

# Experiências realizadas na Eta Piloto do Guaraú

José Roberto Kachel dos Santos(\*)

## INTRODUÇÃO:

A instalação Piloto no Guaraú foi projetada e construída, inicialmente para se determinar alguns parâmetros para o projeto da 3.ª etapa da ETA Guaraú, devendo a seguir ser utilizada pela Equipe de Operação para pesquisas visando melhorias no desempenho da estação.

## DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA ETA PILOTO:

A ETA Piloto simula em escala todos os processos unitários existentes na ETA Guaraú, que são os seguintes:

### MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA BRUTA:

É feita por meio de um Rotâmetro que mede vazões de 160 a 1.600 l/h, a carga hidráulica sobre o Rotâmetro é mantida através de um tanque de nível constante.

### DOSADORES DE PRODUTOS QUÍMICOS:

Existem duas bombas do tipo diafragma de dupla cabeça, possibilitando a dosagem simultânea de quatro diferentes produtos químicos. As bombas têm capacidade de 0 a 120 ml/min por cabeça. Os reservatórios de produtos químicos, neste caso, não podem estar em cota superior à das bombas e por isso utilizam-se bombas de plástico com capacidade de 50 l, colocadas no chão junto aos pontos de dosagem.

### CÂMARA DE MISTURA RÁPIDA:

Consiste de um tubo de acrílico transparente de 4" de diâmetro com

altura de 54 cm e um volume total de 3,97 litros. Possui 4 estatores diametralmente opostos nas paredes internas da câmara, de maneira a promover uma mistura mais homogênea da massa líquida. A agitação é feita com 4 rotores fixados num mesmo eixo e igualmente espaçados. O eixo está acoplado a um motor redutor, localizado na parte superior da câmara de mistura rápida, podendo ser operado em faixas de velocidades correspondentes a valores de  $G (s^{-1})$  compreendidos entre 800 e 1.500.

A água entra na câmara de mistura rápida pela parte inferior, através de uma tubulação de PVC  $\varnothing 2"$ , podendo sair em 3 níveis diferentes e predeterminedos, possibilitando assim variar o tempo de detenção na câmara (Gt).

### CÂMARAS DE FLOCULAÇÃO:

É um tanque retangular de 1,25 m x 0,83 m x 0,45 m e um volume de 467 litros, construído em fibra de vidro, com janelas de inspeção para visualização do processo, dividido em seis câmaras iguais de 69 litros. Em cada uma foi instalado um agitador com dispositivo para medição de torque, que será descrito adiante. A variação de rotação dos motores é conseguida por um "Dimmer" localizado no painel de comando para cada par de motores. Todas as câmaras possuem o mesmo tipo de agitador.

### DECANTADOR:

É um tanque retangular de 1,30 m x 0,60 m x 0,65 m e volume de 500 l, construído em fibra de vidro com janelas de inspeção. O decantador possui módulos tubulares inclinados a 60°, que aumentam a capacidade de sedimentação.

A água decantada é coletada por calhas (tubos perfurados) e levada aos filtros.

Para limpeza, o decantador é provido de um sistema de descarga de lodo por gravidade.

### DOSADORES INTERMEDIÁRIOS DE PRODUTOS QUÍMICOS:

A dosagem intermediária é feita logo após o decantador, de maneira análoga à já vista na pré-dosagem. Os pontos de dosagem intermediários permitem a aplicação de produtos químicos tanto na água decantada da ETA Piloto, como na água decantada da ETA Guaraú, quando esta for utilizada na operação dos filtros Piloto.

### ROTÂMETROS DOS FILTROS:

Foram instalados três rotômetros para leitura de vazões de 100 a 1.000 l/h que medem a vazão de água decantada enviada a cada um dos filtros.

### FILTROS:

Estão localizados na parte externa do laboratório em lugar especialmente projetado, com piso, muro e telhado de proteção e são em número de três, cada um deles consiste de um tubo de  $\varnothing 6"$ .

### TESTES EFETUADOS NA ETA PILOTO PELA EQUIPE DE OPERAÇÃO DA ETA GUARAÚ

#### TESTE N.º 1

##### 1 — TESTE DE REPETIBILIDADE E CONFIABILIDADE

Esse teste teve por finalidade, além da familiarização pela equipe de operação com a instalação piloto, a verificação da repetibilidade de resultados na ETA Piloto em condições de operação similares à ETA Real. Observamos o desempenho de cada componente, conforme as descrições a seguir.

\* Engenheiro Civil e Sanitarista da Diretoria de Operação, Superintendência de Produção, ETA Guaraú, SABESP

### 1.1 — MISTURA RÁPIDA

Para verificar a eficiência do misturador rápido mecânico da ETA Piloto efetuamos várias medições de Potencial Zeta, podendo-se dizer pelos resultados obtidos que a energia fornecida à água bruta é suficiente para proporcionar uma boa coagulação.

### 1.2 — FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO

Os resultados do processo de floculação deveriam ser avaliados pelo resultado das fases subsequentes do tratamento: Decantação e Filtração. Por não haver espaço suficiente no laboratório da Guaraú, onde o modelo foi montado, o tamanho do decantador da ETA Piloto teve que ser reduzido e para compensar essa deficiência foram instalados módulos tubulares no decantador. O desempenho do decantador da ETA Piloto não corresponde exatamente ao da ETA Real. Para se comparar o resultado da floculação apresentado por ambas as ETAs foi padronizado um teste de sedimentação.

Os procedimentos para se efetuar o teste foram os seguintes:

- Toma-se um "Becker" de dois litros de capacidade.
- Tomam-se amostras nas saídas dos floculadores das ETAs Real e Piloto.
- Com uma pipeta coleta-se cuidadosamente amostras a 10,0 cm de profundidade aos tempos zero a 10,0 minutos, a cada 2,5 minutos, medindo-se então a turbidez das amostras para se obter as porcentagens de remoção às velocidades de sedimentação de 4,0, 2,0, 1,33 e 1,0 cm/min.

São feitos vários desses testes, ajusta-se uma reta representativa das médias dos resultados em papel Mono-Log e dessa forma pode-se visualizar facilmente a eficiência da floculação. Repete-se os mesmos procedimentos para a ETA Piloto.

Pela figura 1 observa-se que a resposta da ETA Piloto às mesmas condições operacionais aplicadas na ETA Guaraú é bastante similar, no que diz respeito ao processo de floculação.

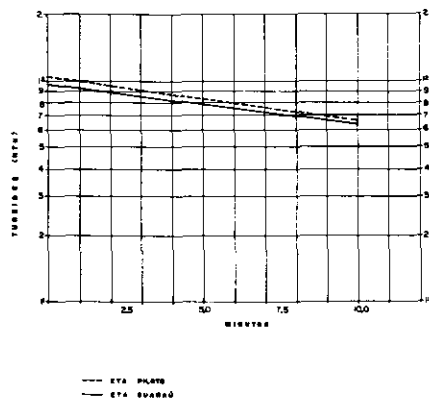


Figura 1 — Teste 1 (repetibilidade)

### 1.3 — FILTRAÇÃO

Apenas o filtro P-1 foi montado com material filtrante de especificação idêntica à dos filtros Reais.

Esse filtro apresenta desempenho semelhante aos reais no que diz respeito à remoção de turbidez e evolução e distribuição das perdas de carga por camadas de leito filtrante.

Apresenta carreiras de filtração mais longas que os filtros Reais, provavelmente porque funciona com taxas de vazão sempre constantes, enquanto que nos reais ocorrem variações de vazão.

#### 1.3.1 — EFEITO DE PAREDE NA LAVAGEM A CONTRACORRENTE

É observado acentuado fluxo junto à parede dos filtros Piloto quando da lavagem contracorrente.

A relação entre área de paredes (0,617 m<sup>2</sup> nos filtros Piloto e 134,16 m<sup>2</sup> nos Reais) e área de filtração (0,0182 m<sup>2</sup> nos filtros Piloto e 176,0 m<sup>2</sup> nos Reais) é de 0,617/0,0182 = 34 filtros Piloto e 134,16/176,0 = 0,76 nos Reais, ou resumindo: a relação área de parede/área de filtração é 45 vezes maior nos filtros Piloto que nos Reais. Fica assim explicado o fenômeno do fluxo preferencial junto à parede quando se aplica a lavagem contracorrente nos filtros Piloto. Embora esse fenômeno não tenha influído nos resultados dos testes conduzidos poderá invalidar eventuais testes referentes à lavagem dos filtros. Diâmetros maiores para os filtros Piloto atenuariam esse fenômeno.

#### Apresentação dos Resultados:

Avaliamos tanto a Sedimentabilidade quanto a Filtrabilidade dos flocos formados na ETA Piloto. A Sedimentabilidade é apresentada em retas ajustadas, cujos pontos foram obtidos a partir de testes de Sedimentação, conforme descrito anteriormente. A Filtrabilidade é apresentada em gráficos de Perda de Carga por Camada de Leito Filtrante cujos valores foram obtidos a partir de leituras diretas em piezômetros instalados com espaçamento de 10,0 cm no leito filtrante conforme a Figura 1-A.

#### TESTES VISANDO MELHORIA DE DESEMPENHO DA ETA GUARAÚ

Após termos nos familiarizados com a operação da ETA Piloto e confirmada sua confiabilidade como ferramenta de simulação planejamos vários testes visando à melhoria de desempenho da ETA real não apenas com o objetivo de se conseguir a melhor qualidade de água possível mas também a redução do consumo de produtos químicos. Como estamos iniciando a operação da 2.ª etapa da ETA Guaraú todos os testes foram efetuados simulando as seguintes condições:

Vazão	Guaraú 22,0 m <sup>3</sup> /s	Piloto 500 l/h
Taxa de Filtração	340 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	340 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia

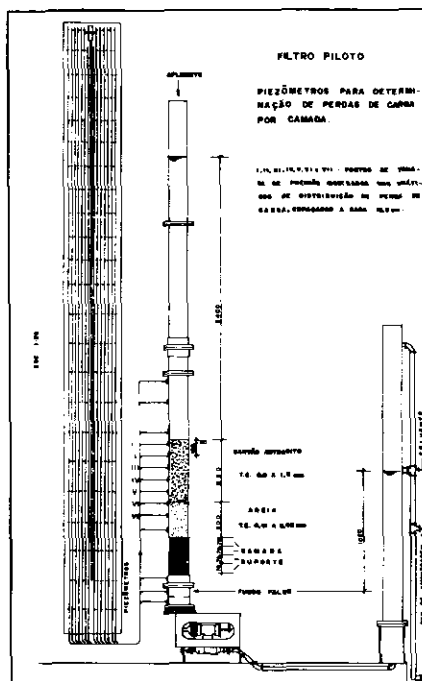


Figura 1-A

#### TESTE N.º 2

#### — FILTRAÇÃO DIRETA

#### INTRODUÇÃO:

A água bruta do Sistema Cantareira apresenta durante boa parte do ano turbidez média de 5,0 NTU. Polímeros não iônicos vêm sendo usados como auxiliares de filtração com bons resultados. Durante a estação chuvosa, em que a turbidez média da água bruta é de 30,0 NTU, a água decantada chega a apresentar valores de turbidez acima de 5,0 NTU superior à média de turbidez da água bruta na estação seca, com taxas médias de filtração de 450 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, mantendo-se a qualidade da água final. Durante a estação seca costuma-se interromper a operação de um decantador de cada vez, para limpeza e manutenção, o que faz com que a eficiência do processo de decantação caia significativamente. Com a entrada em operação dos 16 filtros da 2.ª etapa do Guaraú a taxa de filtração média será de 340 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia.

#### EXPERIÊNCIAS REALIZADAS NA ETA PILOTO DO GUARAÚ

Baseados nas premissas acima decidimos efetuar um teste em que se reduziria a dosagem de coagulante (Sulfato de Alumínio) de maneira a se formar flocos para serem retidos nos filtros com o auxílio de polímero não iônico.

**Resumo:**

Período de realização do teste: 14/5/82 a 27/5/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 8,0 ppm  
 Alcalinizante: 1,5 ppm  
 Polieletrólito Cyanamid 1976 N, não-iônico como auxiliar de filtração ... 0,015 ppm

**Testes de Sedimentação:**

	Piloto	Guaraú
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0,0	7,5	10,3
2,5	7,4	10,4
5,0	7,0	8,9
7,5	6,7	8,1
10,0	6,6	6,9

**Resultados de Turbidez (NTU)**

	Piloto	
Decantada	$\mu = 3,86$	$\sigma = 3,11$
Filtrada	$\mu = 0,27$	$\sigma = 0,13$
Carreiras de Filtração	27 horas	
	Guaraú	
Decantada	$\mu = 1,30$	$\sigma = 0,48$
Filtrada	$\mu = 0,16$	$\sigma = 0,021$
Carreiras de Filtração	25 horas	

$\mu$  = Média.  
 $\sigma$  = Desvio Padrão.

**CONCLUSÕES:**

Dois aspectos prejudicam esse procedimento se adotado em escala Real: Observou-se a formação de flocos que poderão sedimentar sob as calhas dos decantadores, pois são de baixa velocidade de sedimentação (fig. 2).

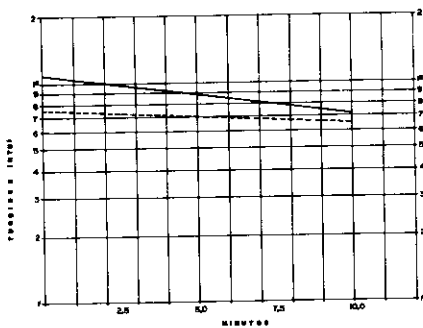


Figura 2 — Teste 2 (filtração direta com polímero não iônico)

Observando-se a figura 4 verificamos que houve predominância de retenção de flocos na 5.ª camada o que significa que os flocos formados são de pequeno tamanho, além disso a qualidade da água filtrada na ETA Piloto foi bem inferior à do Guarau.

**TESTE N.º 3**

**TESTE COM POLÍMERO CATIONICO COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO**

**INTRODUÇÃO:**

Esse teste visou a redução do consumo de sulfato de alumínio com o uso de um polímero catiônico de peso molecular médio como coadjuvante de coagulação. As dosagens aplicadas foram as que poderiam apresentar vantagens econômicas.

**Resumo:**

Período de Realização do Teste: 28/5/82 a 07/6/82.  
 Dosagens de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 9,0 ppm  
 Alcali: 1,5 ppm  
 Auxiliar de Coagulação: Polímero Catiônico NALCO BD-2225: 1,5 ppm  
 Auxiliar de filtração: Polímero não-iônico Cyanamid 1976 N: 0,015 ppm.

**Testes de Sedimentação:**

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	3,9	5,6
2,5	3,7	5,5
3,0	3,5	5,0
7,5	3,4	4,5
10,0	3,3	4,1

**Resultados de Turbidez (NTU)**

	Piloto
Decantada	$\mu = 2,44$ , $\sigma = 0,56$
Filtrada	$\mu = 0,15$ , $\sigma = 0,036$
Carreiras de Filtração	27 horas
	Guaraú
Decantada	$\mu = 1,21$ , $\sigma = 0,19$
Carreiras de Filtrada	$\mu = 0,16$ , $\sigma = 0,031$
Filtração	25 horas

**CONCLUSÕES:**

Comparando-se a reta de sedimentação do teste anterior em que apenas a dosagem de sulfato de Alumínio foi reduzida, e a desse teste em que além de reduzir o sulfato de Alumínio foi adicionado um polímero catiônico, após a coagulação, como auxiliar, não se nota nenhuma diferença na inclinação das retas, o que nos leva a conclusão que como auxiliar de floculação e decantação o polímero não se revelou eficaz.

Mas, de acordo com a fig. 4 nota-se uma acentuada diferença de comportamento do filtro, com boa retenção de flocos na camada de antracito, camadas I e II e também nas camadas IV e V, interface antracito-areia e início da

camada de areia. A qualidade da água filtrada e as carreiras médias de filtração foram iguais para as duas ETAs.

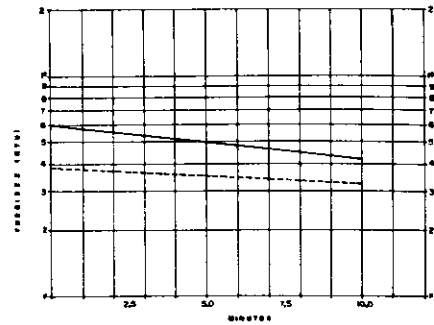


Figura 3 — Teste 3 (com polímero catiônico como auxiliar de coagulação)

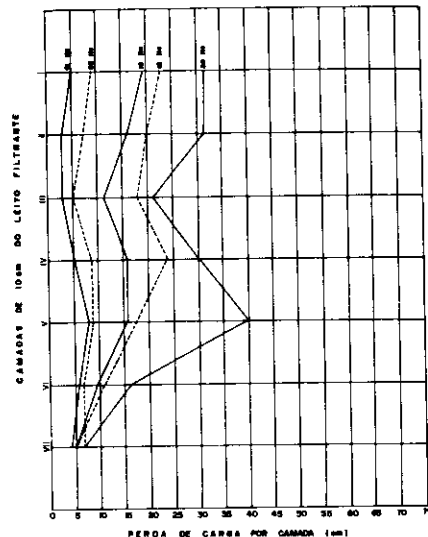


Figura 4 — Teste 2 (filtração direta com polímero não iônico)

**TESTE N.º 4**

**TESTE COM POLÍMERO CATIONICO COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO**

**INTRODUÇÃO:**

Esse teste teve a mesma finalidade que o anterior, apenas a dosagem de polímero foi aumentada.

**Resumo:**

Período de realização do teste: 9/6/82 a 11/6/82  
 Dosagens de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 9,0 ppm  
 Polímero Catiônico NALCO BD-2265 como auxiliar de coagulação: 2,0 ppm  
 Alcali: 1,5 ppm

**Testes de Sedimentação:**

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	4,6	5,8
2,5	4,1	5,2
5,0	4,1	4,8
7,5	4,0	4,3
10,0	3,7	3,6

Resultados de Turbidez (NTU)  
 Água Bruta  $\mu = 4,0$ ;  $\sigma = 0,23$

Piloto	
Decantada	$\mu = 2,06$ , $\sigma = 0,21$
Filtração	$\mu = 0,15$ , $\sigma = 0,022$
Carreiras de Filtração	35 horas
Guaraú	
Decantada	$\mu = 4,28$ , $\sigma = 0,23$
Filtração	$\mu = 0,17$ , $\sigma = 0,036$
Carreiras de Filtração	26 horas

### CONCLUSÕES:

Apesar do aumento de dosagem do polímero catiônico não se observa melhora na sedimentação, mas o desempenho da filtração melhora sensivelmente, com aumento na carreira de filtração e qualidade melhor da Água filtrada. Observa-se a intensificação da retenção de flocos na camada I, antracito, e IV, interface antracito-areia. (Fig. 7)

tivo verificar a viabilidade do uso de Polímero não iônico NALCO 8181 como auxiliar de floculação-decantação, inicialmente sem redução de dosagem de Sulfato de Alumínio e posteriormente se reduzindo essa dosagem.

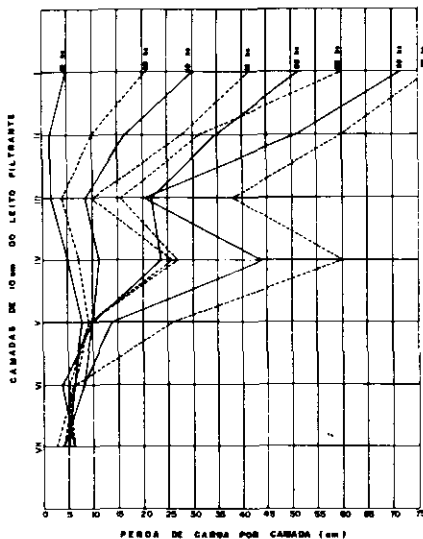


Figura 7 — Teste 4 (com polímero catiônico como auxiliar de coagulação)

#### 5.1 — Resumo:

Período de realização do teste: 22/6/82 a 23/6/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 18,0 ppm  
 Alcali 1,2 ppm  
 Polieletrólito NALCO 8181 como auxiliar de coagulação: 0,15 ppm

### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	6,8	5,5
2,5	6,3	5,3
5,0	5,5	5,3
7,5	5,1	5,0
10,0	4,5	4,5

### Resultados de Turbidez (NTU)

Água Bruta:  $\mu = 7,14$   $\sigma = 1,87$

Piloto	
Decantada	$\mu = 2,88$ ; $\sigma = 0,41$
Filtrada	$\mu = 0,13$ ; $\sigma = 0,057$
Guaraú	
Decantada	$\mu = 1,79$ ; $\sigma = 0,25$
Filtrada	$\mu = 0,12$ ; $\sigma = 0,025$

#### 5.2 — Resumo:

Período de Realização do Teste: 24/6/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 14,0 ppm  
 Alcali 1,2 ppm  
 NALCO 8181 como auxiliar de coagulação: 0,15 ppm

### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	13,0	9,0
2,5	11,0	10,0
5,0	10,0	8,7
7,5	8,2	7,7
10,0	6,5	6,1

### Resultado de Turbidez (NTU)

Água Bruta:  $\mu = 7,32$ ;  $\sigma = 0,29$

Piloto	
Decantada	$\mu = 2,89$ ; $\sigma = 0,16$
Filtrada	$\mu = 0,11$ ; $\sigma = 0,017$
Guaraú	
Decantada	$\mu = 1,64$ ; $\sigma = 0,13$
Filtrada	$\mu = 0,14$ ; $\sigma = 0,017$

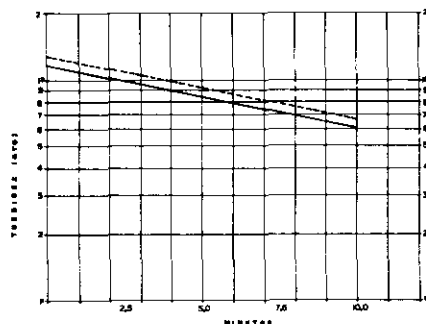


Figura 8 — Teste 5.2 (polímero não iônico como auxiliar de floculação)

#### 5.3 — Resumo:

Período de Realização do Teste: 25/6/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 9,0 ppm  
 Alcali 1,2 ppm  
 Polímero NALCO 8181 como auxiliar de coagulação: 0,15 ppm

### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	32	28
2,5	31	24
5,0	28	19
7,5	25	15
10,0	22	12

### Resultados de Turbidez (NTU)

Água Bruta:  $\mu = 30,18$ ,  $\sigma = 14,95$

Piloto	
Decantada	$\mu = 0,23$ , $\sigma = 5,96$
Filtrada	$\mu = 0,25$ , $\sigma = 0,19$
Guaraú	
Decantada	$\mu = 3,43$ , $\sigma = 2,48$
Filtrada	$\mu = 0,14$ , $\sigma = 0,022$

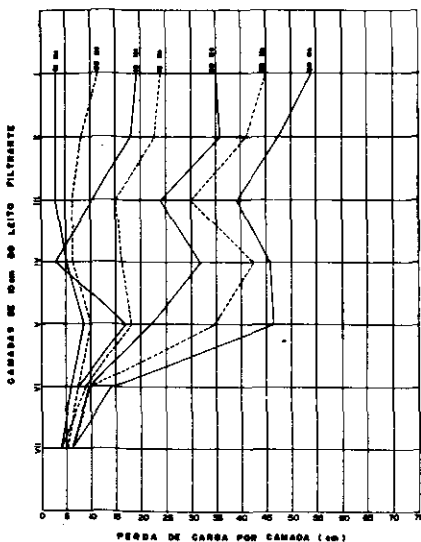


Figura 5 — Teste 3 (com polímero catiônico como auxiliar de coagulação)

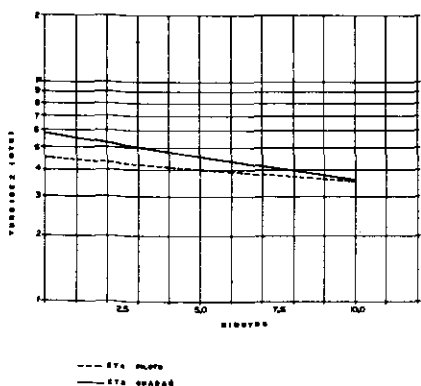


Figura 6 — Teste 4 (com polímero catiônico como auxiliar de coagulação)

### TESTE N.º 5

### TESTES COM POLÍMERO NÃO IÔNICO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO-DECANTAÇÃO

### INTRODUÇÃO:

Essa série de testes teve por obje-

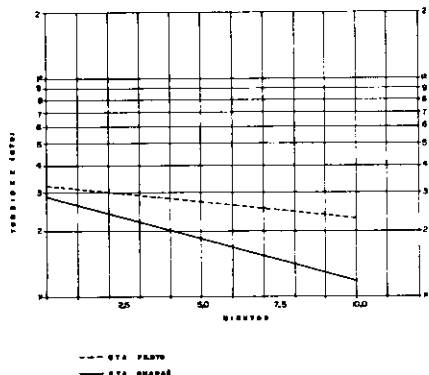


Figura 9 — Teste 5.3 (polímero não iônico como auxiliar de floculação)

**CONCLUSÕES:**

Se adicionado à dosagem normal de sulfato de alumínio o polímero NALCO 8181 deverá formar flocos com maior velocidade de sedimentação. Pela figura 8, pode-se dizer que a adição desse polímero poderá reduzir em até 25% a dosagem de sulfato de alumínio. Já a figura 9 mostra que uma redução maior na dosagem de sulfato não é viável.

Quanto à filtração observa-se pela figura 10 que há uma distribuição progressiva de perdas de cargas desde a camada I até a V formando uma espécie de "escada", fato observado apenas nesse teste.

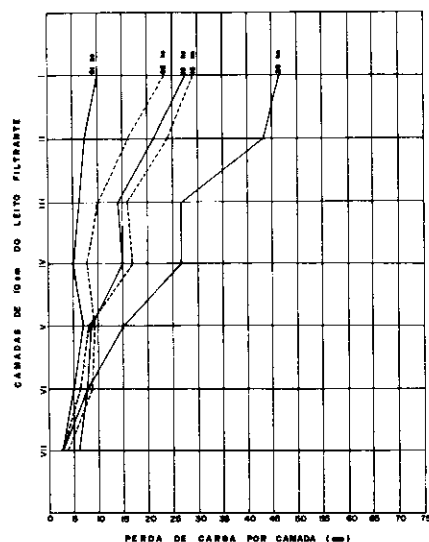


Figura 10 — Teste 5.1 a 5.3 (polímero não iônico como auxiliar de coagulação)

Esse procedimento foi aplicado em escala real, para melhorar a sedimentação durante o período em que é feito a limpeza e manutenção de um decantador. Quando dosado na Bacia de Tranquilização, logo após a dosagem de sulfato, com 0,15 ppm revelou-se totalmente inócua. Mudou-se o ponto de dosagem para os Misturadores Rápidos que estão localizados após a Bacia de Tranquilização. A água coagulada leva entre 5 e 12 minutos para chegar até esse ponto. Os resultados foram surpreendentes, pois com 0,10 ppm de dosagem do polímero a qualidade da água decantada melhorou bastante, mas em compensação houve

acentuada tendência dos filtros aumentarem a perda de carga rapidamente.

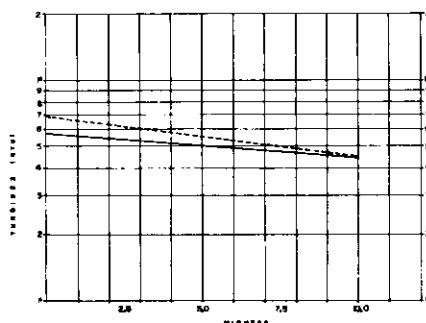


Figura 11 — Teste 5.1 (polímero não iônico como auxiliar de floculação)

Chegou-se a uma dosagem ideal de 0,05 ppm; com a volta dos 4 decantadores à operação normal, provavelmente poderemos reduzir a dosagem de Sulfato de Alumínio. A qualidade da Água Filtrada também melhorou sensivelmente e as carreiras de filtração foram prolongadas.

**TESTE N.º 6**

**Teste com Polímero Catiônico Kurifloc.**

**INTRODUÇÃO:**

Como os testes anteriores este teste visou a redução do uso de Sulfato de Alumínio com a adição de um polímero catiônico.

**Resumo:**

Período de Realização do Teste: 28/6/82 a 01/7/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 9,0 ppm  
 Polímero catiônico Kurifloc LC-551, como auxiliar de coagulação: 0,5 ppm  
 Polímero não iônico NALCO 8181 como auxiliar de filtração: 0,015 ppm

**Testes de Sedimentação:**

	ETA Piloto	ETA Guaráu
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	20	17
2,5	18	16
5,0	17	13
7,5	15	11
10,0	14	9,2

Não houve teste de filtração, devido a problemas na válvula efluente do filtro P-1.

**CONCLUSÃO:**

Observa-se pela fig. 12 que os flocos formados com a redução de Sulfato de Alumínio e adição do polímero Kurifloc LC-551, catiônico, têm velocidade de sedimentação inferior aos formados na ETA Real com dosagem de 18,0 ppm de Sulfato de Alumínio.

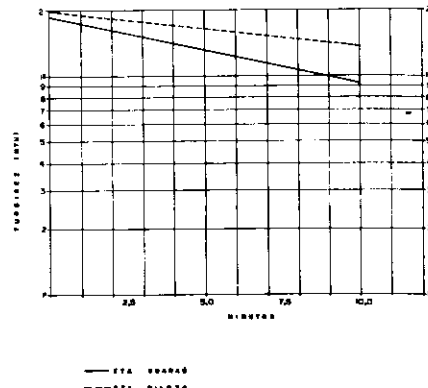


Figura 12 — Teste 6 (polímero catiônico como auxiliar de coagulação)

**TESTE N.º 7**

**Teste com Polímero Aniãoico como Auxiliar de Floculação**

**COMENTÁRIOS:**

Esse teste visou a avaliação da reação do tratamento à aplicação de um polímero aniônico.

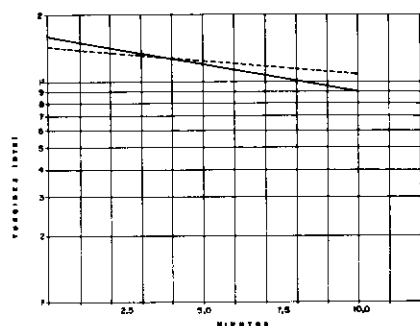


Figura 13 — Teste 7 (polímero aniônico como auxiliar de floculação)

**Resumo:**

Período de Realização do Teste: 08/7/82 a 11/7/82  
 Dosagem de Produtos Químicos:  
 Sulfato de Alumínio: 9,0 ppm  
 Alkali: 1,2 ppm  
 Polímero Aniônico NALCO 8773 como auxiliar de coagulação: 0,25 ppm  
 Polímero não-iônico NALCO 8181 como auxiliar de filtração: 0,015 ppm

**Testes de Sedimentação:**

	ETA Piloto	ETA Guaráu
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	15	17
2,5	14	15
5,0	13	13
7,5	13	10
10,0	11	9

**Resultados de Turbidez (NTU)**

Água Bruta:  $\mu = 13,78$ ,  $\sigma = 3,49$

	ETA Piloto
Decantada	$\mu = 7,02$ , $\sigma = 1,06$
Filtrada	$\mu = 0,16$ , $\sigma = 0,082$
Carreiras de Filtração	38,5 horas

ETA Guarau	
Decantada	$\mu = 2,78, \sigma = 0,44$
Filtrada	$\mu = 0,14, \sigma = 0,048$
Carreiras de Filtração	26 horas

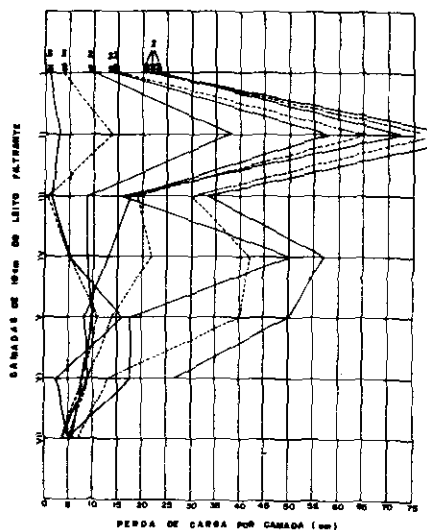


Figura 14 — Teste 7 (polímero aniônico como auxiliar de coagulação)

#### TESTE N.º 8

Testes com Cloreto Férrico como Coagulante em Substituição ao sulfato de alumínio.

#### INTRODUÇÃO:

Sais de Ferro vêm sendo utilizados como coagulantes na SABESP especialmente o sulfato ferroso clorado em instalações de pequeno porte. O Sulfato Ferroso que é fornecido na forma granular exige para sua aplicação além de preparo de solução, oxidação com a adição de cloro para se obter sulfato clorado o que implica maiores complicações para a operação que tornam seu uso praticamente inviável em estações de porte.

Com o início de produção por algumas indústrias químicas do Cloreto Férrico, que é fornecido na forma de solução a 40% pronto a ser dosado sem maiores implicações operacionais abriu-se uma alternativa para o sulfato de Alumínio como coagulante.

Os sais de Ferro em geral possibilitam floculação em uma faixa de pH bastante larga, além do que floculam rapidamente e formam flocos que sedimentam com maior velocidade que flocos formados pelo sulfato de Alumínio. Em "Jar-Testes" efetuados com a água bruta que alimenta a ETA Guarau, essa regra foi confirmada e se encontrou uma dosagem ótima de 12,0 ppm, quando se dosava 16,0 ppm de sulfato de Alumínio na ETA Guarau.

#### TESTE N.º 8.1

##### Resumo:

Período de Realização do Teste: 19/7/82 a 22/7/82

Dosagens de Produtos Químicos:

Cloreto Férrico: 12,0 ppm  
 Alkali: 1,2 ppm  
 Polímero NALCO 8181 não iônico como auxiliar de filtração: 0,015 ppm.

#### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0	12,0	9,8
2,5	11,0	9,2
5,0	9,1	7,8
7,5	7,6	7,0
10,0	6,8	6,3

#### Resultados de Turbidez

Água Bruta:  $\mu = 9,0, \sigma = 0,79$

ETA Piloto	
Decantada	$\mu = 3,93, \sigma = 0,66$
Filtrada	$\mu = 0,08, \sigma = 0,016$
Carreiras de Filtração	35 horas
Cor da Água Bruta:	30 U. C.

ETA Guarau	
Decantada	$\mu = 2,43, \sigma = 0,35$
Filtrada	$\mu = 0,14, \sigma = 0,024$
Carreiras de Filtração	25 horas

pH de Floculação: 6,2

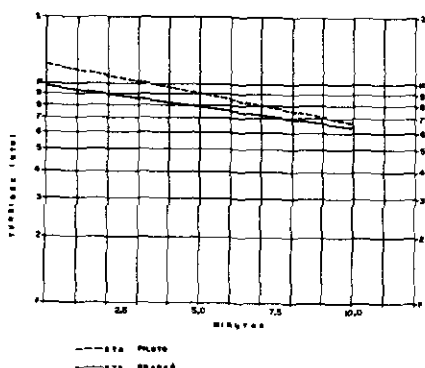


Figura 15 — Teste 8.1 (cloreto férrico como coagulante)

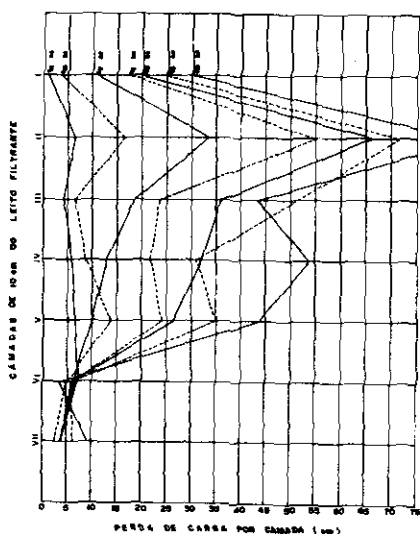


Figura 16 — Teste 8.1 (cloreto férrico como coagulante)

#### TESTE N.º 8.2

##### Resumo:

Período de Realização do Teste:

23/7/82 a 27/7/82

Dosagem de Produtos Químicos:

Cloreto Férrico: 10,0 ppm

Alkali: 1,2 ppm

Polímero NALCO 8181, para auxiliar filtração: 0,015 ppm

#### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0,0	9,9	9,0
2,5	9,3	8,7
5,0	8,2	7,4
7,5	6,9	6,6
10,0	6,0	5,6

#### Resultados de Turbidez

Água Bruta:  $\mu = 6,92, \sigma = 0,93$

ETA Piloto	
Decantada	$\mu = 3,11, \sigma = 0,36$
Filtrada	$\mu = 0,11, \sigma = 0,023$
Duração média dos filtros	35 horas
Cor da Água Bruta:	30 U. C.

ETA Guarau	
Decantada	$\mu = 1,91, \sigma = 0,43$
Filtrada	$\mu = 0,14, \sigma = 0,030$
Duração média dos filtros	26 horas

pH de Floculação: 6,4

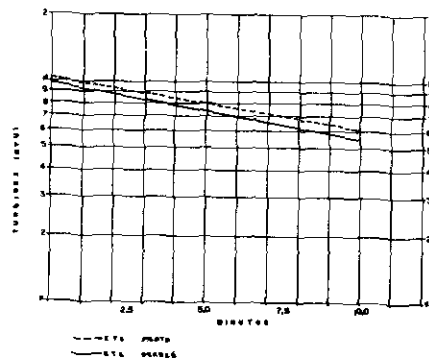


Figura 17 — Teste 8.2 (cloreto férrico como coagulante)

#### TESTE N.º 8.3

##### Resumo:

Período de Realização do Teste: 28/7/82 a 29/7/82

#### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guarau
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0,0	6,7	6,9
2,5	6,1	6,5
5,0	4,9	5,8
7,5	4,3	5,2
10,0	4,0	4,6

#### Resultados de Turbidez (NTU)

Água Bruta  $\mu = 5,6, \sigma = 0,43$

ETA Piloto	
Decantada	$\mu = 2,88, \sigma = 0,41$
Filtrada	$\mu = 0,10, \sigma = 0,018$

	ETA Guaraú
Decantada	$\mu = 1,79, \sigma = 0,25$
Filtrada	$\mu = 0,13, \sigma = 0,018$

Cor da Água Bruta: 25 U.C.  
pH de Floculação: 6,4

### CONCLUSÕES:

Os flocos formados com a dosagem de 12,0 ppm (teste 8.1), revelaram melhor velocidade de sedimentação (fig. 16), tendo ocorrido acúmulo de lodo nos floculadores. Apresentou também cor alta na água decantada, por isso a dosagem foi reduzida para 10,0 ppm, não se notando alterações sensíveis. Reduzimos ainda mais a dosagem, para 8,0 ppm, observando-se ainda boa sedimentação e sensível redução na cor da água decantada e também no acúmulo de flocos no fundo dos floculadores.

Quanto à filtração observou-se bom desempenho do filtro com boa retenção na segunda camada, o que indica formação de flocos de bom tamanho e carreiras de filtração longas, médias de 35 horas

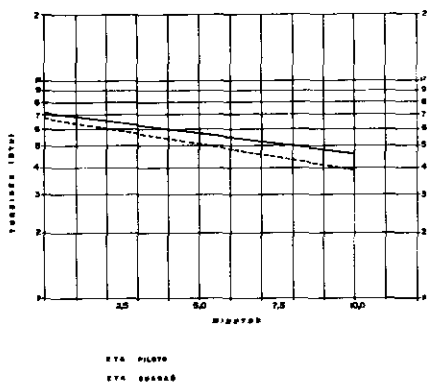


Figura 18 — Teste 8.3 (cloreto férrico como coagulante)

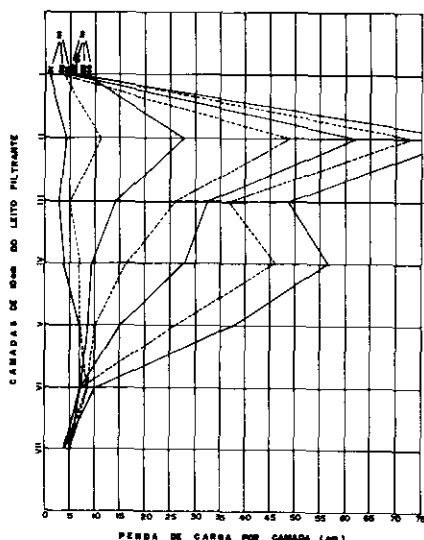


Figura 19 — Teste 8.3 (cloreto férrico como coagulante)

### TESTE N.º 9

Teste com Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio como Coagulante.

### Introdução:

Decidimos efetuar este teste para

verificar a viabilidade do uso dos dois sais aplicados no mesmo ponto como coagulantes.

Através de "Jar-Tests" chegou-se a uma dosagem de Sulfato de 4,5 ppm à qual se adicionando 3,5 ppm de cloreto férrico produziu flocos com velocidade de sedimentação similar a flocos produzidos com cerca de 16,0 ppm de Sulfato de Alumínio isoladamente.

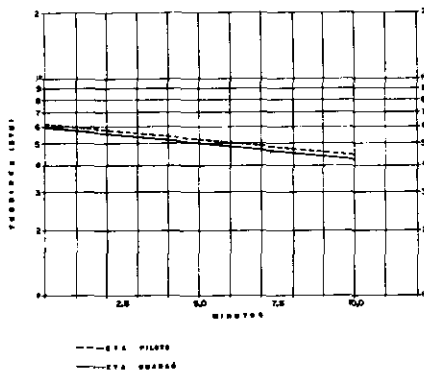


Figura 20 — Teste 9 (cloreto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes)

### Resumo:

Período de Realização do Teste: 01/8/82 a 04/8/82

Dosagem de Produtos Químicos:

Sulfato de Alumínio: 4,5 ppm

Cloreto Férrico: 3,5 ppm

Alcali: 1,2 ppm

Polímero não iônico NALCO 8181 como auxiliar de filtração: 0,015 ppm

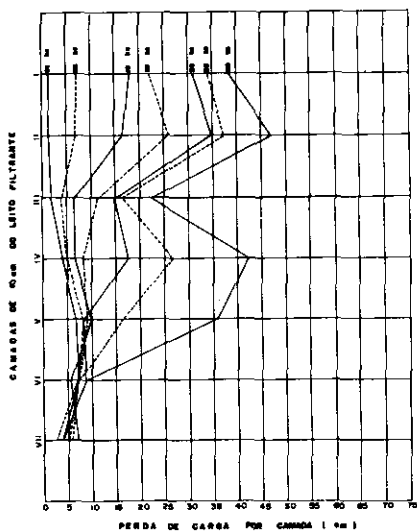


Figura 21 — Teste 9 (cloreto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes)

### Testes de Sedimentação:

	ETA Piloto	ETA Guaraú
Tempo (min)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
0,0	6,2	6,0
2,5	5,5	5,8
5,0	5,1	5,1
7,5	4,9	4,8
10,0	4,7	4,4

### Resultados de Turbidez:

Água Bruta:  $\mu = 5,13, \sigma = 0,42$

	ETA Piloto
Decantada	$\mu = 2,10, \sigma = 2,30$
Filtrada	$\mu = 0,12, \sigma = 0,11$
Carreiras de Filtração	35 horas
	ETA Guaraú
Decantada	$\mu = 1,42, \sigma = 0,41$
Filtrada	$\mu = 0,11, \sigma = 0,017$
Carreiras de Filtração	28 horas

Cor da Água Bruta: 25 U.C.  
pH de Floculação: 6,3

### TESTE N.º 10

### INTRODUÇÃO:

A água bruta do Sistema Cantareira é de baixa alcalinidade e com a adição de sulfato de Alumínio para a coagulação e Floculação, que consome boa parte dessa alcalinidade natural, vem se observando algum ataque às estruturas de concreto dos floculadores e decantadores da ETA Guaraú. Como o Cloreto Férrico provoca coagulação em uma larga faixa de pH, ao contrário do Sulfato de Alumínio, deduzimos que poderíamos dosar uma boa quantidade de cal, obtendo dessa forma uma água coagulada com menor potencial de ataque e como conseqüentemente a água filtrada também teria um pH mais alto, menos cal seria adicionada para correção final do pH resultando em menor turbidez da água final causada pelos insolúveis da cal.

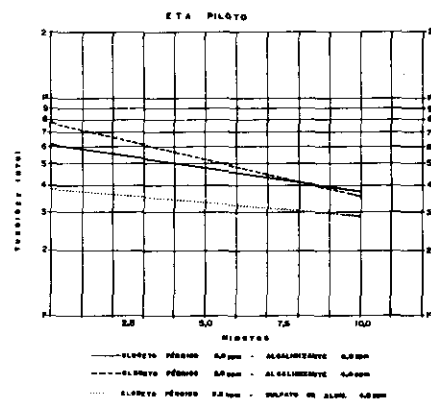


Figura 22 — Testes 10, 11 e 12

### Resumo:

Período de Realização do Teste: 10/10/82 a 11/10/82

Dosagens de Produtos Químicos:

Cloreto Férrico: 8,0 ppm

Alcali: 6,0 ppm

Polieletrólito NALCO 8181 como auxiliar de filtração: 0,015 ppm

### Resultados de Turbidez (NTU)

Água Bruta:  $\mu = 6,45, \sigma = 7,08$

	ETA Piloto
Decantada	$\mu = 2,47, \sigma = 0,86$
Filtrada	$\mu = 0,42, \sigma = 0,32$

**ETA Guarau**

Decantada	$\mu = 2,89, \sigma = 1,33$
Filtrada	$\mu = 0,15, \sigma = 0,041$

Cor da Água Bruta: 40 U.C.  
pH de Floculação: 6,9

**CONCLUSÕES:**

Os flocos produzidos neste teste apresentaram boa velocidade de sedimentação, mas a água filtrada apresentou resultados medíocres. Pelo perfil de distribuição de perdas de cargas percebe-se que os flocos formados foram de bom tamanho, mas de baixa resistência ao cisalhamento no leito filtrante.

**TESTE N.º 11**

**Introdução:**

Reduzimos a dosagem de álcali e obtivemos assim melhor resultado tanto para a água decantada como filtrada.

**Resumo:**

Período de Realização do Teste: 12/10/82 a 15/10/82  
Dosagens de Produtos Químicos:  
Cloroeto Férrico: 8,0 ppm  
Álcali: 4,0 ppm  
Polieletrólito NALCO 8181 para auxiliar de filtração: 0,015 ppm

**Resultados de Turbidez (NTU)**

Água Bruta:  $\mu = 5,3, \sigma = 0,48$

ETA Piloto	
Decantada:	$\mu = 1,12, \sigma = 0,26$
Filtrada:	$\mu = 0,11, \sigma = 0,028$
ETA Guarau	
Decantada	$\mu = 2,06, \sigma = 0,96$
Filtrada	$\mu = 0,17, \sigma = 0,11$

Cor da Água Bruta: 30 U.C.  
pH de Floculação: 6,3

**CONCLUSÕES:**

Os resultados obtidos nesse teste foram bem superiores ao anterior, o que nos leva a deduzir que essas são as dosagens ideais para se trabalhar com cloreto férrico. Foi observada sedimentação nos floculadores. Se isso vier a ocorrer em escala real poderemos ter dois problemas: acumulação de lodo nos floculadores, com redução de seu volume útil ou próximo aos floculadores no decantador, causando problemas de aumento de torque nos removedores de lodo por distribuição assimétrica de cargas, fazendo com que parem.

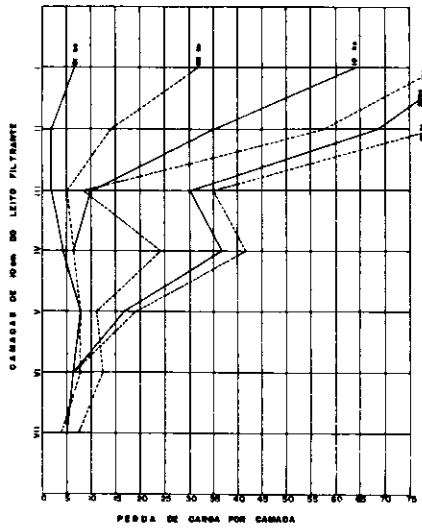


Figura 23 — Teste 10 (cloroeto férrico como coagulante)

**TESTE N.º 12**

**Introdução:**

Decidimos efetuar um teste mais prolongado para confirmar a viabilidade do uso de cloreto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes.

**Resumo:**

Período de Realização do Teste: 28/09/82 a 03/09/82  
Dosagens de Produtos Químicos:  
Cloroeto Férrico: 3,5 ppm  
Sulfato de Alumínio: 4,5 ppm  
Álcali: 2,0 ppm  
Polímero NALCO 8181 como auxiliar de filtração: 0,015 ppm

**Resultados de Turbidez (NTU)**

Água Bruta:  $\mu = 3,47, \sigma = 0,93$

ETA Piloto	
Decantada	$\mu = 1,47, \sigma = 0,34$
Filtrada	$\mu = 0,11, \sigma = 0,019$
ETA Guarau	
Decantada	$\mu = 1,31, \sigma = 0,32$
Filtrada	$\mu = 0,13, \sigma = 0,044$

Cor da Água Bruta: 15 U.C.  
pH de Floculação: 6,5

**CONCLUSÕES:**

Foi observada a formação de flocos com velocidade de sedimentação similar aos formados apenas por Sulfato de Alumínio, com boa retenção nos filtros. Esse procedimento em escala real poderá proporcionar boa economia em coagulantes.

— Testes que poderão ser aplicados em escala real

- a) Polímero não iônico como auxiliar de floculação.

O polímero não iônico NALCO 8181 aplicado como auxiliar de floculação na dosagem de 0,05 ppm apresentou bons resultados em escala real, proporcionando redução na dosagem de Sulfato de Alumínio com os decantadores operando com no máximo a taxa de projeto da 2.ª etapa (81 m³/m²/dia).

- b) Substituição de Sulfato de Alumínio por Cloreto Férrico.

A substituição do Sulfato de Alumínio por Cloreto Férrico é viável tecnicamente e pode vir a apresentar vantagem econômica, talvez da mesma ordem que o Polímero não iônico como auxiliar de floculação.

- c) Uso de Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico como Coagulantes Simultaneamente.

Provavelmente esse procedimento seria o mais vantajoso economicamente, embora traga alguns problemas operacionais: dosagem, estocagem e controle de dois produtos ao invés de um.

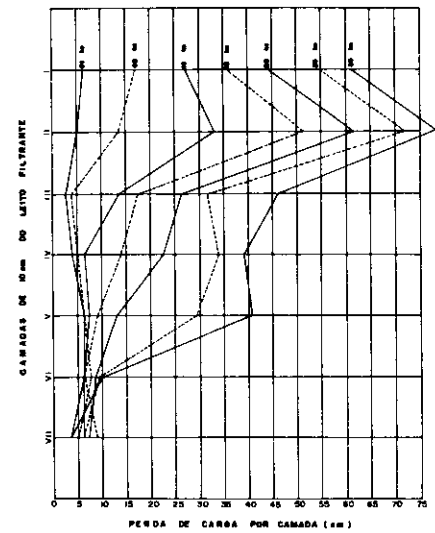


Figura 24 — Teste 11 (cloroeto férrico como coagulante)

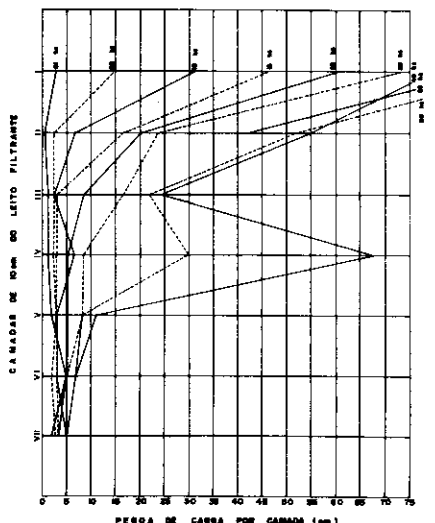


Figura 25 — Teste 12 (cloroeto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes)

**CONCLUSÕES FINAIS**

A realização desses testes nos levou a algumas conclusões de caráter geral que consideramos importantes.



— Para se conseguir o máximo de eficiência no uso de polímeros não iônicos como auxiliares de floculação é necessário que haja um espaço de tempo entre a coagulação (dosagem de sulfato e mistura rápida) e a aplicação do polímero. No Guaraú esse tempo varia entre 5 e 12 minutos, dependendo da vazão.

— Quando ocorre boa retenção de flocos nas primeiras camadas do leito filtrante, não importa o meio pela qual tenha sido obtida, as carreiras de filtração se prolongam e a qualidade da água filtrada é boa.

— Baixa turbidez da água bruta e decantada não significa que haverá boa retenção no leito filtrante (teste n.º 2).

— Comprovação do teste n.º 5 em escala real.

A tabela a seguir compara o desempenho da ETA Guaraú nos meses de Fevereiro de 1982, quando o polímero NALCO 8181 não foi usado como auxiliar de floculação e Dezembro de 1982, quando o polímero foi usado como descrito no teste n.º 5.

#### DADOS DA ETA GUARAU

Vazão média	Fevereiro/82 16,6 m³/s	Dezembro/82 16,9 m³/s
Turbidez da água bruta (média)	23 NTU	30 NTU
Dosagem de sulfato de Alumínio	18,3 ppm	13,3 ppm
Dosagem de polieletrólitos	0,015 ppm *	0,057 ppm
Turbidez da água decantada	2,3 NTU	3,0 NTU
% de remoção de turbidez (bruta x decantada)	90	90
Taxa de aplicação nos decantadores	61,0 m³/m²/dia	62,0 m³/m²/dia
Consumo de sulfato de alumínio	1.725.491 kg	1.386.104 kg
Diferença de consumo de sulfato		- 339.387 kg
Consumo de polieletrólitos	620 kg	2.590 kg
Diferença de consumo de polieletrólitos		+ 1.970 kg
Turbidez da água final	0,32 NTU	0,23 NTU

(\*) Como auxiliar de filtração.

O custo do quilograma de solução de sulfato de alumínio em Abril de 1983 era de Cr\$ 25,00 e de polieletrólitos de Cr\$ 516,00.

Teremos portanto:

Redução de gasto  
c/ sulfato de  
alumínio

(fev x dez/82) - Cr\$ 8.484.675,00

Aumento de gasto  
com polieletrólitos + Cr\$ 1.036.220,00  
Economia - Cr\$ 7.448.455,00

#### RECOMENDAÇÕES:

Acreditamos ser uma Estação Piloto um equipamento extremamente valioso para ETAs, sobretudo de porte médio ou grande.

Pode proporcionar treinamento para novos operadores, é válida para propiciar testes com produtos químicos

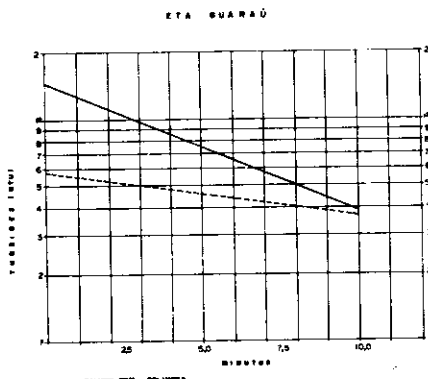


Figura 26 — Escala real, retas e sedimentação polímero NALCO 8181 como auxiliar de floculação (0,05 ppm)

que não são de nosso uso normal assim como outros procedimentos operacionais. Desperta a curiosidade da equipe de operação. Em resumo: pode baratear os custos de produção desde que seja bem projetada, construída e utilizada.

#### COLABORADORES:

Esse trabalho contou com o apoio e prestígio do Chefe de Divisão Eng. Mario Jiniti Omori e se tornou possível com o esforço do sr. Manoel Masakato Ogata, Enc.º da ETA, juntamente com a equipe de operação, assim como do Estagiário Shizuka Hirai.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBITEC — "ETA Piloto Guaraú. Testes Operacionais e Projeto Executivo. Projeto Ambitec n.º 031.061" — S. Paulo (1982)
- AWWA SEMINAR PROCEEDINGS — "Upgrading Water Treatment to Improve Water Quality" — Presented at the AWWA conference (June 15, 1980).
- SHINE, Donald K. & RASMUSSEN, Ronald — "Polymers Reduce Cost and Improve Efficiency in Treatment" — NALCO Chemical Company (October, 1978).
- SPIEGEL, Murray R. — "Estatística" — Ao Livro Técnico S/A, Rio de Janeiro (1969).