

POLIELETRÓLITOS COMO AUXILIARES DE COAGULAÇÃO

Engenheiro LUIZ AUGUSTO MOTTA PACHECO*

RESUMO

O uso de polieletrólitos, como auxiliar de coagulação no tratamento de águas de abastecimento, está bastante difundido. O grande desenvolvimento da sua aplicação, deve-se à grande variedade de polímeros fabricados, ultimamente, e à aprovação de vários deles, pela USP HS, para o uso em tratamento de potabilização d'água.

O trabalho inicialmente descreve os mecanismos em que atuam os polímeros, como auxiliares de coagulação. Dá-se uma pequena introdução sobre os colóides e após isto entra-se em considerações sobre as propriedades físicas e químicas que envolvem o processo de coagulação e floculação.

Os ensaios práticos foram feitos em "jar-test" nos laboratórios da ETA Cabuçu (SABESP), orientados pelo bioquímico João Luiz Buitron e Eng.º Massao Noguti.

Descreve-se também o manuseio, aplicação e estocagem dos polímeros.

Verificou-se que a eficiência dos auxiliares de coagulação varia com o tipo de água bruta. Os ensaios foram feitos com água bruta de vários mananciais da região metropolitana de São Paulo.

Houve melhoria na qualidade da água decantada em remoção de cor e turbidez. Constatou-se que a ação dos auxiliares de coagulação proporciona aumento da velocidade de sedimentação e diminui o tempo de detenção nos floculadores.

Concluiu-se ser imprescindível estudar a possibilidade de se usar polímeros em projetos

novos de tratamento de água de altas taxas de aplicação, bem como na reabilitação de velhas Estações de tratamento, com a redução significativa nas estruturas de concreto dos decantadores e floculadores.

I — INTRODUÇÃO

Antes de considerar as propriedades e usos dos polieletrólitos introduziremos o que se entende por polieletrólitos. Originalmente este termo foi utilizado por Fuoss para definir polímeros orgânicos que poderiam ser transformados em moléculas de grandes cadeias com regiões ionizadas ao longo do seu comprimento.

O termo polímero é dado à cadeia de subunidades que se uniram para formar uma grande molécula. Alguns polímeros contêm subunidades iguais ao longo de toda a molécula e neste caso são chamados de homopolímeros. Outros com subunidades diferentes na mesma molécula são chamados de co-polímeros. Estas subunidades são chamadas de monômeros. Como tanto o número como o tipo de monômeros podem variar grandemente na formação de uma molécula, poderá ser produzida uma grande variedade de tipos de polímeros. As cadeias de polímeros podem ser lineares ou ramificadas, podendo inclusive possuir grupos ionizáveis. Neste caso, devido às suas características como polímeros e como eletrólitos, estes produtos são chamados polieletrólitos.

Embora seu uso generalizado no tratamento d'água seja relativamente recente, o processo já é bastante antigo, embora empírico durante muito tempo. Alguns destes compostos têm demonstrado ser excelentes auxiliares na floculação, sendo inclusive chamados "polímeros floculantes".

* Engenheiro da Diretoria de Planejamento da SABESP

Antes da introdução de produtos de polímeros naturais e sintéticos, não havia competidor sério para a sílica ativada, como auxiliar de floculação.

Alguns compostos orgânicos naturais foram utilizados como auxiliares de coagulação, tais como amido e seus derivados, compostos de celulose, gomas de polyssacarídeos, e materiais protéicos. Atualmente, é bastante claro porque muitos destes compostos naturais são usados como auxiliares de floculação, pois nada mais são do que polieletrólitos naturais.

A vantagem dos polieletrólitos sintéticos sobre os naturais é que sua molécula pode ser feita sob medida para atender requisitos específicos. Isto, de fato, tem sido feito usando-se vários monômeros ou unidades de diferentes grupos iônicos, polymerizando-se estes materiais e fazendo uma grande variedade de compostos.

Todos os polieletrólitos sintéticos podem ser classificados com base no tipo de carga na cadeia de polímero. Portanto, os polímeros que possuem cargas negativas são chamados **aniônicos**, enquanto que os que possuem cargas positivas são chamados **catiônicos**. Os compostos que não possuem carga alguma são

chamados polieletrólitos **não-iônicos**. (Vide exemplos na Fig. 1).

Devido à grande variedade de monômeros disponíveis como matéria-prima e à adicional variedade que pode ser obtida variando o peso molecular, carga, densidade e grupos ionizáveis, não é de se surpreender a grande quantidade de polieletrólitos disponíveis para o tratamento d'água.

O maior benefício que o polieletrólito pode proporcionar é o aumento do tamanho e da densidade do floco formado.

Em geral, polieletrólitos aniônicos comportam-se, simplesmente, como auxiliares de floculação, os quais modificam as características físicas do floco produzido pelos coagulantes de ferro e/ou alumínio. Testes têm demonstrado que a eficiência destes polieletrólitos é quase independente do pH, alcalinidade, dureza e turbidez. No entanto a dosagem ótima do polieletrólito cresce linearmente com o sal de alumínio ou de ferro.

Os polieletrólitos catiônicos podem ser utilizados inclusive como coagulantes, reduzindo, ou mesmo eliminando, o uso de sais de alumínio ou de ferro. A turbidez remanescente em geral é relativamente alta. A remoção de cor é praticamente total. As dosagens ótimas dos catiônicos são sempre maiores do que as dos aniônicos ou não-iônicos.

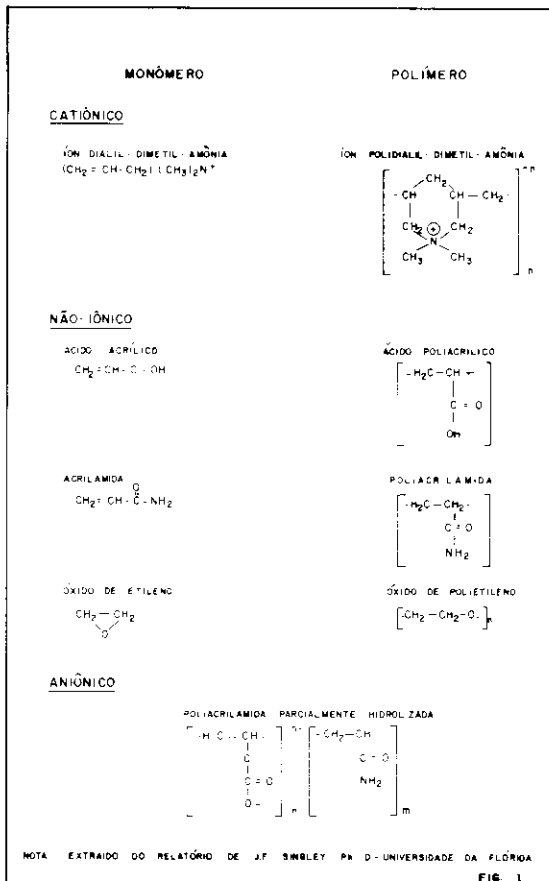
Os polieletrólitos não-iônicos são utilizados somente como auxiliares de floculação e sua aplicação é eficiente após a adição dos sais, coagulantes de alumínio ou de ferro.

A utilização dos auxiliares de coagulação têm grande valia quando a floculação se torna difícil devido à variação da qualidade d'água ou por causa da influência de variação de temperaturas.

Tal como sílica ativada, a adequada adição de polieletrólito varia com o tipo de água. Geralmente o polímero é adicionado como solução diluída com um coagulante de Al ou de Fe.

É necessário uma mistura rápida para se obter uma rápida dispersão do coagulante e do polímero. Em alguns casos pode ser benéfico o uso de dois tipos de polieletrólitos aniônicos e catiônicos, cada um sendo dosado separadamente e suas dosagens sendo controladas por medidas de potencial Zeta.

Em geral os polímeros catiônicos funcionam bem quando aplicados antes do ponto de aplicação do coagulante principal. Se houver uma mistura rápida para dispersar o polímero na água bruta, 30 a 60 segundos de antecedência são suficientes. Houve casos, porém, em que se obteve resultado positivo, sem mistura rápida, aplicando-se o polieletrólito catiônico na



tubulação adutora da água bruta a 1 km a montante da ETA¹.

Em testes recentemente feitos na ETA Caçu (São Paulo) por J. L. Buitron e Massao Noguti, verificou-se uma melhora de eficiência de remoção de turbidez e cor quando polieletrólitos aniônicos ou não-iônicos eram aplicados após a aplicação do sulfato de alumínio.

II — TEORIA E MECANISMOS DOS P.E. COMO AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO

Antes de introduzirmos a teoria do mecanismo dos polieletrólitos como coagulantes de colóides, resumiremos as propriedades dos colóides propriamente ditos.

É bastante conhecido que a maioria dos colóides naturais são negativamente carregados e que esta carga é grandemente responsável pela sua estabilidade.

As partículas coloidais são tão pequenas que não se sedimentam apreciavelmente pela ação da gravidade. Pode ser estimado que partículas coloidais demoram 21 anos para decantar uma distância de 10 cm.

Obviamente, se várias pequenas partículas coloidais se aglomerarem formando uma de tamanho maior, a velocidade de sedimentação aumentará.

Os colóides contêm grupos ionizáveis na sua superfície ou suficientemente próximos à sua superfície para ocasionar a difusão dos íons de sinal contrário no seio da massa líquida, deixando no entanto uma carga residual na superfície da partícula. Desde que a maioria destes grupos ionizados são naturalmente carregados negativamente, os colóides também ficam negativamente carregados.

As partículas coloidais podem ser aglomeradas desde que haja uma força suficientemente grande para vencer a repulsão entre elas, para que as mesmas cheguem perto umas das outras o suficiente para que as forças de atração de Van der Waals as mantenham unidas.

Já está comprovado que a simples aplicação de energia à água para conseguir tal intento não é eficiente. Daí a necessidade de outros meios para se conseguir a aglomeração das partículas.

Há basicamente duas teorias que se aplicam para a explicação do mecanismo da coagulação de colóides; a teoria química que se baseia em interações puramente químicas e a teoria física, baseada em interações físicas.

A teoria química visualiza os colóides como partículas com estruturas quimicamente de-

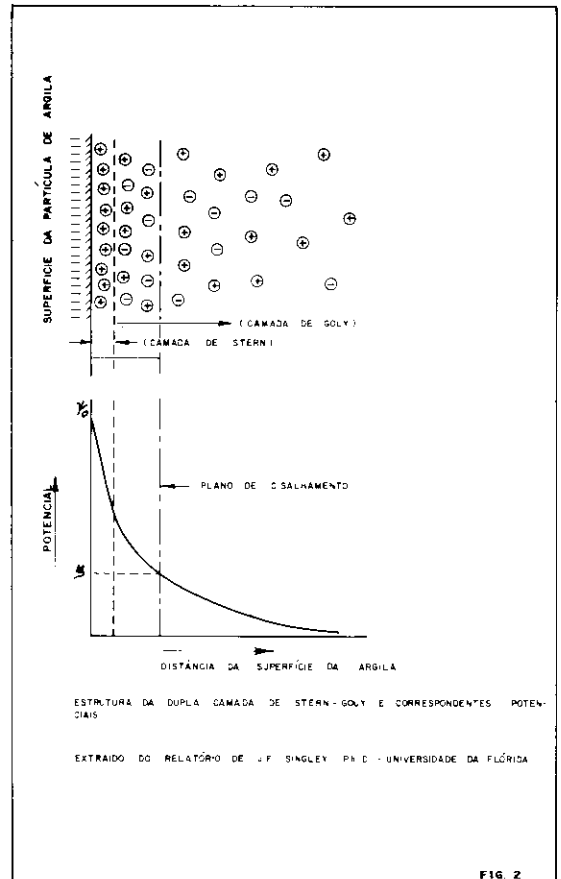
finidas que reagem especificamente com os coagulantes formando complexos insolúveis que se precipitam.

A teoria física baseia-se na redução efetiva das cargas elétricas das partículas, permitindo que as mesmas se aproximem facilitando o choque entre elas formando finalmente uma partícula de maiores dimensões, passível de sedimentação em tempos praticamente rápidos. Esta teoria implica no reconhecimento da chamada "dupla-camada" das partículas coloidais atribuídas a Stern e Guoy.

Um sistema coloidal não tem um saldo de cargas elétricas. As cargas elétricas dos colóides estão balanceadas por um número igual de íons de cargas contrárias na solução. Na interface entre solução e partícula coloidal, existe um potencial elétrico.

Os íons contrários são atraídos para a interface proporcionalmente à magnitude da carga. A distribuição dos íons contrários na solução é função do número destes íons opostos que estão disponíveis (Vide Fig. 2).

A carga nestas partículas não pode ser medida diretamente, pois parte da dupla-camada de íons contrários, move-se junto com a partícula no seio da massa líquida, por impo-



1. Rinconada Water Treatment Plant — San José — California.

sição térmica, diferença de potencial ou qualquer outro efeito através do sistema.

A carga no plano de escorregamento é conhecida como POTENCIAL ZETA.

Este é o potencial que pode ser medido, ao invés do potencial na superfície da partícula. A distribuição deste potencial é influenciada pela concentração de íons contrários na solução.

A Fig. 4 refere-se à alta concentração de eletrólitos na solução; a comparação entre as Figs. 3 e 4 ilustra o efeito da concentração de íons na solução.

Assim pode-se dizer que íons polivalentes são mais eficientes do que íons monovalentes, devido à criação de maior densidade de carga elétrica próxima à superfície carregada da partícula coloidal.

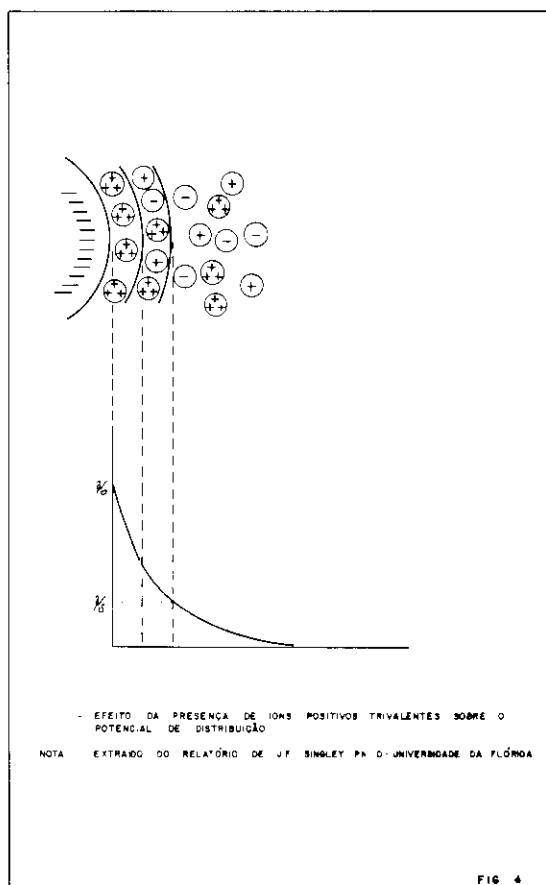
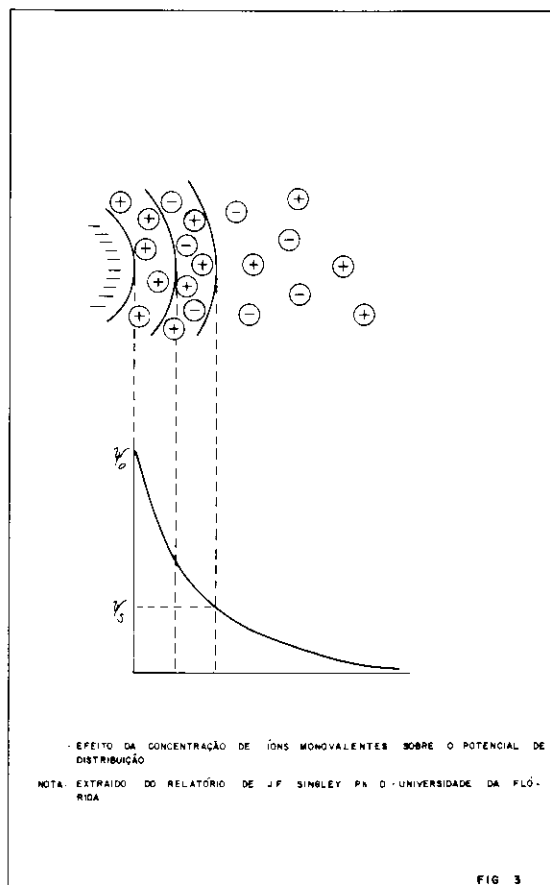
Schulze e Hardy fizeram uma interessante observação que tornou-se uma regra que relaciona poder de coagulação com cargas iônicas.

Um íon divalente é 50 a 70 vezes mais eficiente na neutralização das cargas da partícula coloidal, do que um íon monovalente e um íon trivalente é 600 a 700 vezes mais eficiente do que um monovalente.

A fim de se compreender bem a ação dos polieletrólitos sobre os colóides é necessário combinar-se as duas teorias, física e química, e formar a teoria mais completa da desestabilização das partículas coloidais. Com efeito, tem sido verificado que um único mecanismo de neutralização das cargas tem sido ineficaz em se explicar a coagulação de colóides na água. Várias exceções ocorrem quando se tenta explicar o fenômeno sob um único ponto de vista. Por exemplo, tem sido frequente achar-se a maior eficiência de coagulação com íons de Fe^{+++} ou Al^{+++} com potencial ZETA próximos, mas raramente iguais a zero. Além disso, como explicar, com base em simples modelo eletrostático, a desestabilização de colóides carregados negativamente através de adição de solução de polieletrólitos aniônicos?

Atualmente a melhor explicação do mecanismo de coagulação por polieletrólitos é baseado na absorção do polímero na superfície da partícula coloidal, seguido da redução da carga ou "efeito de ponte" (bridging) entre as partículas coloidais e o polieletrólito.

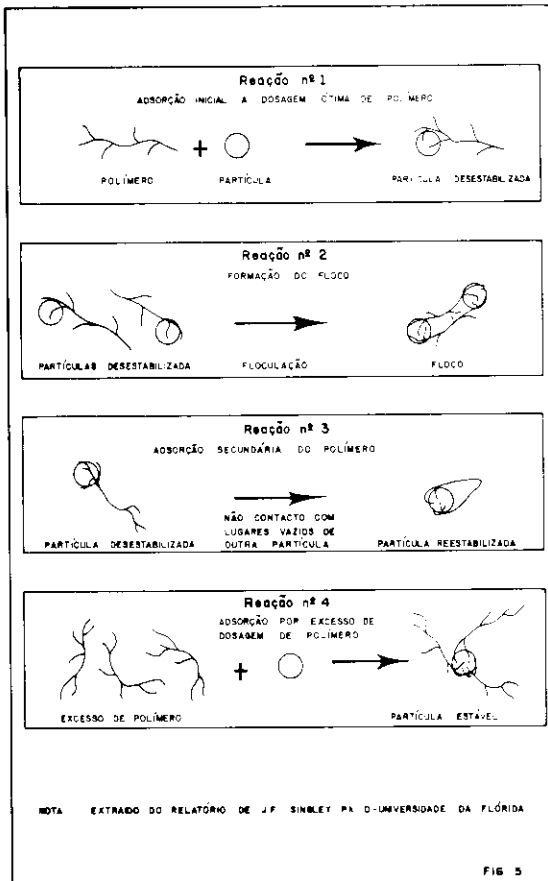
Estes dois mecanismos não são fáceis de ser diferenciados no processo. Há certamente os dois fatores, físico e químico, interagindo.



A atração das partículas do polímero à superfície dos colóides pode ser vista predominantemente como propriedade química ou uma simples propriedade física.

Os polieletrólitos orgânicos, por sua variada natureza, tendem a ser relativamente insolúveis n'água, devido a suas longas cadeias orgânicas que são hidrófobas. Elas tendem a se agregar em qualquer interface do meio aquoso, em qualquer partícula sólida ou superfície do próprio tanque recipiente, ou interface com o ar atmosférico. Esta rejeição da molécula orgânica dos polieletrólitos pelo meio aquoso da solução não é completa devido às zonas ionizáveis ou zonas parcialmente carregadas do próprio polímero. Estas zonas da molécula são atraídas à fase aquosa. Nenhuma interação específica é necessária nestes casos; somente é necessário que a interface seja menos repulsiva que a fase aquosa. Vide Fig. 5, onde se mostra esquematicamente a adsorção e subsequentemente a interação das partículas do polímero e coloidais.

Após a adsorção inicial do polímero, a cadeia pode, inclusive, enrolar-se em redor do colóide. Isto ocorre quando a cadeia do polímero é bastante comprida ou espiralada e não se estende no seio da solução.



Quando existirem altas concentrações de polieletrólitos, os colóides, nestas circunstâncias, poderão restabelecer sua estabilidade inicial.

Se, no entanto, uma ponta da cadeia do polímero estender-se no seio da fase aquosa e a outra ficar ligada a uma partícula coloidal, o polímero poderá ser adsorvido nas partículas da massa líquida. Esta é a teoria proposta por Nenckel e Rumbach.

As partes das cadeias estendidas poderão interagir com outras cadeias ou outras partículas. Se a partícula captada é de carga oposta à da cadeia haverá neutralização de cargas. Isto permitiria partículas parcialmente desestabilizadas ou parcialmente neutralizadas aproximarem-se suficientemente para que as forças de atração de Van der Waals, entre partículas coloidais ou entre colóide e polímero ou entre polímeros, possa uni-los. Estas interações resultam em aglomeração das partículas e na desestabilização dos colóides e consequentemente sedimentação.

Desta maneira a desestabilização de colóides negativamente carregados, com polieletrólitos aniônicos e não-iônicos, fica explicada de maneira coerente.

Quando a energia de adsorção exceder a energia de repulsão, então o fenômeno de adsorção será predominante.

Black, Birkner e Morgan mostram o forte efeito de íons de cálcio no sistema polímero-colóide.

Eles estudaram a desestabilização de partículas de argila com polímeros à base de ácido poliacrílico hidrolizado. Eles verificaram a eficiência dos íons de cálcio na redução das forças eletrostáticas repulsivas entre as partículas de argila, por compressão da dupla-camada e ainda na redução das forças de repulsão nas zonas negativas das moléculas de polímero, adsorvidas.

Cada um destes fenômenos tende a facilitar a adsorção do polímero com partículas coloidais, ou ainda a desestabilização de partículas de argila, permitindo a agregação entre as mesmas ou entre partículas de argila e o polímero adsorvente.

Sommerauer, Sussman e Stumm fornecem ainda informações adicionais sobre o fenômeno, mostrando que os íons de cálcio formam complexos específicos com alguns grupos ionizáveis das partículas coloidais e das cadeias dos polímeros. Em geral verifica-se que um polímero aniônico de longa cadeia é mais eficiente na coagulação de partículas de argila do que polímeros de cadeias curtas, com o mesmo grau de hidrólise. Este fato vem reforçar a idéia da ponte entre partículas para este tipo particular de desestabilização.

Devemos então concluir, pela regra de Schulze e Hardy, que os efeitos de íons de Al^{+++} ou Fe^{+++} serão mais benéficos ainda do que os dos íons de Ca^{++} no sistema argila coloidal polieletrólito aniônico.

III — EXPERIÊNCIAS

1 — Objeto — O objetivo destes ensaios foi selecionar alguns produtos que pudessem trazer melhoria no tratamento d'água aumentando a velocidade de sedimentação, sem prejuízo da qualidade do efluente, ou até permitindo a melhoria da mesma.

Os ensaios foram feitos em "jar-test", no laboratório da ETA Cabuçu — SABESP — SP.

A água bruta foi trazida de outras Estações em tambores plásticos de 30 l. Nos ensaios, procurou-se utilizar a água bruta coletada no mesmo dia, sendo as sobras descartadas.

Nos dias de coleta, foram verificadas nas Estações as dosagens de cloro (pré-cloração) e cal, para se colocar a água bruta coletada em condições análogas à da Estação em estudo.

A seguir foi feito um ensaio para a determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio.

2 — Procedimento do ensaio — Os valores dos gradientes de velocidade, relacionados às velocidades de rotação do aparelho bem como à duração dos mesmos, varia com as características dos floculadores de cada Estação. A descrição que se segue é válida somente para a ETA do Guaraú.

a — Colocou-se 1,5 l de água pré-clorada e alcalinizada em cada um dos seis jarros.

b — Iniciou-se a mistura rápida, com a máxima rotação do aparelho. Em seguida foi adicionada a dose ótima de sulfato de alumínio, simultaneamente, em cada um dos jarros.

c — Após 1 minuto de mistura rápida, iniciou-se a floculação com G de $75 s^{-1}$ equivalente a 60 rpm no aparelho. Neste instante foram adicionadas as diversas doses de polieletrólitos em 5 jarros, ficando um em branco (só com o sulfato) para comparação. As doses variaram de 0,1 até 1,6 mg/l.

d — No 11.º minuto a rotação do aparelho foi baixada para 45 rpm equivalente a um G de $50 s^{-1}$.

e — No 21.º minuto a rotação foi baixada para 30 rpm equivalente a um G de $30 s^{-1}$.

f — Pararam-se os agitadores aos 31 minutos do início do teste para dar início à decantação.

g — A 1.ª coleta deu-se a 1 minuto e 40 segundos após o início da decantação. Como a coleta foi feita a 10 cm de profundidade, a

velocidade de sedimentação correspondente é de: $10 \text{ cm} \div 1,66 \text{ min} = 6 \text{ cm/min}$.

h — A 2.ª coleta deu-se 2 minutos e 30 segundos após o início da decantação. Pelo mesmo motivo do item anterior a velocidade de decantação correspondente a estas amostras foi de 4 cm/min.

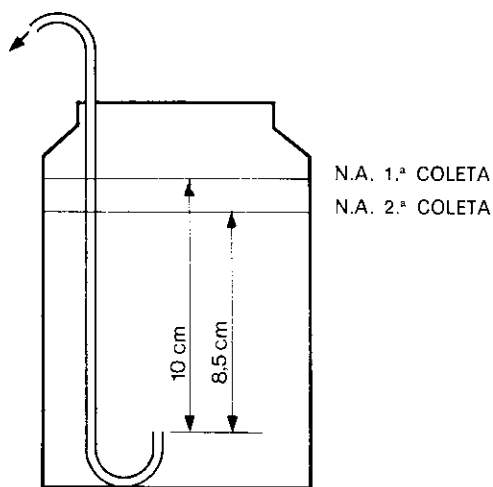
i — Em procedimento análogo aos anteriores foi feita a 3.ª coleta aos 3 minutos e 20 segundos, referindo-se a uma velocidade de decantação de 3 cm/min.

j — O volume de cada uma das amostras retiradas do sobrenadante era de aproximadamente 30 a 50 ml.

l — Destas amostras eram medidos em seguida cor, turbidez e pH e os valores colocados em gráficos e tabelas (vide exemplos anexos).

NOTA: O volume das amostras retiradas correspondem a um abaixamento no nível inicial da água em cada jarro. Desde que não se retire amostras de volume grande, maior do que 40 ml, pode-se desprezar o abaixamento do nível d'água para se medir a velocidade de sedimentação em cm/min. Caso contrário, deve-se, antes do ensaio, estimar a nova altura de coleta e corrigir o tempo de decantação.

Por exemplo:



Situação da 1.ª coleta: altura de coleta = 10 cm

Tempo de decantação 2,5 min.

Velocidade de decantação = $10 \div 2,5 = 4,0 \text{ cm/min}$.

Situação da 2.ª coleta: altura de coleta = 8,5 cm

Para o tempo de decantação de 1,7 min, a velocidade de decantação é de 5,0 cm/min.

Se considerasse a altura de 10 cm como na situação inicial, para o mesmo tempo de decantação ter-se-ia a velocidade de 5,9 cm/min.

3 — Resultados dos testes — Faz-se a seguir a exposição de apenas alguns resultados representativos da enorme série de ensaios executados.

a — ETA do Guarau

Características da água bruta e da água bruta preparada para o ensaio (vide quadro de resultados).

	Água bruta	Água pré-clorada
pH	7.8	7.2
Cor (UC)	20.0	22.5
Turbidez JTU	7.8	9.2
Alcalinidade mg/l CaCO ₃	28.0	24.0

b — Quadro comparativo

Este quadro foi feito colocando-se alguns resultados obtidos para cada ETA, para comparação do efeito do mesmo produto para diversas águas.

Não se fez comparações para a baixa velocidade de 2,5 cm/min porque os resultados ficam próximos uns dos outros ficando difícil de classificá-los quanto à sua eficiência (vide gráfico n.º 10).

4 — Conclusões

a — Pelo gráfico 10 verifica-se que para

QUADRO DE RESULTADOS					
PRODUTO AUXILIAR		pH	TURBIDEZ (JTU) REMANESCENTE		
NOME	DOSAGEM (ppm)		V ₁ = 7.5 cm/min	V ₂ = 4.5 cm/min	V ₃ = 2.5 cm/min
SUPERFLOC N100	0.00	6.9	8.20	5.90	2.90
	0.05	7.0	6.30	1.90	1.10
	0.10	7.0	3.10	1.50	0.66
	0.30	7.0	1.80	1.20	1.10
	0.60	7.1	3.70	2.30	2.30
	1.00	7.1	4.00	2.40	2.20
HALCOLYTE B170	0.00	7.0	7.70	2.70	1.20
	0.05	7.2	5.20	1.80	0.80
	0.10	7.2	1.10	0.75	0.65
	0.30	7.1	1.10	0.70	0.75
	0.60	7.1	1.30	1.20	1.30
	1.00	7.1	1.60	1.50	1.40
HALCOLYTE B061	0.00	7.1	9.00	3.80	1.90
	0.05	7.1	8.70	3.50	1.50
	0.10	7.1	5.70	2.30	1.50
	0.30	7.2	0.80	0.80	0.70
	0.60	7.1	0.68	0.65	0.63
	1.00	7.1	1.00	0.80	0.80
DREWLOC 307	0.00	7.2	8.70	5.50	1.70
	0.05	7.2	2.50	1.00	0.54
	0.10	7.2	1.40	0.56	0.58
	0.30	7.2	0.58	0.53	0.55
	0.60	7.2	0.56	0.54	0.54
	1.00	7.2	0.61	0.62	0.62

baixas taxas de decantação as vantagens dos auxiliares de coagulação são menores, em termo de qualidade d'água decantada, do que quando se utiliza polieletrólitos a altas taxas.

b — Foi feita uma outra série de ensaios fixando-se uma dosagem única de polímero e variando-se a dosagem de sulfato de alumínio, verificando-se que é muito importante trabalhar na faixa de dosagens corretas, pois uma certa dosagem de polieletrólitos terá efeito nulo ou mesmo desastroso se for utilizada com dosagens abaixo ou acima da ótima de sulfato de alumínio. (Vide Gráfico n.º 9). Em outras palavras, quando se trabalha com polímeros aniônicos ou não-iônicos, não se pode realmente falar em dosagem ótima de polímero ou de coagulante, e sim de combinação ótima de dosagens de polímero e coagulante.

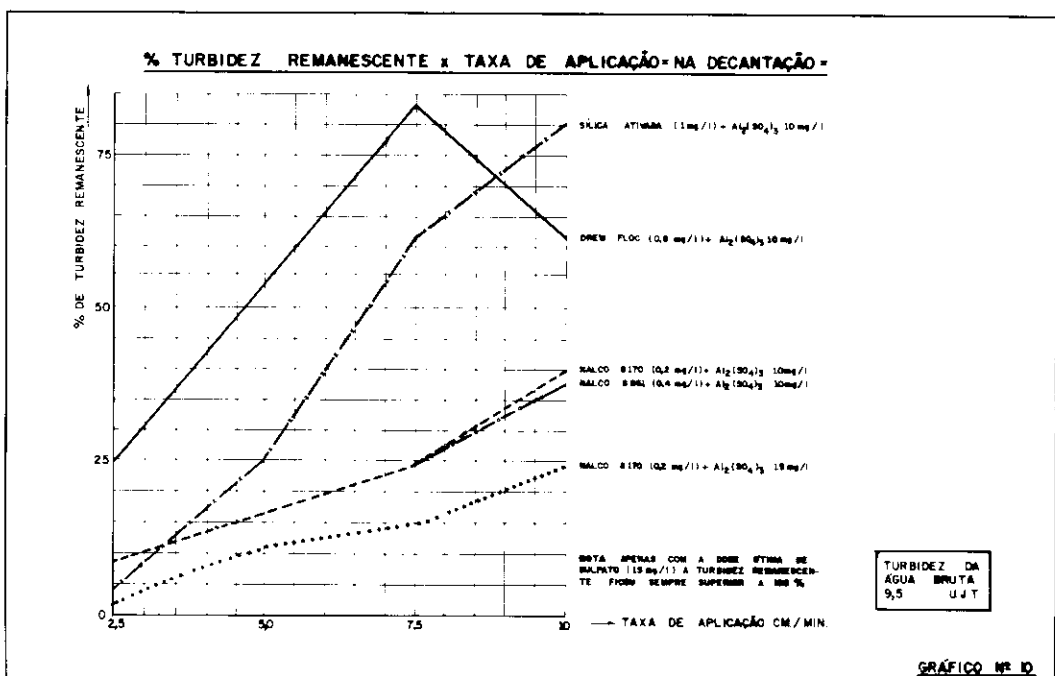
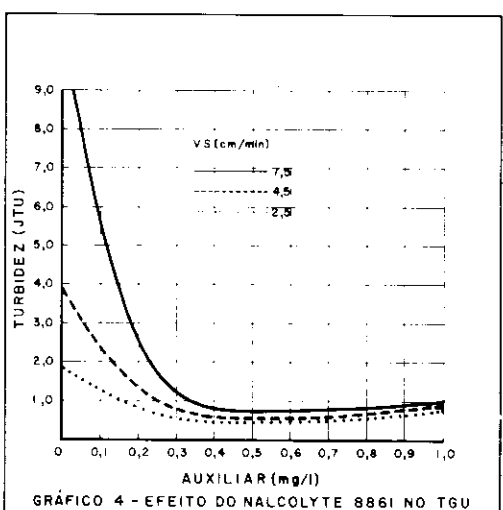
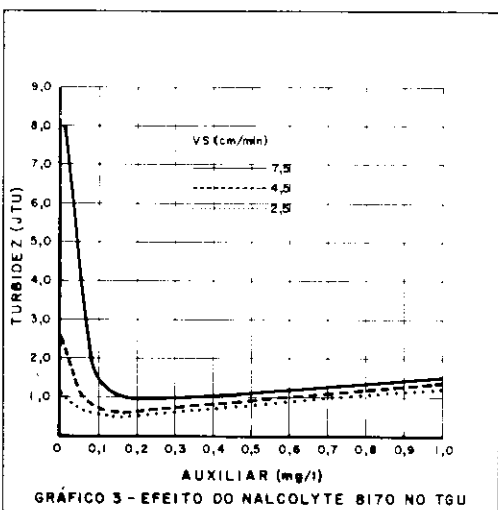
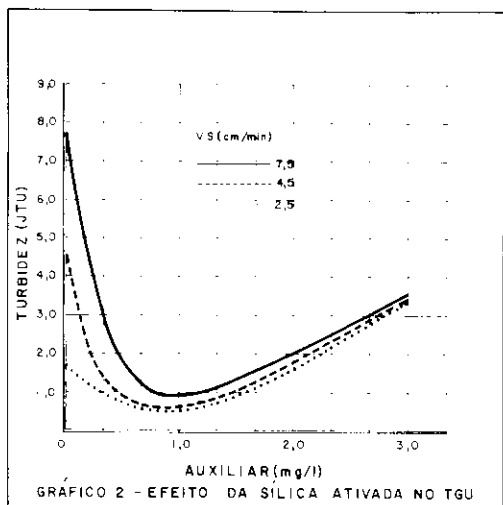
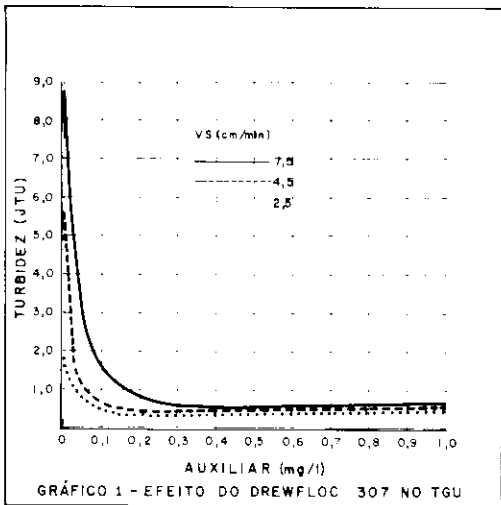
c — A aplicação de sílica ativada mostrou uma eficiência equivalente à dos polieletrólitos. Apesar de na maioria dos casos a dosagem ótima da sílica ter sido em torno de 1 a 2 ppm (dos polieletrólitos em torno de 0.2 a 0.3 ppm), portanto, algumas vezes maior, o seu baixo preço de aquisição no mercado fez com que a mesma se revelasse mais econômica.

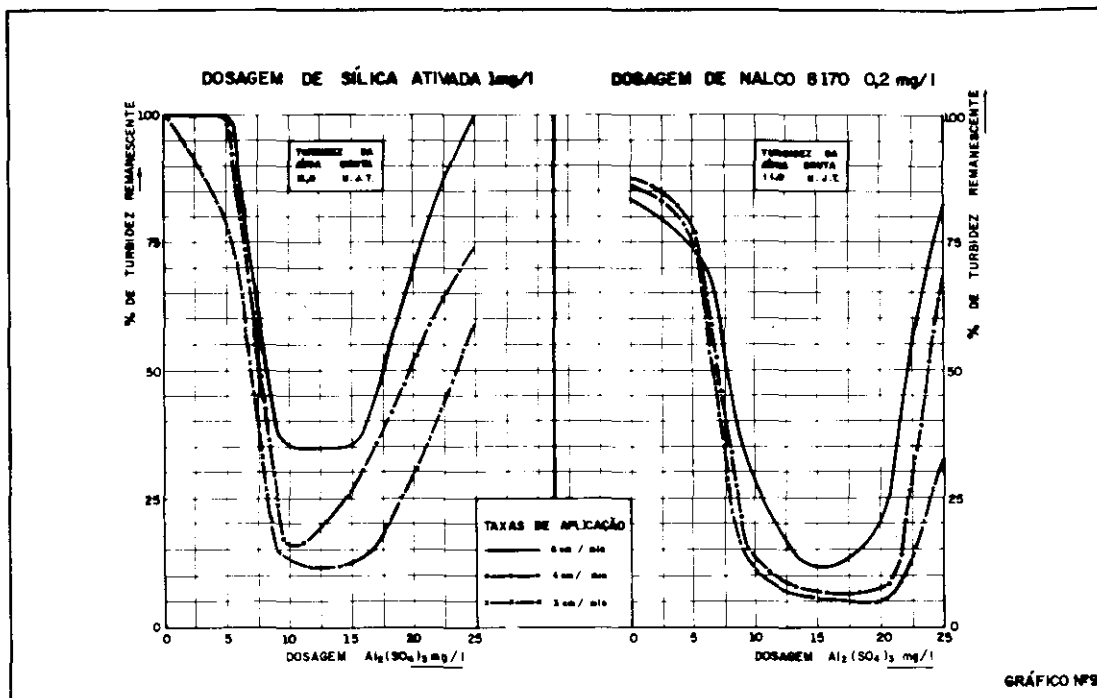
d — A decisão de se usar qualquer polieletrólito ou sílica ativada deve ser feita após ensaios, pois como pode ser verificado, pelos resultados obtidos, que alguns polieletrólitos funcionaram bem em algumas águas e não deram resultados em outras, o mesmo ocorrendo com a sílica ativada.

e — A faixa de dosagem ótima dos polieletrólitos é bastante estreita, ao redor de 0.1 a 0.5 mg/l. Portanto as dosagens devem ser feitas com soluções diluídas para facilitar o controle e a aplicação, além de outros problemas específicos do produto que serão abordados no cap. IV.

f — As dosagens de polieletrólitos devem ser controladas com cuidado, pois sobre-dosagens acarretariam restabilização dos colóides provocando nuvens de turbidez que colmatariam os filtros rapidamente. Estes fatos ocorreram na ETA de Teodoro Ramos (SABESP) em São Paulo, em experiências com a equipe da antiga SPR (COMASP) e na ETA da cidade de Rio Claro no interior do Estado de São Paulo, em experiências sob a orientação do Eng.º J. R. Campos.

g — Vários produtos testados mostraram resultados positivos. O quadro comparativo mostra alguns exemplos da eficiência de remoção de turbidez da água bruta. Observa-se também que os jarros em branco, sem o auxiliar de coagulação, não apresentaram resultados favoráveis. Para a velocidade de 7.5 cm/min houve aumento de turbidez durante o processo.





Para a velocidade de 4.5 cm/min houve, no melhor caso, apenas 24,3% de remoção de turbidez. Os melhores resultados obtidos com a adição de auxiliares foram da ordem de 90% da remoção de turbidez com valores abaixo de 1 U.J.T.

h — Decorre daí, que o dimensionamento de um decantador para esta taxa de decantação traria grande redução de seu tamanho físico.

$$V_s = 7,5 \text{ cm/min, ou } \frac{7,5 \times 1440}{100} = 108 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

As taxas para decantação clássica são da ordem de 2,8 cm/min, ou

$$\frac{2,8 \times 1440}{100} = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

Se tivermos uma ETA para vazão nominal de 1 m³/seg. ou 86.400 m³/dia as áreas dos decantadores para cada uma das taxas serão:

$$\text{Area} = \frac{Q}{V_s} \text{ onde } Q = \text{vazão m}^3/\text{dia e } V_s = \text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

— Para decantador clássico com aplicação do auxiliar de coagulação conforme o testado:

$$S_1 = \text{Área} = \frac{Q}{V_s} = \frac{86400}{108} = 800 \text{ m}^2$$

— Para decantador clássico sem a aplicação de auxiliar de coagulação:

$$S_2 = \text{Área} = \frac{Q}{V_s} = \frac{86400}{40} = 2.160 \text{ m}^2$$

$$\text{Relação entre as áreas} = S_1 : S_2 = \frac{800}{2160} = S_1 = 0.37 S_2$$

Nestas condições podemos dizer que o custo das estruturas de decantação é 63% menor quando se planeja utilizar auxiliares de coagulação. Há, porém, o acréscimo do custo operacional, diretamente relacionado com o preço de compra do produto auxiliar de coagulação, e há também um acréscimo de investimento na compra e instalação do equipamento de dissolução e dosagem dos auxiliares de coagulação.

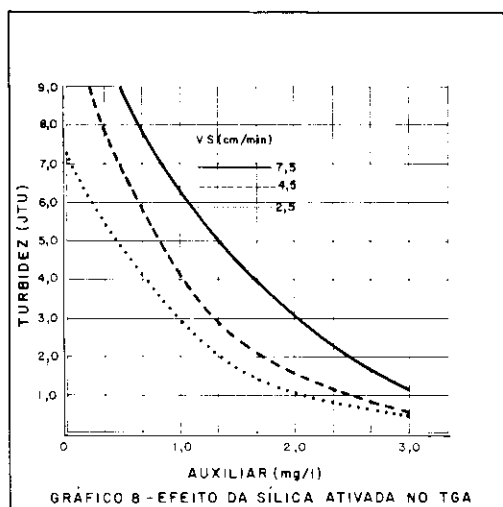
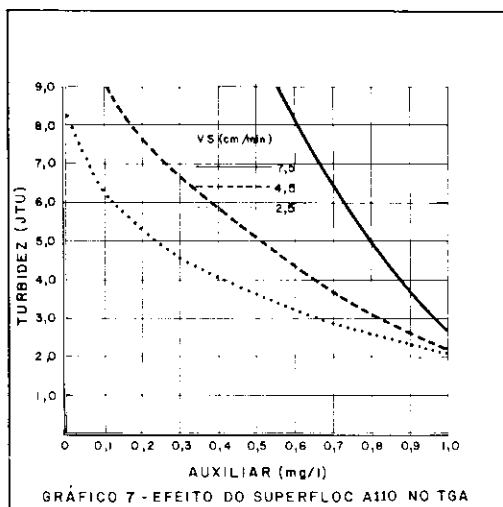
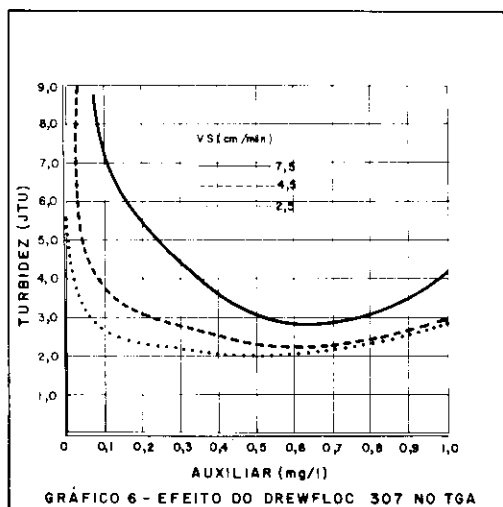
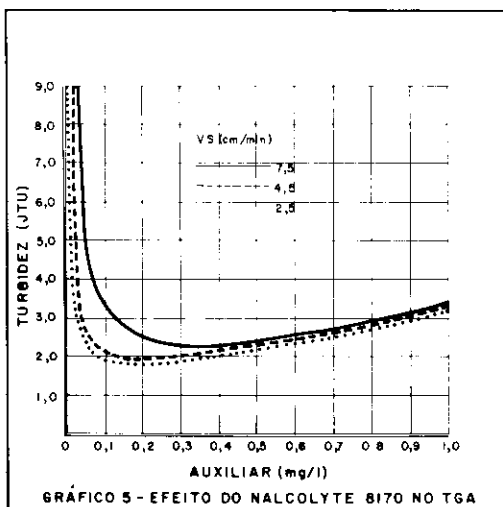
i — Observou-se também que nos primeiros dez minutos de floculação, já se haviam formado flocos grandes e bem definidos, concluindo-se que o tempo de detenção nos floculadores poderia ser reduzido de 30 min (tempo de detenção classicamente adotado) para aproximadamente 15 min.

Isto também acarretaria uma redução no custo das estruturas das bacias de floculação de aproximadamente 50%.

Segure-se que para cada projeto novo se estude em laboratório o tempo ótimo de floculação para a otimização da qualidade de floco obtido e custo de estruturas.

QUADRO COMPARATIVO

ÁGUA BRUTA		PRODUTO AUXILIAR		TURBIDEZ REMANESCENTE		% DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ	
PROCEDÊNCIA	TURBIDEZ	NOME	DOSAGEM (mg/l.)	V _s = 7,5 cm/min.	V _s = 4,5 cm/min.	V _s = 7,5 cm/min.	V _s = 4,5 cm/min.
(TGU) ETA GUARAU	7.8	-	-	8.20	5.90	-	24.3
	7.8	Super-floc M100	0.30	1.80	1.20	76.9	84.6
	7.8	Nalcolyte 8170	0.10	1.10	0.75	85.9	90.4
	7.8	Nalcolyte 8861	0.30	0.80	0.80	89.7	89.7
	7.8	Drew floc 307	0.30	0.58	0.53	92.6	93.2
	9.3	Sil. Ativada	2.00	0.35	0.30	96.2	96.7
(TRG) ETA DO ABC	3.7	-	-	8.50	4.70	-	-
	3.7	Drew floc 307	0.30	0.75	0.52	79.7	85.9
	3.7	Nalcolyte 8170	0.30	0.85	0.54	77.0	85.4
	3.7	Sil. Ativada	2.00	0.55	0.30	85.1	91.9
(TGA) ETA DO ABV	12.0	-	-	14.00	9.80	-	18.3
	12.0	Drew floc 307	1.00	3.00	3.10	75.0	74.2
	12.0	Nalcolyte 8170	0.30	2.80	2.10	76.7	82.5
	12.0	Sil. Ativada	3.00	1.20	0.60	90.0	95.0



j — Uma outra enorme vantagem dos auxiliares de coagulação, que daí resulta, é na reabilitação de velhas Estações de Tratamento d'água, classicamente operadas, em que se pretende ampliar a vazão da mesma sem construir nova etapa de construção civil. Poder-se-ia dobrar a vazão desta estação mesmo que o tempo de floculação seja metade e que a taxa de decantação passe de 40 m/dia para 80 m/dia.

Evidentemente numa reabilitação como esta há outros fatores hidráulicos que porventura poderão ser mais críticos e não permitiriam um aumento de vazão sem troca de tubulação ou aumento da secção de canais. Porém o que aqui enfocamos é o aumento da capacidade da Estação sob o ponto de vista de processo. Portanto contornado o problema das restrições hidráulicas e a etapa de filtração, podemos afirmar que as Estações clássicas, que não aplicam auxiliares de coagulantes, têm em potencial o dobro de sua capacidade nominal.

l — Efeitos na filtração — Com valores baixos de turbidez da água decantada, abaixo de 1 UJT, haveria grande alívio de carga de material em suspensão que fica retido no leito filtrante. Esta carga poderia ser expressa em concentração de turbidez afluente que reflete em três parâmetros fundamentais, que definem o desempenho de um filtro. Estes parâmetros são: qualidade do efluente, carreira de filtração e taxa de filtração.

A diminuição da concentração de turbidez na água afluente para os filtros melhora a qualidade efluente, aumenta a carreira de filtração e a taxa de filtração.

A melhor qualidade efluente dá maior segurança ao sistema e diminui o consumo de cloro na desinfecção final.

O maior número de horas de funcionamento de filtros entre duas lavagens, isto é, o aumento da carreira de filtração reduz o consumo de água de lavagem, aumentando a eficiência da própria estação.

O aumento da taxa de filtração aumenta diretamente a vazão da estação, também aumentando o rendimento da mesma. O aumento da taxa de filtração é possível, sem alteração da qualidade afluente, porque os flocos que passam através do decantador para atingir os filtros são mais firmes, resistindo a maiores velocidades da água entre os interstícios granulares sem que os mesmos se quebrem em partículas menores que atravessariam o leito filtrante, deteriorando a qualidade final.

Sugere-se que como continuidade destes estudos e comprovação do acima exposto sejam feitos ensaios de filtrabilidade com os sobrenadantes dos jarros.

m — Efeitos sobre o lodo resultante nos

decantadores — Há conseqüências benéficas da aplicação dos polieletrólitos como auxiliares de coagulação no lodo resultante da sedimentação dos flocos formados.

Uma estação de tratamento de água produz um despejo de alta concentração de sólidos que é o lodo formado nos decantadores. O lodo produzido em conseqüência da aplicação de sulfato de alumínio é gelatinoso, leve e de difícil manuseio.

Com a aplicação de polieletrólitos há maior adensamento do lodo, resultando uma água sobrenadante de boas características de qualidade e maiores facilidades na secagem e sua disposição final.

A maior resistência do flocos do lodo permite maior eficiência na secagem por filtração a vácuo ou prensagem.

De hoje em diante com a política ativa de controle de poluição não se pode admitir que nos novos projetos e reabilitações se deixe de lado o problema da disposição dos resíduos de uma Estação de tratamento de água. Assim sendo a aplicação de auxiliares de coagulação terão mais uma importante vantagem operacional, resultando maior eficiência no controle de poluição com vantagens econômicas.

n — Estudo comparativo de custo — A aplicação de auxiliares de coagulação implica num acréscimo de custo operacional proveniente do custo do produto aplicado. O custo será comparado na base de 1 m³/seg. de vazão para velocidade de sedimentação de 108 m/dia (Vide quadro n.º 3).

Os custos que figuram na última coluna devem ser comparados com:

a) a economia de água de lavagem e o menor custo de disposição de lodo.

b) em caso de ampliação, a redução do investimento necessário.

A experiência tem revelado que, normalmente, o emprego de polieletrólitos é vantajoso, especialmente quando se cogita de aumento de capacidade.

V — TRANSPORTE, ESTOCAGEM, APLICAÇÃO

Os polieletrólitos podem ser encontrados em forma líquida, com ou sem solução ativadora ou em forma de pó seco.

1 — Transporte, estocagem

a — Polímeros a seco

Os polímeros secos são bastante higroscópicos e devem ser estocados em local de pouca ou nenhuma umidade, sempre que possível. O material deverá ser estocado nos sacos de embalagem original, até o momento de ser utilizado. Os sacos devem ser empilhados

NOME DO PRODUTO	ETA	TURBIDEZ (JTU)		DOSAGEM (mg./l.)	CONSUMO Kg / DIA	CUSTO	
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA DECANT.			Cr \$ / Kg	Cr \$ / 1000m ³ ÁGUA PRODUZ
SUPERFLOC M100	TGU	9.3	1.80	0.30	25.92	35,00	10,50
NALCOLYTE 9170	"	9.3	1.10	0.10	8.64	37,00	3,70
NALCOLYTE 8861	"	9.3	0.80	0.30	25.92	20,00	6,00
DREWFLOC 307	"	9.3	0.58	0.30	25.92	39,00	11,70
SIL ATIVADA	"	9.3	0.35	2.00	172.80	3,00	6,00
DREWFLOC 307	TRG	3.7	0.75	0.30	25.92	39,00	11,70
NALCOLYTE 8170	"	3.7	0.85	0.30	25.92	37,00	11,10
SIL ATIVADA	"	3.7	0.55	2.00	172.80	3,00	6,00
DREWFLOC 307	TGA	12.0	3.00	1.00	86.40	39,00	39,00
NALCOLYTE 8170	"	12.0	2.80	0.30	25.92	37,00	11,10
SIL ATIVADA	"	12.0	1.20	3.00	259.20	3,00	9,00

QUADRO 3

sobre um estrado de madeira com um espaço livre acima do piso.

Os polímeros de forma granular a seco são bastante estáveis e quando estocados nas condições acima descritas podem ser guardados por períodos de até 12 meses, sem se deteriorarem.

Quando a solução é preparada, isto é, o material seco é dissolvido em água, ela se torna pouco durável. Recomenda-se que não se guarde a solução pronta para a sua aplicação por um período maior do que 24 horas.

O elevado peso molecular dos polímeros não-iônicos e aniônicos faz com que haja uma tendência de desmembramento das moléculas para a formação de subgrupos de forma mais simples, por rompimento das ligações entre os átomos de carbono. Esta degradação dos polímeros é função do tempo, temperatura e de outros constituintes na solução aquosa. A água de dissolução deve ser sempre água já tratada e de preferência sem cloro residual, porque há certos polieletrólitos que têm a capacidade de reagir com átomos de cloro, rompendo sua cadeia ou mesmo formando radicais clorados que alteram suas propriedades tirando sua eficácia como auxiliares de coagulação.

Para grandes consumidores há a possibilidade de se receber o material seco a granel em containers e estocá-los em silos. Até o momento muito pouco tem-se feito a respeito. Até agora só se tem notícias de alguns indivíduos, que não pertencem a sistemas de abastecimento de água e que estão estocando polímeros a granel em silos.

Cuidados especiais são necessários quando se manuseia e se armazena grandes quan-

tidades de polímeros a granel e seco. A atmosfera dos containers de transporte bem como a do silo de estocagem, deve ser de ar seco ou algum gás seco inerte.

Quando pó seco de polímeros é exposto em atmosfera razoavelmente úmida ou com vapor d'água, há a formação de massas amorfas e gelatinosas.

Uma vez formadas essas gelatinas, é muito difícil de se conseguir a dissolução completa das mesmas e seu manuseio torna-se trabalhoso.

Em casos mais comuns de abastecimento de água em que são usados polímeros como auxiliares de coagulação eles são estocados em sacos de 12 kg ou 24 kg para que se possa fazer um tanque de solução utilizando sempre um número inteiro de sacos.

b — Polímeros líquidos.

Os polieletrólitos líquidos são na sua maioria catiônicos em soluções contendo cerca de 10% a 60% de polímero ativo. A atividade usualmente depende da viscosidade da solução final. Ele é fornecido em forma líquida para facilitar o manuseio e porque na prática não se pode secá-los e redissolvê-los e ainda formar bons coagulantes.

Há alguns polímeros não-iônicos ou aniônicos líquidos mas que antes de serem aplicados devem ser misturados com uma solução ativadora. A solução ativadora vem em embalagens separadas em quantidade suficiente para a sua utilização junto ao polímero. A solução ativadora vem em latas de 20 l aproximadamente.

Os polieletrólitos líquidos são transportados em tambores de 200 l e devem ser estoca-

dos em sua embalagem original.

Os tambores são de aço revestidos com material anticorrosivo. Algumas vezes usa-se tambores revestidos com polietileno para proteção tanto do tambor como do polímero.

Os tambores deverão ser mantidos fechados durante todo o tempo de estocagem. Há certos polímeros que tendem a oxidar-se, quando expostos ao ar, diminuindo a sua eficiência.

Quando se considera grandes consumos, o transporte em carros-tanques e estocagem em tanques de estocagem poderá trazer vantagens econômicas. Isto começa a ser interessante para consumos acima de 200 l de polímero por dia, ou seja, acima de um tambor diário.

Normalmente o preço do produto em carros-tanques é menor do que em tambores. Além disso, o transporte será baseado no volume ou tonelagem líquida do produto, eliminando o volume perdido entre tambores e o peso dos mesmos, portanto barateando o custo do transporte.

O transporte poderá ser feito em caminhões-tanques ou mesmo em vagões-ferroviários, se for o caso mais conveniente.

Em qualquer caso os tanques deverão ser de aço inoxidável ou aço carbono desde que revestidos com epoxy ou borracha na superfície interna.

Há certos produtos que penetram a borracha, atacam a parede metálica do tanque e ao voltar para a solução no tanque poderão contaminá-la e tornar o produto não utilizável em potabilização da água.

Todos os tanques de transporte devem ser cuidadosamente lavados antes de serem carregados com polieletrólitos.

Os tanques de estocagem nas devidas estações de tratamento poderão ser de aço inoxidável, fibra de vidro ou aço carbono comum revestido com material anticorrosivo.

A tubulação para o tanque de estocagem e daí para as bombas dosadoras e pontos de aplicação deverão ser de PVC ou similar.

Se o ar atmosférico for um oxidante que afete significativamente o polímero deverá ser providenciada uma maneira de manter uma atmosfera de nitrogênio seco sobre o líquido dentro do tanque. O fornecedor deverá comparecer às instalações da ETA ou pelo menos ser consultado antes de finalizar negociações de compra do produto, para evitar a perda das primeiras remessas ou evitar gastos não previstos, ou mesmo soluções de emergência que permaneçam funcionando precariamente por longos períodos.

Os tanques de estocagem deverão ter vá-

rios acessórios que facilitem sua limpeza e operação tais como:

- Inspeção com tamanho suficiente para entrar uma pessoa.
- Extravasor.
- Tubulação de limpeza.

No caso de grandes consumos haverá necessidade de equipamentos e unidades operacionais especiais.

A limpeza dos tanques se faz necessária e é de fundamental importância quando se utiliza o mesmo tanque para tipos diferentes de polímeros.

Uma solução de cloreto de sódio a 5% ajuda a remover o resíduo de polímero das paredes internas do tanque de estocagem.

Enche-se o tanque com água, adiciona-se sal suficiente para obter-se uma solução a 5% e agita-se a solução salina por 2 a 4 horas. Após isto dá-se a descarga no tanque.

2 — Preparação e aplicação

a — Dissolução de polímero de forma seca granular.

Em geral polímeros não-iônicos podem ser aplicados em soluções até 1%. Os aniônicos podem ser aplicados 4%. Isto deve-se a grande viscosidade destes polímeros que em geral são bombeados para os pontos de aplicação.

É fundamental usarmos um dispersor eficiente na dissolução de polímeros secos. Isto facilita o umedecimento de cada partícula de polieletrólito seco fazendo com que o mesmo entre rapidamente em solução.

Isto minimiza a grande tendência da formação de glóbulos brancos. Estes pequenos glóbulos são polieletrólitos não dissolvidos, que não auxiliam a coagulação. Eles obstruem o sistema de dosagem ocasionando grandes problemas de manutenção.

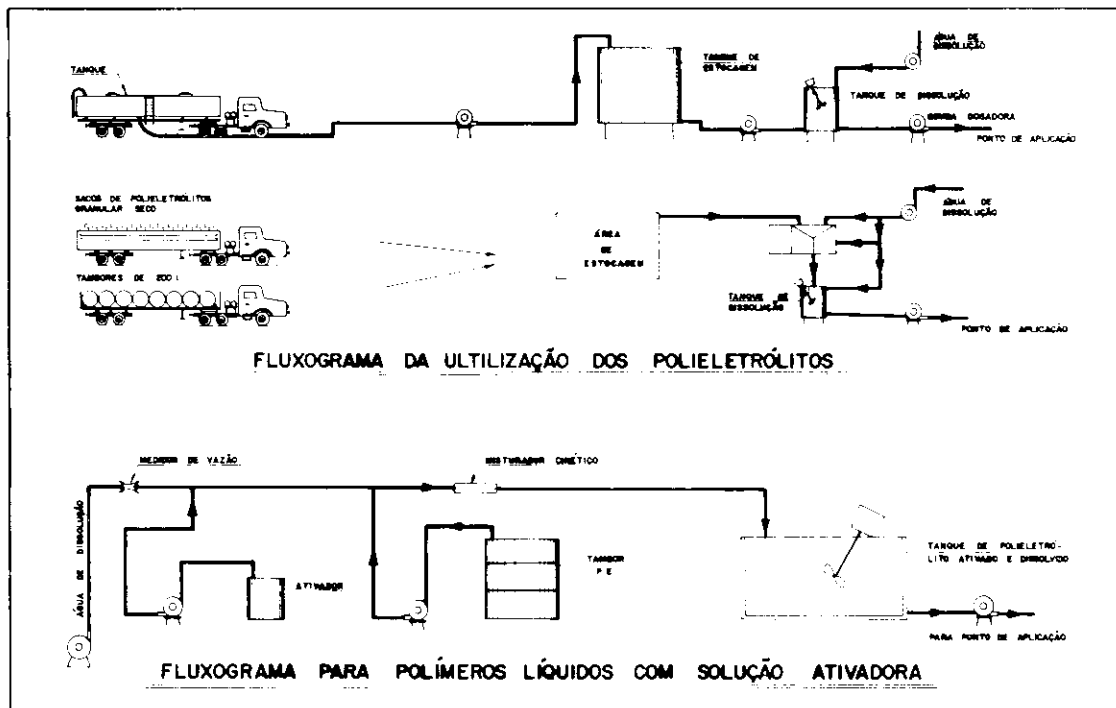
Há dois métodos mais comuns de dissolução de polímeros a seco: por funil misturador e por vibração do pó através de uma cortina ou plano de água.

O funil misturador é apenas um funil acoplado a uma trompa. É sempre recomendável escolher uma trompa com garganta suficientemente larga para reduzir a tendência de obstrução durante a preparação da solução. A trompa deve ser limpa entre a preparação de dois tanques de solução.

Após ter-se preparado uma determinada solução a uma desejada concentração, esta deverá ser agitada continuamente no tanque de preparação durante um tempo que pode variar de 10 minutos a 1 hora, antes de sua utilização.

O misturador deverá ser de baixa rotação (máxima até 350 rpm).

No sistema de dosagem de polieletrólitos devemos ter pelo menos dois tanques de pre-



paração de solução, para possibilitar uma dosagem contínua, mesmo utilizando-se sistema de preparação descontínuo.

O equipamento de dosagem da solução já preparada, deve ser de boa precisão. Em geral usa-se bombas dosadoras a pistão que são muito eficientes para medir e dosar as quantidades apropriadas de polieletrólito a qualquer instante. Quando a preparação de solução é tal que as quantidades bombeadas pela bomba dosadora são pequenas, é conveniente adicionar água de diluição, após a bomba, para maior facilidade de dispersão do polímero na água a ser tratada.

b — Dissolução de polímeros em forma líquida.

Os polieletrólitos líquidos são fornecidos em concentrações variadas e portanto com viscosidade variando na ordem de 10 a 100 centipoise. Há, ainda, certos polímeros cuja viscosidade varia na ordem de 1.000 a 5.000 centipoise.

Para dimensionamento das tubulações dos sistemas de dosagem devemos considerar viscosidades mais altas para que o sistema possa trabalhar em quaisquer outras dosagens mais diluídas sem dificuldades. No entanto, sabemos que é bastante difícil projetar um sistema para trabalhar uma faixa de viscosidade tão ampla. Neste caso o engenheiro projetista deverá ter em mente quais os tipos de produtos a serem aplicados e daí determinar a faixa de viscosidade mais apropriada para projeto.

Quando o sistema de dosagem é projetado para receber polímeros de caminhões-tanque deve-se prever uma bomba adequada para a transferência do polímero concentrado do tanque de armazenamento para o tanque de dissolução. A função desta bomba deve além de ser o meio de transferência do polímero, medir as quantidades desejadas para a confecção da solução diluída na concentração desejada.

A quantidade de água de dissolução também deve ser medida e controlada para a obtenção da solução diluída. É comum utilizar-se um sistema de medidor de vazão atuando sobre uma válvula solenóide. Desta maneira marca-se o volume de água desejado, o medidor irá marcando a quantidade d'água que passa por ele e dá um sinal para a válvula solenóide quando atingir o volume desejado que fecha a entrada d'água naquele instante.

Com a quantidade de polímero e de água de dissolução conhecidas, prepara-se a solução diluída desejada.

Normalmente tenta-se fazer uma diluição que torne a solução de fácil manuseio. Em geral as diluições são da ordem de 10 a 20 partes de água para uma de polímero. Após a adição das partes de água e polímero no tanque a solução deverá ser agitada da mesma maneira que a solução preparada com polieletrólito a seco.

As mesmas bombas dosadoras para o caso dos polímeros a seco, são recomendadas neste caso, para a dosagem do produto aos pontos

de aplicação. Também deve-se prever água de diluição após as bombas dosadoras para facilitar a mistura do polímero na água a ser tratada.

c — Preparação da sílica ativada

A sílica ativada é silicato de sódio líquido a alta viscosidade, o qual é diluído e ativado por um ácido. Na prática usa-se um aparelho dosador chamado ativador de sílica, comercialmente conhecido como "silactor".

O aparelho recebe o silicato de sódio (SiO_2), cloro gasoso (como ácido), água e ar, dentro de uma câmara interna a vácuo. Nessa câmara dá-se a mistura dos quatro elementos convenientemente dosados pelo aparelho.

A solução misturada antes de ser aplicada vai para um tanque de envelhecimento com tempo de detenção que pode variar de 30 a 60 minutos.

O silicato de sódio é fornecido em tambores ou carros-tanques assim como os polímeros líquidos.

VI — AGRADECIMENTOS

O autor agradece a colaboração e o apoio da SABESP na realização dos ensaios, que permitiram a confecção deste trabalho, particularmente a equipe do PSA, Eng.º Massao Noguti, o bioquímico João Luiz Buitron e todos os auxiliares técnicos também envolvidos nas experiências.

Fica o autor grato aos fabricantes dos produtos de auxiliares de coagulação que forneceram as amostras grátis, que foram utilizadas nas experiências, bem como assistência técnica na preparação das primeiras soluções e fornecimento de bibliografia técnica.

BIBLIOGRAFIA

1. FAIR, Gordon Maskew (e outros) — **Water purification and waste water treatment and disposal**. New York, John Wiley & Sons, 1968.
2. WEBER Jr., Walter J. — **Physicochemical processes for water quality control**. New York, Wiley — Interscience, 1972.
3. American Water Works Association — **Water quality and treatment**. 3. ed. New York, McGraw-Hill, 1971.
4. LO SASSO, Ronald A. — **Handling, storing, application and purchasing of water soluble polyelectrolytes**. Chicago, Education, Committee of American Water Works Association and U.S. Environmental Protection Agency, June 1972.
6. SINGLEY, J.E. — **State of the art of coagulation**. Symposium on New Methods of Water Treatment, Asuncion, Sug. 14-18, 1972.
7. HUDSON Jr., H. E. & WOFNER, J. P. — **Design of mixing and flocculating basing**. Journal AWWA, **59** (10): 1257-1267, Oct. 1967.
8. SINGLEY, J. E. — **Theory and mechanism of polyelectrolytes**. Chicago, Committee of American Water Works Association and U.S. Environmental Protection Agency, June 1972.
9. MOFFET, J. William — **The chemistry of high-rate water treatment**. Journal AWWA, **60** (11): 1255-1270, Nov. 1968.
10. TEKIPPE, R. J. & HAM, R. K. — **Velocity gradient paths in coagulation**. Journal AWWA, **63** (7): 439-448, July 1971.
11. BLACK, A.P. (e outros) — **Destabilization of dilute day suspensions with labeled polymers**. Journal AWWA, **57** (12): 1547-1560, Dec. 1965.
12. BIRKNER, F.B. & MORGAN, J.J. — **Polymer flocculation kinetics of dilute colloidal suspensions**. Journal AWWA, **60** (2): 175-191, Fev. 1968.
13. PRESSMAN, M. — **Cationic polyelectrolytes as prime coagulants in natural water treatment**. Journal AWWA, **59** (2): 169, Fev. 1967.
14. RIDDICK, T.M. — **Zeta potential and polymers**. Journal AWWA, **58** (6): 719-722, June 1966.
15. STUMM, W. & O'MELIA, Charles R. — **Stoichiometry of coagulation**. Journal AWWA, **60** (5): 514-539, May 1968.
16. BIRKNER, F. B. & EDZWALD, J.K. — **Nonionic polymer flocculation of dilute day suspension**. Journal AWWA, **61**, (12): 645-651, Dec. 1969.