



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

I-030 - INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL DE FÉCULA DE MANDIOCA COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA Nº 2 DE VALINHOS – SP. – ESTUDO DE CASO

Luiz Carlos Alves de Souza⁽¹⁾

Engenheiro Civil formado pela Universidade São Francisco. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). É Engenheiro Civil do Departamento de Águas e Esgotos de Valinhos-SP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Antonio Carlos, 251 – Centro – Valinhos - SP - CEP: 13270-000 - Brasil - Tel: (19) 38696444

 : luiz_carlos@daev.org.br

RESUMO

A utilização de polímero natural como auxiliar de floculação pode ser alternativa interessante para o aumento da capacidade de estações de tratamento de água para abastecimento. O polímero natural é um produto de baixo custo, de fácil preparo e aplicação. Por ser produzido em larga escala e utilizado nos mais diversos setores da indústria, o polímero natural apresenta-se como alternativa aos polímeros sintéticos que, de maneira geral, são produtos de elevado custo e produzidos com matéria prima geralmente importada.

PALAVRAS-CHAVE: Polímero Natural de Fécula de Mandioca, Auxiliar de Floculação para Tratamento de Águas de Abastecimento.

INTRODUÇÃO

Muitas estações de tratamento de água brasileiras encontram-se ou trabalhando acima de sua capacidade ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Procurando suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, geralmente as empresas responsáveis pelo abastecimento de água defrontam-se com a escassez de recursos necessários à ampliação dos sistemas produtores de água potável.

A partir de tal constatação, faz-se necessária a investigação de novas tecnologias, bem como a utilização de produtos alternativos, que permitam a produção de água em quantidade mantendo, todavia, a qualidade e com custos baixos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com objetivo de avaliar a influência bem como a possibilidade de aumento da vazão de tratamento de água com a aplicação do polímero natural de fécula de mandioca na ETA-2, a pesquisa foi efetuada em três etapas:

- determinação do tempo de flocução com aplicação de traçador na ETA;
- ensaios de laboratório em "jar-test";
- testes de campo.

TESTE COM TRAÇADOR NA ETA

Preliminarmente, realizou-se teste com traçador para determinação do tempo médio de floculação na ETA, que foi utilizado na série de ensaios em "jar-test", para determinação da dosagem "ótima" de polímero de fécula de mandioca. O teste com traçador na unidade de floculação foi realizado aplicando-se o traçador na forma de pulso na entrada da unidade de floculação. Para o traçador foi utilizada uma suspensão de cal hidratada na concentração de 24,5 mg CaCO_3/L , necessária e suficiente para que houvesse sensibilidade para medição da condutividade, permitindo desta forma, estabelecer as frações de escoamento tipo pistão, de mistura completa e zonas mortas na unidade de floculação.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios preliminares, bem como os ensaios em "jar-test", foram realizados em laboratório. Foram testadas diversas dosagens de coagulante e de polímero natural de fécula de mandioca para diferentes valores de pH de coagulação. Realizou-se também uma série de ensaios com amostras de água coagulada coletada na ETA, com aplicação de diferentes dosagens de polímero natural de fécula de mandioca para água bruta com diferentes valores de turbidez e cor aparente remanescente.

PREPARO DA SOLUÇÃO DE POLÍMERO PARA DOSAGEM NA ETA

Para preparo da solução "mãe" utilizou-se reservatório de polipropileno com volume útil de 250 L. Inicialmente, o reservatório era abastecido com 225 L de água tratada. Em seguida ligava-se o agitador, e, então, eram adicionados 12,5 kg de fécula de mandioca, mantendo-se sob agitação durante 5 minutos para a completa diluição da fécula. Após, eram adicionados 2,5 kg de soda cáustica P.A., de forma gradativa. A solução era mantida sob agitação durante 60 minutos, até que se formasse uma massa gelatinosa e homogênea.

TESTES DE CAMPO

Após a determinação da dosagem "ótima" de polímero, obtida nos ensaios de laboratório, foram realizados diversos testes de campo com aplicação de polímero natural de fécula de mandioca para avaliação da influência na operação da ETA, com aumento da vazão (ou da taxa de aplicação) nos decantadores de 82,5 L/s ($167 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) para 100 L/s ($202 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$), para água bruta com diferentes características bem como diferentes dosagens de coagulante.

RESULTADOS OBTIDOS

TESTE COM TRAÇADOR NA UNIDADE DE FLOCULAÇÃO DA ETA

No teste com traçador ficou demonstrado que a fração de escoamento tipo pistão resultou em 67%, 28% a fração relativa à mistura completa e, 5% a fração relativa às zonas mortas na unidade de floculação. Considerando-se que a fração de escoamento tipo pistão resultou em 0,67, (67%) para a bateria de ensaios em "jar-test", foi utilizado o tempo de floculação equivalente a $0,67 \times 29,4$ igual a 19,69 min. Adotou-se o tempo total de floculação de 20 minutos para os ensaios em "jar-test" para avaliação do desempenho da ETA, tratando 165 L/s. Para "simular" no "jar-test" as condições para tratar 200 L/s, o tempo total de floculação utilizado foi de 16 minutos. A Figura 1 apresenta o resultado do teste com traçador na unidade de floculação.

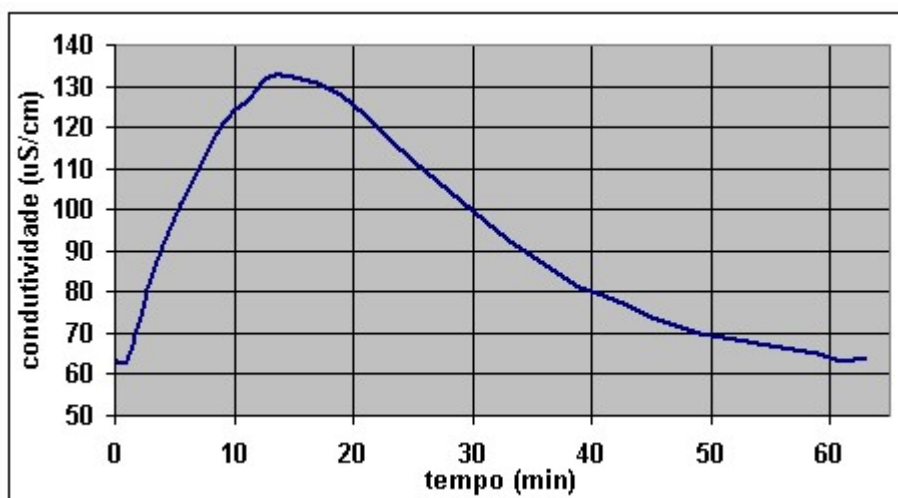


Figura 1 – Teste com traçador na unidade de floculação da ETA-2.
(Condutividade em função do tempo de floculação)

ENSAIOS EM "JAR-TEST"

Nos ensaios realizados em "jar-test", verificou-se que a turbidez remanescente variou conforme a dosagem aplicada de cloreto férrico e de polímero. Os resultados sugerem melhor remoção da turbidez para dosagem de 1,00 a 2,00 mg/L polímero de fécula de mandioca, para a maioria dos ensaios. A cor aparente remanescente também apresentou variações, entretanto, a dosagem de 2,50 mg/L de polímero resultou na elevação da cor aparente, quando comparada com a da amostra sem polímero, para velocidade de sedimentação de 7,00 cm/min (100,8 m/d).

A concentração de ferro total remanescente apresentou menores valores quando o pH de coagulação foi variado de 7,0 a 8,5, aproximadamente, para velocidade de sedimentação de 7,00 cm/min (100,8 m/d). Os resultados da concentração de ferro total remanescente foram similares tanto para a amostra sem polímero como para a amostra com dosagem de 1,50 mg/L de polímero. Para velocidade de sedimentação de 1,00 cm/min (14,4 m/d), praticamente não houve influência do polímero, independentemente da dosagem aplicada.

A Figura 2 apresenta o resultado de um dos ensaios em "jar-test" realizado com a aplicação do polímero de fécula de mandioca com dosagens entre 0,50 e 2,50 mg/L na água coagulada coletada na ETA, na entrada da unidade de floculação, para velocidade de sedimentação de 7,00 cm/min.

A Figura 3 mostra o resultado da aplicação do polímero de fécula de mandioca com dosagens entre 1,00 e 5,00 mg/L na água coagulada coletada na ETA, na entrada da unidade de floculação, para velocidade de sedimentação de 3,50 cm/min.

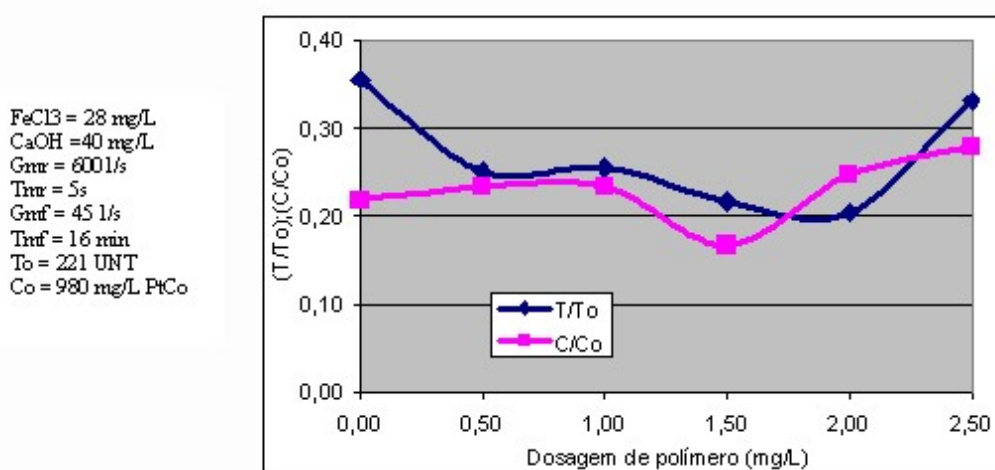


Figura 2 – Relações turbidez remanescente/turbidez inicial (T/T_o) e cor aparente remanescente/cor aparente inicial (C/C_o) em função da dosagem de polímero de fécula de mandioca para pH de coagulação 8,63 e velocidade de sedimentação 7,00 cm/min. Água coagulada da ETA coletada na entrada da unidade de floculação.

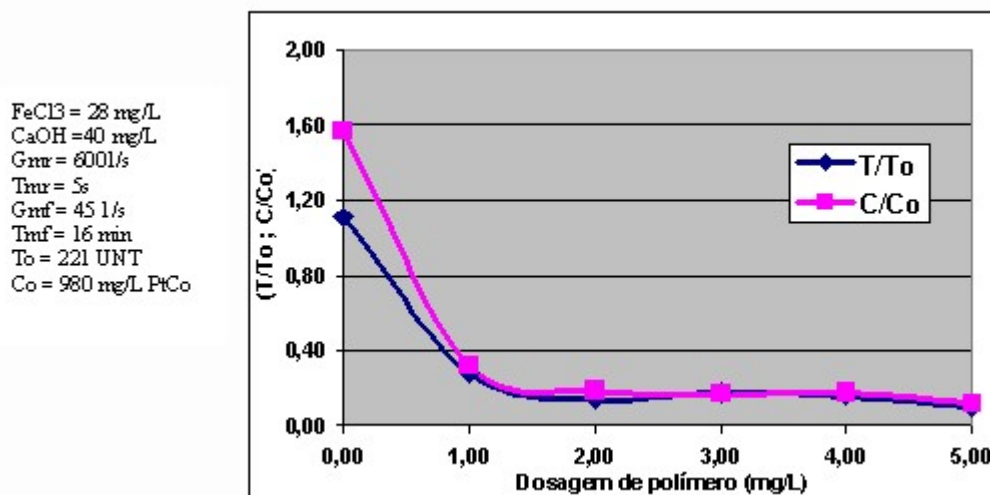


Figura 3 – Relações turbidez remanescente/turbidez inicial (T/T_0) e cor aparente remanescente/cor aparente inicial (C/C_0) em função da dosagem de polímero de fécula de mandioca para pH de coagulação 8,63 e velocidade de sedimentação 3,50 cm/min. Água coagulada da ETA coletada na entrada da unidade de floculação.

TESTES COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO NA ETA

Várias tentativas foram feitas para se determinar o melhor ponto para aplicação do polímero. O melhor ponto, neste trabalho, foi localizado na entrada do decantador no canal vertical de distribuição logo após a saída da última câmara de floculação. Aparentemente, os gradientes de velocidade médios no canal, bem como nos bocais de distribuição da água existentes na parte inferior do decantador, foram suficientes para promover a mistura e a agregação entre os flocos e o polímero, apesar do reduzido tempo de contato entre os mesmos. Durante os testes mediu-se a turbidez da água decantada, com decantador sendo operado com taxa de aplicação de $202 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ (100 L/s), que sem a aplicação de polímero variou entre 3,00 UNT a 5,25 UNT. Com aplicação de polímero de fécula de mandioca com dosagem de 1,50 mg/L, a turbidez da água decantada variou entre 2,00 UNT a 3,05 UNT.

Na Figura 4 são apresentados os resultados do teste realizado entre os dias 16 e 17 de julho de 2002. A vazão de tratamento era 165 L/s e as principais características e variáveis da água e dosagens são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais variáveis e características da água na ETA, durante o teste realizado entre 16 e 17 de julho de 2002.

Turbidez da água bruta (UNT)	20,3
Cor aparente da água bruta (mg PtCo/L)	85
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	18,0 +/- 1
Dosagem de cloreto férrico (mg/L)	27
Dosagem de cal hidratada (mg/L)	44
Gradiente de velocidade médio (s^{-1})	1ª câmara 55; 2ª câmara 40; 3ª câmara 30
pH da água bruta	6,89 +/- 0,2
pH de coagulação	8,60 +/- 0,2
Alcalinidade total (mg CaCO_3/L)	22

Inicialmente, a vazão em cada decantador era de 82,5 L/s como normalmente são operados (50% da vazão de tratamento para cada unidade). Nos pontos indicados na Figura 5 como "A" e "B" representam o intervalo em que a vazão de cada decantador era 82,5 L/s e não estava sendo dosado polímero.

A partir do momento referente ao ponto "B" foi aumentada a vazão no decantador A para 100 L/s aproximadamente, enquanto que a vazão no decantador B foi reduzida para 65 L/s aproximadamente. Nota-se que houve o imediato aumento da turbidez da água decantada do decantador A cujo valor máximo foi de 5,27 UNT (ponto "C").

A aplicação de 2,0 mg/L polímero fécula de mandioca foi iniciada (ponto "C") após 60 minutos da alteração da vazão nos decantadores. O polímero foi dosado somente na entrada do decantador A. Houve rápida redução da turbidez conforme demonstra a Figura 4.4 no intervalo compreendido entre os pontos "C" e "D", mantendo-se abaixo de 3,00 UNT.

Decorridos 600 minutos, a aplicação de polímero fécula de mandioca foi interrompida (ponto "D"). A turbidez da água decantada aumentou imediatamente após a parada da aplicação de polímero, atingindo 4,26 UNT (ponto "E"). A dosagem de polímero foi reiniciada nesse instante, após 955 min de teste.

A partir do momento correspondente ao ponto "E" houve novamente rápida redução da turbidez da água decantada cujos valores, representados pelo intervalo entre os pontos "E" e "F", voltaram a ser iguais, em média, aos do primeiro período de dosagem de polímero representados pelo intervalo entre os pontos "C" e "D". O teste com polímero foi encerrado após 1255 minutos, e a turbidez da água decantada voltou a se elevar, depois que a aplicação de polímero foi interrompida, no momento correspondente ao ponto "F".

A operação de descarga de fundo dos decantadores foi mantida a mesma, ou seja, não foi alterada sendo que o ciclo foi uma descarga com duração de 30 s a cada 33 min.

As interrupções da dosagem de polímero foram propositais para testar a sensibilidade do processo de tratamento com a adição do polímero, bem como para se verificar se havia afinidade entre o polímero e a água floculada.

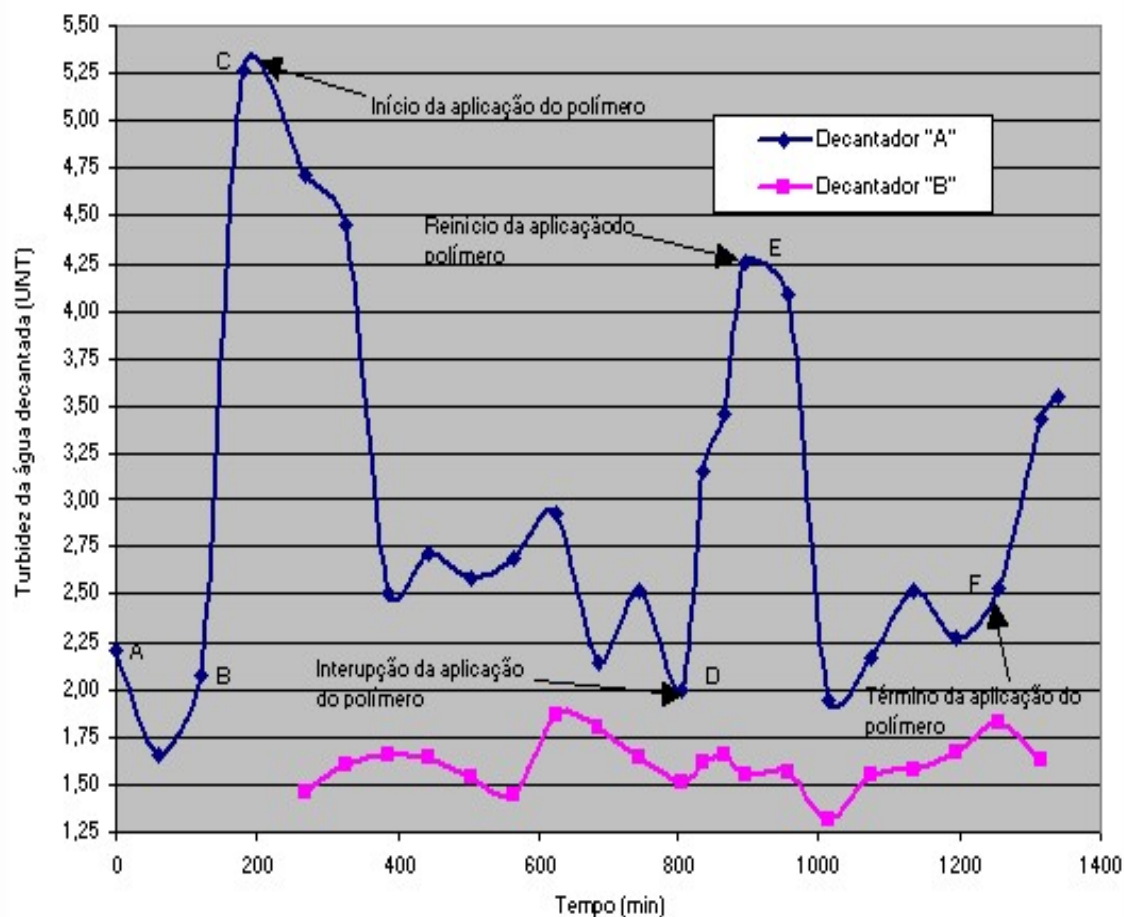


Figura 4 – Comparação entre os desempenhos dos decantadores da ETA. Teste com polímero fécula de mandioca com dosagem de 2,00 mg/L na entrada do decantador "A" com vazão de 100 L/s taxa de aplicação superficial 202 m³/ m².d, Decantador "B" sem dosagem de polímero, vazão 65 L/s taxa de aplicação superficial 225 m³/ m².d.

A Figura 5 apresenta os resultados do teste realizado entre os dias 21 e 22 de julho de 2002 na ETA. A vazão de tratamento era 165 L/s e as principais características da água e dosagens são apresentadas em seguida.

Inicialmente, a vazão em cada decantador era de 82,5 L/s como rotineiramente são operados. Os pontos indicados na Figura 5 como "A" e "B" representam o intervalo em que a vazão de cada decantador era 82,5 L/s e não estava sendo dosado polímero. As principais características e variáveis da água e dosagens são apresentadas na Tabela 2.

A partir do momento referente ao ponto "B" foi aumentada a vazão no decantador A para 100 L/s aproximadamente, enquanto que a vazão no decantador B foi reduzida para 65 L/s aproximadamente. Nota-se que houve o imediato aumento da turbidez da água decantada do decantador A cujo valor máximo foi de 14,7 UNT (ponto "C").

A dosagem de 1,50 mg/L de polímero de fécula de mandioca foi iniciada (ponto "C") após 78 min da alteração da vazão nos decantadores. O polímero foi dosado somente na entrada do decantador A. Houve rápida redução da turbidez conforme demonstra a Figura 6 no intervalo compreendido entre os pontos "C" e "D", mantendo-se abaixo de 2,50 UNT.

Após 320 min, a dosagem de polímero fécula de mandioca foi interrompida (ponto "D"). A turbidez da água decantada aumentou imediatamente após a parada da dosagem de polímero, atingindo 12,6 UNT (ponto "E"). Durante 240 min o decantador foi operado com 100 L/s (202 m³/ m².d.) e sem a adição de polímero para se verificar qual seria a máxima turbidez da água decantada. A aplicação de polímero foi reiniciada com a dosagem de 1,50 mg/L (ponto "E").

A partir do momento correspondente ao ponto "E" houve novamente rápida redução da turbidez da água decantada com dosagem de 1,50 mg/L de fécula de mandioca. Após 917 min do início do teste, a dosagem de polímero foi reduzida para 1,00 mg/L, não ocorrendo aumento perceptível da turbidez, indicando que essa dosagem pode ser aplicada quando as condições de operação bem como a qualidade da água bruta assim o permitirem.

A operação de descarga de fundo do decantador não foi alterada sendo feita a cada 33 min e com duração de 30s. Ressalta-se que o sistema de descarga é automático e o ciclo pode ser alterado de acordo com as características da água em tratamento.

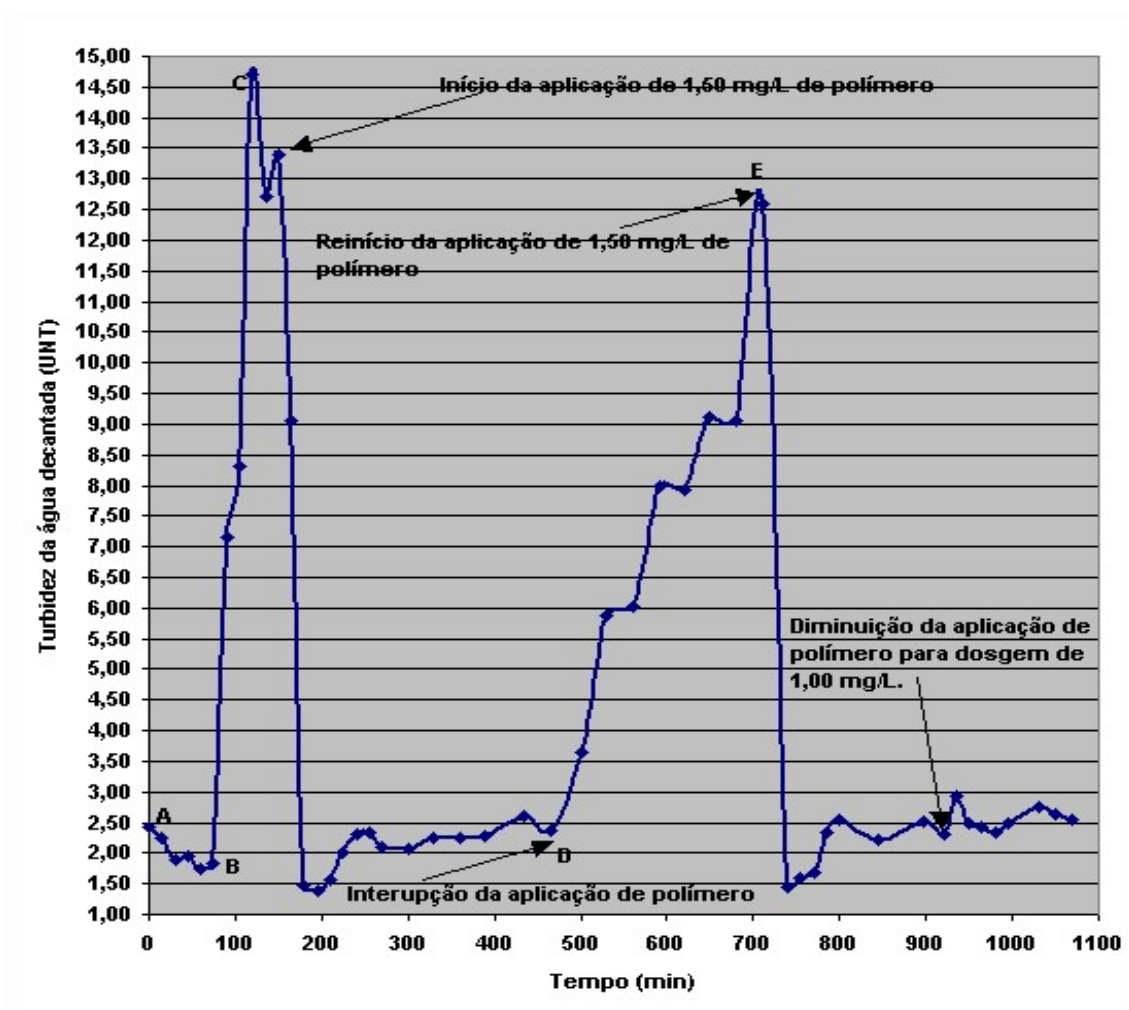


Figura 5 – Desempenho do decantador da ETA. Teste com polímero fécula de mandioca com dosagem de 1,00 e 1,50 mg/L na entrada do decantador com vazão de 100 L/s, taxa de aplicação superficial 202 m³/ m².d.

Tabela 2 - Principais variáveis e características da água na ETA, durante o teste realizado entre 20 e 21 de julho de 2002.

Turbidez da água bruta (UNT)	142
Cor aparente da água bruta (mg PtCo/L)	684
Temperatura (°C)	18,3 +/- 1
Dosagem de cloreto férrico (mg/L)	34
Dosagem de cal hidratada (mg/L)	57
Gradiente de velocidade médio (s ⁻¹)	1ª câmara 55; 2ª câmara 40; 3ª câmara 30
pH da água bruta	6,66 +/- 0,2
pH de coagulação	8,65 +/- 0,2
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	22

A Tabela 3 apresenta as principais variáveis e características da água na ETA em 10 de setembro de 2002, quando foi realizado o teste para comparação entre a turbidez da água decantada com e sem a aplicação de polímero de fécula de mandioca.

A Figura 6 apresenta o resultado de um dos testes realizados com polímero. Observa-se que a turbidez média da água decantada permaneceu em torno de 3,75 UNT sem a aplicação de polímero, e 2,50 UNT com a aplicação de 1,50 mg/L de polímero de fécula de mandioca.

Quando foi aplicado polímero de fécula de mandioca com dosagem de 1,50 mg/L, a turbidez da água filtrada medida no tanque de contato, permaneceu abaixo de 0,10 UNT, conforme demonstrado na Figura 7.

Quando não foi aplicado polímero, a turbidez se manteve abaixo de 0,10 UNT, até 360 min de operação. Após, houve significativa elevação da turbidez que atingiu 0,902 UNT, decorridos 1000 min de operação.

Tabela 3 - Principais variáveis e características da água na ETA, durante o teste realizado em 10 de setembro de 2002.

Turbidez da água bruta (UNT)	26,5
Cor aparente da água bruta (mg PtCo/L)	150
Temperatura (°C)	19,6 +/- 1
Dosagem de cloreto férrico (mg/L)	27
Dosagem de cal hidratada (mg/L)	41
Gradiente de velocidade médio (s ⁻¹)	1ª câmara 55; 2ª câmara 40; 3ª câmara 30
pH da água bruta	6,90 +/- 0,2
pH de coagulação	8,56 +/- 0,2
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	25

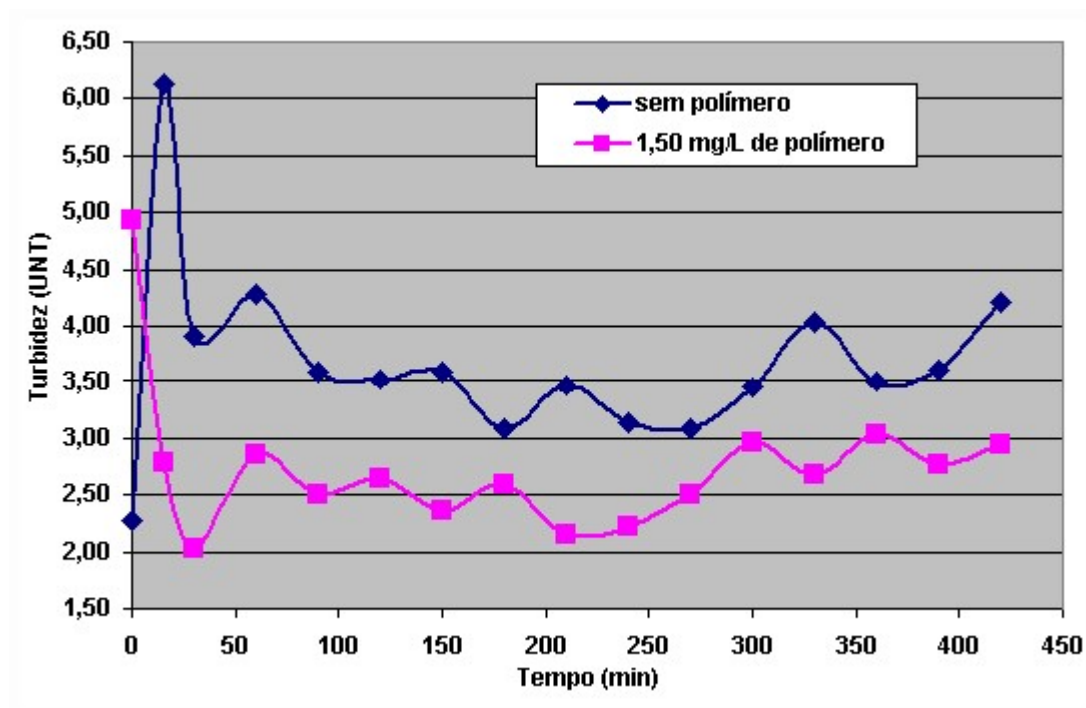


Figura 6 – Desempenho do decantador da ETA. Teste com polímero fécula de mandioca com dosagem de 1,00 e 1,50 mg/L na entrada do decantador com vazão de 100 L/s, taxa de aplicação superficial $202 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

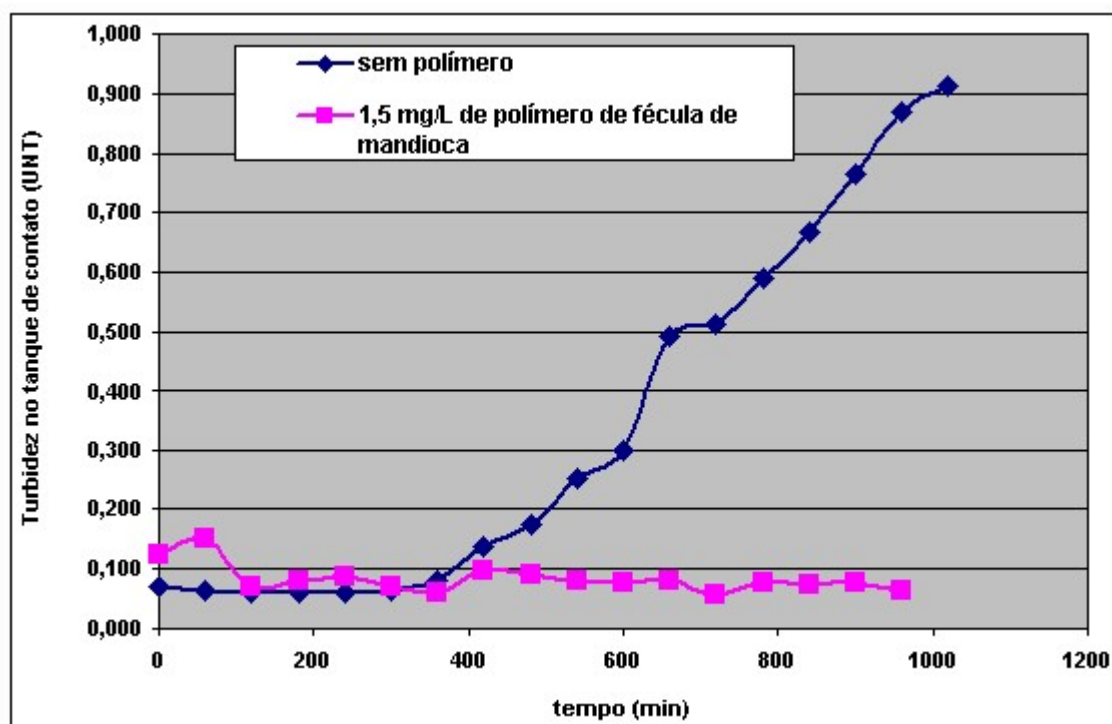


Figura – 7 Turbidez da água filtrada no tanque de contato em função do tempo de operação sem aplicação de polímero, e com 1,50 mg/L de polímero de fécula de mandioca na entrada do decantador "A", sendo operado com vazão de 100 L/s, taxa de aplicação superficial $202 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. Decantador "B" operado com 65 L/s ($131 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

ENSAIOS PRELIMINARES

A série de ensaios em "jar-test", para avaliação das dosagens "ótimas" de coagulante e de polímero, demonstrou que, para água bruta com turbidez de 210 a 232 UNT e cor aparente de 890 a 1085 mg PtCo/L, dosagens de 25 a 28 mg/L de cloreto férrico, resultaram em menores valores de turbidez e cor aparente remanescentes da água decantada.

O polímero de fécula de mandioca gelatinizado a frio apresentou melhores resultados na clarificação da água decantada quando foram aplicadas dosagens entre 1,00 e 2,00 mg/L. Para a maioria dos ensaios realizados em "jar-test", concluiu-se que as dosagens de 28 mg/L de cloreto férrico e de 1,50 mg/L de polímero de fécula de mandioca apresentaram os melhores resultados na remoção da turbidez e da cor aparente, para aquela água em estudo.

Na série de ensaios realizada com água coagulada da ETA, pode-se constatar a influência da aplicação do polímero de fécula de mandioca. Os melhores resultados na remoção da turbidez e da cor aparente foram obtidos com dosagens de polímero a partir de 1,00 mg/L, para as diversas velocidades de sedimentação testadas. Observou-se que dosagens acima de 2,00 mg/L de polímero não propiciaram redução significativa da turbidez e da cor aparente, indicando, portanto, que estas foram as dosagens nas quais foram obtidos bons resultados em termos de clarificação da água decantada. Dosagens acima destes valores não apresentaram significativo aumento na eficiência na remoção da turbidez e cor aparente da água, para as diversas amostras de água bruta com diferentes características testadas.

APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL NA ETA

Em todos os testes realizados, com exceção dos três últimos, a turbidez da água decantada, após o início da aplicação do polímero, apresentou redução extremamente rápida, observando-se, inclusive, que atingia um valor inicial mínimo, e posteriormente, se elevava, no decorrer dos testes, para um patamar pouco superior. Tal comportamento, observado em todos os testes, sugere que, com a aplicação de polímero, deve-se estudar outro ciclo e tempo de descarga de fundo do decantador, para otimização do desempenho do mesmo, pois o polímero provavelmente aumenta a quantidade de flocos formados, e, a densidade dos mesmos.

Os dados indicam que é possível aumentar em 20% a vazão de tratamento da ETA, porém, será necessário utilizar polímero como auxiliar de floculação, com vistas a melhorar a sedimentabilidade dos flocos, e evitar o arraste destes para os filtros, com conseqüente aumento da turbidez da água filtrada.

Testes adicionais devem ser realizados com objetivo de avaliar a possibilidade de reduzir a dosagem de cloreto férrico, utilizando polímero como auxiliar de floculação, uma vez que poderá haver economia em relação a aquisição de produtos químicos, ou seja, menores quantidades de coagulante e de alcalinizante.

Provavelmente, será possível obter a água tratada com a mesma qualidade que é produzida atualmente, porém, com menores custos, considerando que o polímero de fécula de mandioca, geralmente, é de baixo custo em virtude de ser produzido em larga escala. A vazão máxima de tratamento para cada decantador não poderá ultrapassar 110 L/s (taxa 222 m³/m².d), ou 220 L/s para a ETA, pois haverá afogamento dos canais de coleta, que provavelmente, causará queda da qualidade da água decantada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

1. CAMPOS, J. R.; DI BERNARDO, L. — Uso de polímeros naturales en el tratamiento de aguas para abastecimiento. Cali, Colombia, CINARA, (1991).
2. CAMPOS, J.R. — Emprego do amido de batata como auxiliar de floculação de água de abastecimento. São Carlos, 179 p. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, (1980)
3. DI BERNARDO L. & DI BERNARDO A. S., — Utilización de polímeros sintéticos y naturales como aydantes de floculación una nueva metodologia en base al diagrama de coagulación, XXVI Congreso Interamericano de Ingeniera Sanitária Y Ambiental, Lima Peru, (1998).
4. SOUZA, L. C. A. — Aumento da capacidade da Estação de Tratamento de Água nº 2 de Valinhos-SP, utilizando polímero natural como auxiliar de floculação. São Carlos, 253p. Dissertação de Mestrado — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, (2003).