho foi realizado com água do lago Juturnaiba, a qual é tratada em estação constituída de unidades de mistura rápida, flocação e decantação antes da filtração rápida descendente. Além da turbidez baixa e cor relativamente alta, o lago tem se tornado eutrófico em algumas épocas do ano, com aumento considerável do número de algas que flotam nos decantadores, mesmo após pré-cloração, e são carreadas para os filtros, reduzindo drasticamente a duração das carreiras de filtração com consequente aumento do volume de água destinado à lavagem das unidades filtrantes e, às vezes, fazendo com que seja diminuída a vazão do afluente. Utilizando-se o diagrama de coagulação do sulfato de alumínio, foi estudado o emprego de polímeros sintéticos como auxiliares de flocação e, também, o efeito da aplicação de sulfato de cobre no controle do crescimento algal.

Concluiu-se, principalmente, que o uso de polímeros sintéticos como auxiliares de flocação contribui substancialmente para aumentar a eficiência de remoção de turbidez, de cor aparente e de algas mesmo com velocidades de sedimentação maiores que aquelas decorrentes do emprego de sulfato de alumínio somente. Adicionalmente, o sulfato de cobre com doses de ordem de 0,5 mg/l resultou eficaz no controle do crescimento de algas.

O autor agradece à CEDAE por permitir a utilização dos dados que deram origem ao presente trabalho.

0869372

199

SYSNO	0869372
PROD	002382

1 - INTRODUÇÃO

A presença de algas nas águas naturais pode causar sérios problemas operacionais em estações de tratamento de água, independentemente da tecnologia de tratamento. No caso de estações em que são empregadas a coagulação, floculação e decantação antes da filtração, tem-se notado que, mesmo com a pré-desinfecção, as algas flotam nos decantadores e são carreadas para os filtros, obstruindo o meio filtrante em poucas horas de funcionamento, resultando em determinadas situações, 20 a 40 % do volume de água produzido gasto na lavagem dos filtros.

A remoção de algas em sistemas de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente e em filtros lentos de areia com ou sem mantas sintéticas foi estudada com profundidade em instalação piloto por Aggio (1) e Varesche (9), tendo sido concluído que concentrações algais superiores a 1 000 UPA/ml causavam redução significativa na duração da carreira dos filtros lentos enquanto que, em instalações com pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente precedendo filtro lento de areia, a concentração de algas não deveria superar 1 500 UPA/ml.

Estudos realizados por Di Bernardo (7) em instalação piloto de filtração direta descendente mostraram que concentração algal da ordem de 10^5 ind./l pode comprometer o funcionamento das unidades filtrantes, causando diminuição drástica na duração da carreira de filtração, além de algumas espécies móveis e com formas alongadas poderem passar através do meio filtrante e surgirem no efluente. O autor concluiu que o uso de polímero como auxiliar de filtração e o emprego de meio filtrante constituído de areia praticamente uniforme e camada com espessura maior que a tradicionalmente adotada contribuía para melhorar consideravelmente o funcionamento da instalação.

Em se tratando de novas instalações, a flotação em lugar da decantação pode ser a alternativa apropriada, porém, quando se tem estações existentes, com unidades de mistura rápida, floculação e decantação antes da filtração descendente, há necessidade de se investigar com profundidade as algas predominantes no afluente e sua remoção nas unidades existentes melhorando-se a sedimentabilidade dos flocos e efetuando-se um controle adequado da qualidade da água bruta, principalmente no caso de lagos, para evitar o florescimento algal (8).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de se estudar a remoção de algas presentes em água proveniente de lago, empregando-se polímeros como auxiliares de floculação e efetuando-se o controle do florescimento algal através do uso de sulfato de cobre.

2 - INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para a realização de uma investigação experimental o conhecimento das características da água bruta é de suma importância, especialmente na época crítica, já que, em geral, é sazonal o fenômeno do florescimento algal. Com respeito à qualidade da água do lago Juturnaiba, a CEDAE vem desenvolvendo estudos desde 1979 destacando-se as seguintes divisões em 1990: a) **CYANOPHITA** (*Cylindrospermum cf; Eluviaiticum; Oscillatoria sp.*), b) **CHLOROPHITA** (*Didimoecystis fina; Koliella longiseta f. tenuis; koliella longiseta f. variabilis; Koliella sp; Monoraphidium contortum; M. irregularae*); c) **BACILLARIOPHITA** (*Melosira italica; Centrophyceidae sp1; Nitzschia; Closterium*) (3,4,5). A cor verdadeira e a turbidez da água do Lago Juturnaiba não são elevadas mesmo em épocas chuvosas, o que poderia indicar a possibilidade de se empregar, durante algum tempo, a filtração direta, com economia considerável de coagulante, porém, devido a presença sistemática de algas, com concentração variando de 10 000 a 250 000 ind./m³, tal tecnologia deixa de ser apropriada.

2.2 - FASES DA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

A investigação experimental foi dividida em quatro fases:

Fase I : Estudo de coagulação, floculação e sedimentação de amostra de água coletada junto à captação em época de baixa concentração de algas - Água Tipo 1;

Fase II : Estudo de coagulação, floculação e sedimentação de água preparada a partir da Água Tipo 1, obtendo-se a Água Tipo 2, para a qual o número total de algas resultou entre 50 000 e 100 000 ind./m³;

Fase III : Estudo de coagulação, floculação e decantação de água preparada a partir da Água Tipo 1, obtendo-se a Água Tipo 3, para a qual o número de algas resultou entre 150 000 e 250 000 ind./m³;

Fase IV : Estudo das características de toxicidade ao crescimento das algas na presença de sulfato de cobre.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais características dos três tipos de água estudados.

Nas Figuras 1, 2 e 3 são mostradas, respectivamente, as distribuições de tamanho de partículas na água bruta, no filtrado em membrana GF/C e no filtrado em papel de filtro Whatman 40.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE ESTUDO

PARÂMETRO	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
pH	6,7	7,2	7,1
Cor aparente (uC)	70	80	120
Cor verdadeira (uC)	35	25	30
Turbidez (uT)	16	31	42
Alcalinidade (mg/l CaCO ₃)	13,0	43,2	88,0
Ferro total (mg/l Fe)	1,3	0,6	0,5
Cloreto (mg/l)	19,3	-	-
Nitrogênio total (mg/l N)	11,2	-	-
Fósforo total (mg/l P)	0,12	-	-
Condutância específica ($\mu\text{Mho}/\text{cm}$)	75,3	368,7	912,5
Número total de partículas (#/ml)	547 960	909 000	1 020 000(*)
Número total de partículas no efluente filtrado em membrana GF/C (1,2 μm)	253 330	-	- (*)
Número total de partículas no efluente filtrado em papel filtro Whatman 40 (8 μm)	279 464	-	- (*)
Número total de algas (ind./ml)	6 350	62 000	170 000

(*) medido em aparelho Coulter Counter - tamanho entre 0,4 e 40 μm

2.2.1 - ESTUDOS COM A ÁGUA TIPO 1 - FASE I

Os estudos realizados com a Água Tipo 1 foram agrupados em séries de ensaios, conforme discriminação apresentada a seguir.

Série I : Diagrama de Coagulação - Eficiência de Remoção de Turbidez e de Cor Aparente - foram empregados sulfato de alumínio PA, ácido clorídrico e cal e fixados os seguintes parâmetros físicos:

- * Mistura Rápida : $G_{mr} = 700 \text{ s}^{-1}$; $T_{mr} = 5 \text{ s}$
- * Floculação : $G = 25 \text{ s}^{-1}$; $T = 30 \text{ min}$
- * Velocidade de Sedimentação: 1 cm/min
- * Temperatura da Água : $25 \pm 1^\circ\text{C}$

As Figuras 4 e 5 representam os diagramas de coagulação para a turbidez e cor aparente, respectivamente, nas quais se tem os valores remanescentes em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação. Nessas figuras, a maior eficiência resultou para as seguintes condições:

- Mecanismo de Coagulação da Varredura
- $\text{pH}_{coag} = 6,0$; Dos. Sulf. Alum. = 30 mg/l; Dos. Cal = 9 mg/l

b) Mecanismo de Coagulação de Adsorção-Neutralização

- $pH_{coag} = 5,15$; Dos. Sulf. Alum. = 18 mg/l; Dos. Ácido Clorídrico (0,01 N) = 11,3 ml/l

Série II : Otimização da Mistura Rápida - variando-se o gradiente de velocidade e o tempo de mistura rápida e mantendo-se os mesmos parâmetros da flocação e da sedimentação da Série I, resultaram os seguintes valores, para os quais foram obtidos os maiores valores da eficiência de remoção de turbidez e de cor aparente para os mecanismos de coagulação da varredura e de Neutralização de Cargas: $G_{mr} = 700 \text{ s}^{-1}$; $T_{mr} \leq 5 \text{ s}$.

Série III : Otimização da Floculação - variando-se o gradiente de velocidade e o tempo de agitação, com os parâmetros otimizados para a mistura rápida e velocidade de sedimentação de 1 cm/min, obtiveram-se os seguintes resultados:

- a) Mecanismo de Coagulação da Varredura : $G = 15 \text{ s}^{-1}$; $T = 30 \text{ min}$
- b) Mecanismo de Coagulação de Adsorção-Neutralização: $G = 25 \text{ s}^{-1}$; $T = 45 \text{ min}$

Série IV : Emprego de Polímeros Sintéticos como Auxiliares de Floculação - foram estudiados os seguintes polímeros da Nalco : não iônico 8181; aniónico 7174; catiônico 7129. Somente para o mecanismo de coagulação da varredura foram escolhidos dois pontos distintos dados pelo par de valores Dos. Sulf. Alum. x pH_{coag} , para as seguintes condições:

- Ponto 1 : Dos. Sulf. Alum. = 30 mg/l; $pH_{coag} = 6,1$; Dos. Cal. = 9 mg/l; Dos. Polim. = 0 a 2 mg/l; Veloc. Sed. = 0,94 a 10,3 cm/min.
- Ponto 2 : Dos. Sulf. Alum. = 24 mg/l; $pH_{coag} = 5,6$; Dos. Polim. = 0 a 2 mg/l; Veloc. Sed. = 0,94 a 10,3 cm/min.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados obtidos.

2.2.2 - ESTUDOS COM AS ÁGUAS TIPO 2 E TIPO 3 - FASE II E FASE III

2.2.2.1 - PREPARAÇÃO DAS ÁGUAS TIPO 2 E TIPO 3

Com o fim de se obter um crescimento acentuado de algas a partir de amostra da Água Tipo 1, na qual encontravam-se presentes as algas comumente existentes no lago Juturnaiba, foi estudado o meio de cultura HCU₂ com diferentes dosagens para que se pudesse determinar a relação entre o volume de água da água Tipo 1 e a dosagem do meio de cultura que proporcionasse o crescimento desejado. Inicialmente foi tomado um volume de 1 litro da água Tipo 1 e filtrada em rede de plancton (20 µm); o material

TABELA 2 - VALORES REMANESCENTES DE TURBIDEZ E DE COR APARENTE - PONTO 1

POLÍMERO	VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (cm/min)	DOSAGEM DE POLÍMERO (mg/l)					
		0,1		0,2		0,5	
		Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)
Não Iônico	5,0	12,0	15,0	6,2	7,5	1,6	< 2,5
	2,5	5,2	7,5	2,2	2,5	1,2	< 2,5
	0,9	1,2	< 2,5	1,0	< 2,5	1,0	< 2,5
Aniónico	5,0	12,0	15,0	9,4	10,0	8,7	7,5
	2,5	5,2	5,0	4,5	5,0	4,7	5,0
	0,9	1,1	< 2,5	2,2	< 2,5	1,5	< 2,5
Catiónico	5,0	5,4	5,0	1,6	< 2,5	1,8	< 2,5
	2,5	2,8	2,5	1,4	< 2,5	1,8	< 2,5
	0,9	1,2	< 2,5	1,2	< 2,5	1,8	< 2,5

TABELA 3 - VALORES REMANESCENTES DE TURBIDEZ E DE COR APARENTE - PONTO 2

POLÍMERO	VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (cm/min)	DOSAGEM DE POLÍMERO (mg/l)					
		0,1		0,2		0,5	
		Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)
Não Iônico	5,0	3,2	2,5	4,0	5,0	1,8	< 2,5
	2,5	2,6	2,5	2,2	< 2,5	1,4	< 2,5
	0,9	1,6	< 2,5	1,4	< 2,5	1,5	< 2,5
Aniónico	5,0	6,4	7,5	7,0	7,5	8,0	7,5
	2,5	3,0	2,5	3,2	2,5	4,5	5,0
	0,9	1,7	< 2,5	1,6	< 2,5	2,2	< 2,5
Catiónico	5,0	2,6	5,0	1,7	< 2,5	2,2	2,5
	2,5	1,2	< 2,5	1,6	< 2,5	2,4	2,5
	0,9	1,2	< 2,5	1,2	< 2,5	1,8	2,5

retido foi misturado a um volume de 4 litros da água Tipo 1 previamente filtrado em membrana milipore de 0,45 µm e depois de homogeneizado, dividido em quatro frascos de 1 litro cada, nos quais foram introduzidos volumes do meio de cultura de 10, 20, 30 e 40 ml, respectivamente, nos frascos F₁, F₂, F₃ e F₄. Os quatro frascos, tipo erlenmeyer, foram instalados em sala apropriada, com temperatura regulada a 20 °C, luz artificial e aeracão contínuas. A coleta de amostras dos frascos foi efetuada no 1^o, 3^o e 6^o dia

após a inoculação. A contagem do número de algas foi feita em câmara de Sedgewick-Rafter. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos no quatro frascos naquelas dias de coleta.

TABELA 4 - NÚMERO TOTAL DE ALGAS NOS FRASCOS DE CRESCIMENTO

FRASCO	NÚMERO TOTAL DE ALGAS (ind./ml)		
	1º dia	3º dia	6º dia
F ₁	216	14 180	18 925
F ₂	102	14 680	56 665
F ₃	128	17 350	78 830
F ₄	304	18 520	65 250

Com base nas medições efetuadas, foi selecionada uma dosagem do meio de cultura compreendida entre 3 e 4 % em relação ao volume de amostra da água Tipo 1 para o crescimento algas com vistas à preparação das águas Tipo 2 e Tipo 3. Inicialmente, foi tomado um volume de 50 litros da água Tipo 1, ao qual foi adicionado o meio de cultura e mantido em recipiente de vidro sob aeração e ação de luz artificial.

2.2.2 - ENSAIOS REALIZADOS COM AS ÁGUAS TIPO 2 E TIPO 3

Os parâmetros físicos dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram os seguintes: a) mistura rápida ($G_{nr} = 700 \text{ s}^{-1}$; $T_{nr} = 5 \text{ s}$); b) floculação ($G = 20 \text{ s}^{-1}$; $T = 30 \text{ min}$); c) velocidades de sedimentação (0,9 e 2,4 cm/min). Na Tabela 5 são mostrados os resultados obtidos para os polímeros não iônico e catiônico, com dosagens compreendidas entre 0,1 e 0,5 mg/l.

2.2.3 - ENSAIOS DE TOXICIDADE - FASE IV

Para a realização do experimento de toxicidade foi montada uma instalação em laboratório, composta de 5 frascos (erlenmeyer) de 2 litros, cujo conteúdo foi mantido sob ação de luz artificial e sob aeração durante o período de estudo. Inicialmente, um volume de amostra da água Tipo 1 foi filtrada em membrana milipore (0,42 μm) e, em seguida, foram adicionados 960 mililitros em cada frasco. Um volume de 1 litro da água Tipo 1 foi filtrado em rede de plancton (20 μm), fornecendo o inóculo para ser introduzido em cada frasco, além do meio de cultura CHUz na proporção de 3 a 4 % em volume. Assim, todos os frascos receberam a mesma quantidade de água, de inóculo e do meio de cultura. Após homogeneização, foram coletadas amostras dos cinco frascos e para medição da concentração de algas e, em seguida, adicionados volumes diferentes de sulfato de cobre de modo a resultar as dosagens de 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 e 2,0 mg/l do sal nos frascos F₁, F₂, F₃,

TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS COM AS ÁGUAS TIPO 2 E TIPO 3

ÁGUA	DOSAGEM (mg/l)			VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (cm/min)	TURBIDEZ REMANESC. (uT)	NÚMERO TOTAL /m ³	
	S A	P C	P N I.			Partículas	Algas
Tipo 1	24	0,1	-	0,9	1,2	106 125	120
	24	0,5	-	2,4	0,9	168 426	500
	24	-	0,5	0,9	1,2	293 812	260
	30	0,1	-	0,9	0,9	174 944	180
	30	0,5	-	2,4	1,1	104 362	70
	30	-	0,5	2,4	1,7	480 000	320
Tipo 2	30	-	-	2,4	3,5	174 760	1 830
	30	-	-	0,9	1,2	125 648	470
	30	0,2	-	0,9	0,8	92 180	160
	30	0,5	-	2,4	1,2	107 208	290
	30	0,5	-	0,9	0,4	95 724	40
	30	-	0,5	0,9	0,6	320 248	320
	24	0,1	-	0,9	1,0	136 868	420
	24	0,5	-	2,4	1,1	135 762	150
	24	0,5	-	0,9	0,9	128 264	170
	24	-	0,2	0,9	1,1	233 320	430
	24	-	-	0,9	1,3	121 456	420

S A : sulfato de alumínio

P C : polímero catiônico

P N I : polímero não iônico

e F₃, respectivamente. Na Tabela 6 são mostrados os resultados obtidos.

TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE TOXICIDADE - FASE IV

FRASCO	DOSAGEM DE SULF. DE COBRE (mg/l)	ALGAS REMANESCENTES (ind./m ³)			COBRE RESIDUAL (mg/l Cu)	
		1º dia	3º dia	7º dia	9º dia	(mg/l Cu)
F ₁	0,1	1 260	2 260	1 770	450	0,05
F ₂	0,2	1 260	2 400	2 020	530	0,10
F ₃	0,5	1 260	900	680	290	0,13
F ₄	1,0	1 260	950	520	240	0,28
F ₅	2,0	1 260	330	170	100	0,40

Obs.1 - No 1º dia a coleta de amostras dos frascos foi efetuada antes da adição de sulfato de cobre

Obs.2 - sulfato de cobre PA : CuSO₄ × 5 H₂O

3 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

De acordo com a Figura 1, cerca de 50 % do número total de partículas na água bruta possuem tamanho superior a 8 μm e 95 %, superior a 1,2 μm , configurando água com maior porcentagem de partículas suspensas, se for assumido o tamanho de 1 μm como o divisor entre partículas coloidais e partículas suspensas. Mesmo com a presença das algas a turbidez era relativamente baixa, o que, de certa forma, conduziria à formação de flocos com velocidades de sedimentação relativamente baixas, indicando a necessidade de auxiliares de flocação. Nota-se também nessa figura que cerca de 15 % do número total de partículas possuem tamanho maior que 20 μm , representando um valor aproximado de 82 000 partículas/ m^3 , entre as quais encontram-se as algas retidas na rede de fitoplanton empregada para preparação do inóculo utilizado nas Fases 2, 3 e 4.

Nas Figuras 2 e 3 é observado que, mesmo após a filtração em membrana de 1,2 μm ou em papel de filtro de 8 μm , os filtrados contêm grande quantidade de partículas com tamanho menor que aqueles dos filtros, o que pode estar relacionado à vazão de filtração, a qual foi de 1 ml/s com a membrana GF/C e de 1,33 ml/s com o papel de filtro whatman 40. Entretanto, é interessante observar que a turbidez dos filtrados é praticamente a mesma, o que pode advir da distribuição de tamanhos ser semelhante, embora o número total de partículas tenha resultado diferente (253 330/ m^3 no filtrado da membrana GF/C e 279 464/ m^3 no filtrado do papel de filtro whatman 40).

Nas Figuras 4 e 5 foi comprovada a existência de duas regiões distintas em que a coagulação é eficiente, a região A, na qual o mecanismo de coagulação dominante é o da varredura, caracterizada por dosagens de sulfato de alumínio e de valores de pH mais elevados e, a região B, na qual o mecanismo de coagulação dominante é o de adsorção-neutralização, caracterizado por dosagens de sulfato de alumínio e valores do pH menores. Observa-se nos dois casos que a turbidez e a cor aparente remanescentes resultaram praticamente iguais para remoção de flocos com velocidade de sedimentação maior ou igual a 1 cm/min. Entretanto, a coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização exige o emprego de ácido, o que geralmente não é comum nas estações de tratamento de água, que usualmente já empregam alcalinizante para correção final de pH.

Os diagramas das Figuras 4 e 5 são muito importantes pois, conforme metodologia descrita por Costa (6), permitem a escolha apropriada dos pontos dados pelos pares de valores "dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação" para os quais são estudados polímeros naturais e sintéticos como auxiliares de flocação.

É interessante observar-se que a mistura rápida é otimizada para gradiente de velocidade de 700 s^{-1} e tempo de mistura inferior a 5 s tanto no mecanismo de coagulação da varredura como no de adsorção-neutralização,

enquanto na flocação, os valores otimizados foram $G = 15 \text{ s}^{-1}$ e $T_r = 30 \text{ min}$ para a coagulação no mecanismo da varredura e $G = 25 \text{ s}^{-1}$ e $T_r = 45 \text{ min}$ para a coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização, valores considerados compatíveis com os normalmente encontrados na literatura, pois as espécies hidrolisadas do alumínio requerem maior energia e tempo mais longo para que ocorra a flocação se comparada ao caso em que se tem o precipitado de alumínio.

Com base nos diagramas das Figuras 4 e 5 foram selecionados dois pontos na região de coagulação da varredura, eliminando-se estudos posteriores na região de coagulação por adsorção-neutralização. Para os dois pontos observou-se que o uso de polímeros concorre para a obtenção de maior eficiência na remoção de turbidez e de cor aparente com velocidade de sedimentação mais elevada como mostrado nas Tabelas 2 e 3. Segundo dados dessas tabelas, têm-se:

a) Ponto 1 : DSA = 30 mg/l ; pH_{coag} = 6,1 ; dos. cal = 9 mg/l

* dosagem de polímero = 0

- velocidade de sedimentação : ≤ 1 cm/min
- turbidez remanescente : 11 a 15 % da inicial

* dosagem de polímero não iônico : 0,5 mg/l

- velocidade de sedimentação : 1 a 2,4 cm/min
 - turbidez remanescente : 5,8 a 7,5 % da inicial
- * dosagem de polímero catiônico : 0,2 mg/l
- velocidade de sedimentação : 1 a 2,4 cm/min
 - turbidez remanescente : 7 a 9 % da inicial

b) Ponto 2 : DSA = 24 mg/l ; pH_{coag} = 5,6

* dosagem de polímero = 0

- velocidade de sedimentação : ≤ 1 cm/min
- turbidez remanescente : 13 a 28 % da inicial

* dosagem de polímero não iônico = 0,5 mg/l

- velocidade de sedimentação : 1 a 5 cm/min
- turbidez remanescente : 9 a 11 % da inicial

* dosagem de polímero catiônico = 0,2 mg/l

- velocidade de sedimentação = 1 a 5 cm/min
- turbidez remanescente : 10 % da inicial

Os dados obtidos nessa série de ensaios indicam que seja adotada a coagulação com 24 mg/l de sulfato de alumínio e pH_{coag} igual a 5,6, além do uso de polímero catiônico com dosagem de 0,2 mg/l, já que a dosagem de 0,5 mg/l de polímero não iônico, se aplicada na estação, poderia concorrer para reduzir a duração da carreira de filtração pois geralmente a água decantada contém polímero. Com o uso de polímero a cor aparente foi reduzida a valores inferiores a 2,5 uC.

A metodologia empregada para o crescimento de algas na água Tipo 1

para a preparação das águas Tipo 2 e Tipo 3 com o uso do meio de cultura HCl_{0.2} revelou-se satisfatória quando o meio de cultura era adicionado na proporção volumétrica de 3 a 4 % em relação à quantidade de água Tipo 1. Com o uso do meio de cultura na preparação do inóculo destinado à obtenção das águas Tipo 2 e Tipo 3, o pH destas resultou mais elevado e conduziu à coagulação com dosagens de sulfato de alumínio entre 24 e 30 mg/l em valores do pH de coagulação de 6,5 a 6,7 sem a necessidade de alcalinizante ou de acidulante.

Com os mesmos parâmetros físicos da mistura rápida ($Gmr = 700 \text{ s}^{-1}$ e $Tmr = 5 \text{ s}$) e da flocação ($G = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T = 30 \text{ min}$) otimizados para a água Tipo 1 obtiveram-se resultados satisfatórios para as águas Tipo 2 e Tipo 3. Na Tabela 5 é evidente os benefícios decorrentes do uso de polímero, pois mesmo com velocidade de sedimentação maior (2,4 cm/min) resulta maior a eficiência de remoção de algas, de partículas e de turbidez. Mais uma vez o polímero catiônico resultou mais apropriado, com dosagens da ordem de 0,2 mg/l.

Como mostrado na Tabela 6, o controle de algas poderia ser efetuado no lago, o que não eliminaria a necessidade do emprego de polímeros como auxiliares de flocação na estação. Note que há redução considerável do número de algas com a dosagem de sulfato de cobre de 0,5 mg/l, sendo mais acentuada para a dosagem de 2 mg/l. Considerando-se a fórmula do sulfato de cobre, tem-se:

$\text{CuSO}_4 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$		Cu
250 g	→	64 g
0,5 mg/l	→	0,13 mg/l
2,0 mg/l	→	0,52 mg/l

A resolução n. 20, de 10/06/1986, do CONAMA, limita o teor de cobre em 0,02 mg/l para as águas superficiais classe 1 e classe 2, e em 0,5 mg/l para água classe 3, desde que submetida ao tratamento com coagulação, flocação, decantação e filtração, como é o caso da estação de tratamento do lago Juturnaiba. Portanto, poderia ser controlado o florescimento algal no lago com o uso de sulfato de cobre e serem localizados alguns pontos de coleta de amostras para monitoramento do teor de cobre residual. A aplicação de sulfato de cobre no lago poderia ser intermitente e efetuada principalmente na época em que comumente se observa o florescimento de algas no lago. O teor de clorofila a poderia ser o parâmetro de controle, pois desde que tal parâmetro seja inferior a 4 µg/l, o lago é considerado oligotrófico.

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- a) a filtração da água bruta em membrana GF/C (1,2 µm) e em papel de filtro whatman 40 (8 µm) e o emprego do contador de partículas fornecem informações importantes sobre a características das partículas presentes na água bruta,

especialmente a respeito do tamanho e da distribuição de tamanhos, já que a coagulação química é altamente influenciada pelas propriedades das partículas;

- b) a água do lago Juturnaiba pode ser eficientemente coagulada nos mecanismos da varredura ou de adsorção-neutralização com obtenção de flocos que sedimentam com velocidade menor ou igual a 1 cm/min, porém, mesmo requerendo menor dosagem de sulfato de alumínio, a coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização exige o uso de acidulante, o que pode representar complicações na operação, razão pela qual a coagulação no mecanismo da varredura, com ou sem o uso de alcalinizante, é a mais adequada;
- c) o diagrama de coagulação pode ser empregado com sucesso na escolha apropriada dos pontos dados pelo par de valores "dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação", para os quais é convenientemente estudado o uso de polímeros como auxiliares de flocação;
- d) para a água tipo 1 a eficiência de remoção de turbidez e de cor aparente é satisfatória sem o uso de polímeros somente para velocidades de sedimentação inferiores a 1 cm/min; quando é usado um polímero como auxiliar de flocação, resulta maior a eficiência de remoção de turbidez e de cor aparente mesmo para velocidades de sedimentação mais elevadas (até 2,4 cm/min);
- e) dentre os três polímeros sintéticos estudados, aniónico, catiónico e não iônico, o polímero catiónico resultou mais eficiente na remoção de turbidez, de cor aparente, do número total de partículas e de algas mesmo com dosagens menores que a dos outros dois polímeros, para as águas Tipo 2 e Tipo 3;
- f) o controle do crescimento de algas no lago pode ser efetuado mediante o emprego de sulfato de cobre com dosagem da ordem de 0,5 mg/l sem que ocorra o comprometimento da qualidade da água com respeito ao teor de cobre residual; mesmo que esse controle seja efetuado, o uso de polímero como auxiliar de flocação é imprescindível para o tratamento eficiente da água do lago Juturnaiba.

4 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - AGGIO, C. E. G. Caracterização da Comunidade Biológica Colonizadora de Pré-Filtro de Pedregulho e Areia Grossa e Filtro Lento de Areia com mantas para Tratamento de Águas de Abastecimento Dissertação de Mestrado Biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos USP Set. 1 993, São Carlos - São Paulo, Brasil.
- 2 - BICUDO, C. E. M. & BICUDO, R. M. T. Algas de Águas Continentais Brasileiras Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências - FUMEC 1970, São Paulo, Brasil.
- 3 - CEDAE - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS Estação de Tratamento de Água da Região dos Lagos - Situação Atual e Plano de Estudos CRDAE , Dez. 1 979, Rio de Janeiro, Brasil.
- 4 - CEDAE - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS Análise da Densidade Populacional de Algas em Amostras do Sistema de Abastecimento de Água da Lagoa de Juturnaiba 1990, Rio de Janeiro, Brasil.
- 5 - CEDAE - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS 1º Seminário de Planejamento sobre a Melhoria da ETA de Juturnaiba 1990, Rio de Janeiro, Brasil.
- 6 - COSTA, E. R. H. Estudo do Uso de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio Dissertação de Mestrado Biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos USP Set. 1 992, São Carlos - São Paulo, Brasil.
- 7 - DI BERNARDO, L. Remoção de Algas em Sistemas de Filtração Direta Descendente 1º Simpósio Italo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental Março/Abril 1 992, Rio de Janeiro, Brasil.
- 8 - DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água Vol. I e II ABES Set. 1 993, Rio de Janeiro, Brasil.
- 9 - VARESCHE, M. B. A. V. Estudo sobre a Interferência de Algas no Sistema de Filtração Lenta Biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos USP Out. 1 989, São Carlos - São Paulo, Brasil.

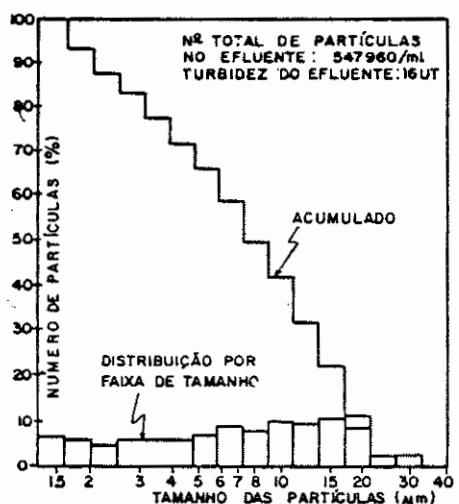


FIGURA 1 - TAMANHO E DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS DAS PARTÍCULAS NA ÁGUA BRUTA.

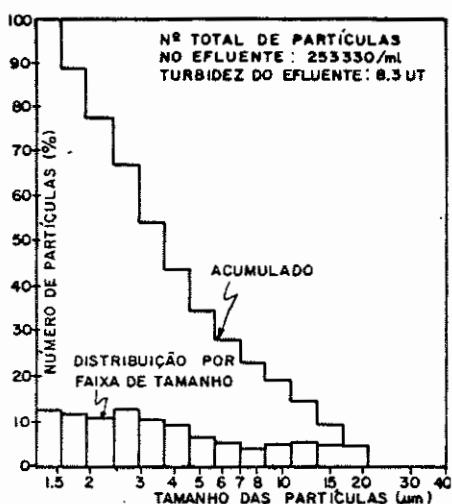


FIGURA 2 - TAMANHO E DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS NO FILTRADO EM MEMBRANA GF/C ($1.2 \mu\text{m}$)

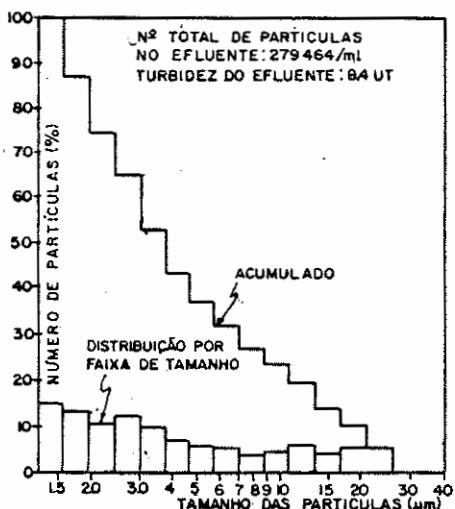


FIGURA 3 - TAMANHO E DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS NO FILTRADO EM PAPEL DE FILTRO WHA TMAN ($8 \mu\text{m}$)

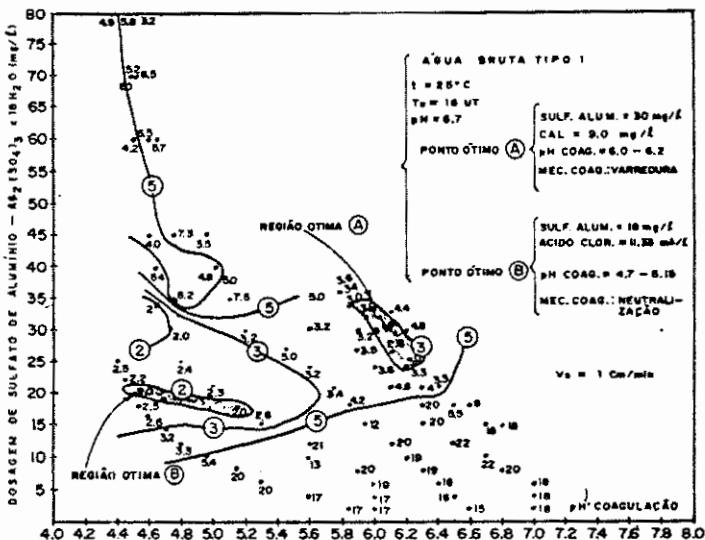


FIGURA 4 - TURBIDEZ REMANESCENTE EM FUNÇÃO DA DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO E DO pH DE COAGULAÇÃO.

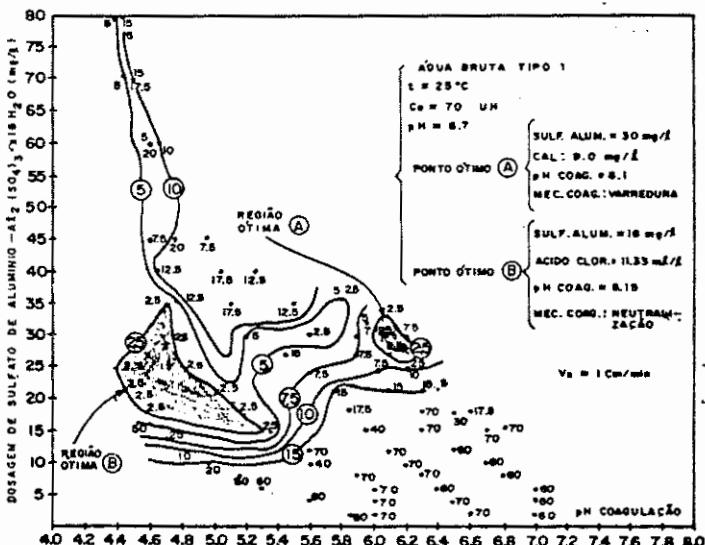


FIGURA 5 - COR APARENTE REMANESCENTE EM FUNÇÃO DA DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO E DO pH DE COAGULAÇÃO.