

**I-335 – ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS COAGULANTES
EMPREGADOS NA EMBASA – UNIDADE REGIONAL DE ITABERABA (UNE):
SULFATO DE ALUMÍNIO LÍQUIDO, POLISAL E PAC (ESTUDO DE CASO)**

Antonio Inácio Santiago Neto⁽¹⁾

Químico da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa). Mestre em Química Analítica/Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Sebastiana Flávia Lima dos Santos⁽²⁾

Assistente Administrativa na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa).

Sérgio Luiz Pereira de Miranda⁽³⁾

Técnico em Química na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa).

Gustavo Lima Magalhães Ferreira⁽⁴⁾

Economista na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa).

Endereço⁽¹⁾: Unidade Regional de Itaberaba - Rua Wenceslau Brás, nº 102, Bairro – São João – Itaberaba – BA - CEP: 46.880-000 - Brasil - Tel: (75) 3251-8300 - e-mail: antonio.neto@embasa.ba.gov.br.

RESUMO

A maioria das estações de tratamento encontra-se trabalhando acima de sua capacidade e requerendo um aumento de vazão em função da demanda que aumenta dia após dia. Uma grande parte dessas estações utiliza tradicionalmente o sulfato de alumínio como coagulante primário e poucas vezes usam algum tipo de polímero como auxiliar de floculação. Na escolha desses produtos nem sempre a qualidade da água a ser tratada é levada em consideração. Procurando atender aos padrões de qualidade exigidos e a sobrecarga que muitas vezes é inevitável, observa-se que em cada caso haverá um coagulante e/ou um auxiliar de floculação mais adequado a essas situações. De posse de tal constatação, faz-se necessário que se investigue em laboratório por meio novas metodologias, os vários produtos que aplicados à água bruta possibilitam obter água tratada com qualidade, em quantidade satisfatória, visando sempre o menor custo.

Tendo em vista a busca de uma maior eficiência no processo de tratamento de água a Unidade Regional de Itaberaba, através da Supervisão de Tratamento, está realizando experiências com diferentes coagulantes na Estação de Tratamento do Sistema Integrado de Água de Itaberaba, a maior da unidade que se encontra operando a uma vazão de 750m³/h e na ETA de Iaçú que opera com 144m³/h. A experiência está sendo feita com três diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio Líquido (empregado na ETA desde 2006), Policloreto de Alumínio (PAC) e Coagulante a base de sais polimerizados (POLISAL). Os ensaios em escala de laboratório foram realizados em aparelho “jar test”, visando obter as condições ideais de clarificação. Após os ensaios de laboratório os testes foram feitos na planta.

PALAVRAS-CHAVE: ETA, Viabilidade, Coagulantes, Eficiência, Redução de Gastos.

INTRODUÇÃO

Os projetos de estações para o tratamento de águas de abastecimento têm considerado como principais objetivos a otimização dos processos de remoção de material particulado e da cor aparente, bem como a produção de uma água segura do ponto de vista microbiológico e químico (Atendimento a Portaria MS 2914/11).

Para alcançar esses objetivos, a escolha do coagulante e sua aplicação são muito importantes. Tendo em vista a busca de uma maior eficiência no processo de tratamento de água a Unidade Regional de Itaberaba, através da Supervisão de Tratamento, está realizando experiências com diferentes coagulantes na Estação de Tratamento do Sistema Integrado de Água de Itaberaba, a maior da unidade que se encontra operando a uma vazão de 750m³/h e na ETA de Iaçú que opera com 144m³/h. A experiência está sendo feita com três diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio Líquido (empregado na ETA desde 2006), Policloreto de Alumínio (PAC) e Coagulante a base de sais polimerizados (POLISAL). Os ensaios em escala de laboratório foram realizados em

aparelho “jar test”, visando obter as condições ideais de clarificação. Após os ensaios de laboratório os testes foram feitos na planta.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Dentro do contexto da importância do tratamento e controle da qualidade da água de abastecimento, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o processo de clarificação de água para abastecimento público da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Itaberaba – BA com a utilização de três diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio Líquido (Utilizado na ETA desde 2006), Policloreto de Alumínio (PAC) e Coagulante a base de sais polimerizados (POLISAL), bem como, os aspectos operacionais envolvidos no processo.

Objetivos específicos

- Diminuir a dosagem aplicada de coagulante em 35% a 40%;
- Melhorar qualidade da água distribuída com relação aos parâmetros: Cor, Turbidez e Alumínio residual (atendimento a portaria 2914/11);
- Diminuição da quantidade de Cal Hidratada/Barrilha aplicada;
- Aumento da carreira de filtração/ diminuição da quantidade de sólidos em suspensão;
- Diminuição do consumo de cloro;
- Redução de custos operacionais.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A ETA do SIAA Itaberaba é abastecida pelo Rio Paraguaçu, um manancial que apresenta uma água de cor elevada e baixa turbidez. Atualmente está operando no limite com a vazão máxima de 750m³/h. No período da tarde, com a elevação da temperatura ambiente, torna-se necessário a redução de vazão de água bruta com a finalidade de minimizar a grande ascensão de flocos visando manter a eficiência do tratamento. Como o manancial apresenta alto teor de matéria orgânica natural, isso implica no emprego de elevadas dosagens de coagulantes convencionais. Até o início dos testes o coagulante utilizado era o sulfato de alumínio. A dosagem média aplicada na planta é de 110mg/L, o que se reflete em elevados teores de alumina residual acima do limite exigido pela Portaria MS 2914/11.

Além disso, na época de chuvas a água do Paraguaçu apresenta diminuição do pH em virtude da elevação dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos e alcalinidade baixa, o que implica na necessidade de utilização de pré-alcalinizante e aumento na dosagem de cal para a correção de pH.

HISTÓRICO DOS TESTES

A etapa da coagulação no tratamento de água da ETA de Itaberaba sempre foi realizada com sulfato de alumínio. Até 2006 era utilizado o sulfato de alumínio sólido. A partir desse período, com o intuito de reduzir a geração de resíduos e, conseqüentemente o impacto ambiental, o sulfato de alumínio sólido foi substituído pelo sulfato de alumínio líquido. Entretanto, tendo em vista as características do manancial e a estrutura da ETA vários problemas são identificados no processo de tratamento: Dificuldade na remoção de cor, elevada dosagem de coagulante, necessidade de inserir pré-alcalinização e aumentar a dosagem de cal na correção de pH, necessidade constante de descargas de fundo e lavagem de filtros, dentre outros.

Diante dessa situação, buscou-se estudar a utilização de novos coagulante a fim de aperfeiçoar o processo de tratamento na ETA de Itaberaba. Os trabalhos práticos foram iniciados em 16/04 com o policloreto de alumínio (PAC) em testes de laboratório. Como os resultados foram promissores, a partir de 30/4 o PAC foi aplicado na planta até 05/06.

Em seguida, a UNE recebeu o POLISAL. Foram feitos os testes de laboratório que também apresentaram bons resultados. Assim de 05/06 a 13/06 o POLISAL foi aplicado na planta. Em seguida a ETA retomou a utilização do PAC até 01/07 e a partir de então está trabalhando com o POLISAL.

MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção de produtos químicos, numa estação de tratamento, em conjunto com a otimização em laboratório dos parâmetros físicos de mistura rápida, floculação e decantação podem proporcionar a melhoria da qualidade da água tratada e/ou o aumento de vazão. Para isso é importante o conhecimento da qualidade da água bruta nos últimos anos, das características das unidades existentes na estação, da vazão atual ou da vazão com a qual se pretende trabalhar.

Dos parâmetros de qualidade da água bruta, a turbidez, a cor aparente, o pH e alcalinidade são periodicamente registrados na maioria das estações de tratamento de água.

De posse do valor da vazão atual e da pretendida e, em função do tipo e dimensões das unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração, é possível programar ensaios de laboratório em aparelhos tipo “jar-test” com o propósito de se pesquisarem os gradientes de velocidade, tempos de agitação e velocidade de sedimentação mais convenientes.

As análises de turbidez e cor aparente da água bruta foram feitas em equipamentos de laboratório de uso diário em rotinas de operação da ETA de bancada com amostras pontuais de pequenas porções, normalmente a cada hora. Logo após o operador ter a informação de variação da qualidade, é necessário tomar a decisão do ajuste de dosagem. A dosagem exata para os diferentes níveis de turbidez somente pode ser determinada por tentativas com ensaios de coagulação/floculação. A quantidade exata de coagulante, juntamente com a manutenção do pH de coagulação tem que ser rapidamente ajustados. Quando a água possui alcalinidade natural suficiente, o operador ajusta somente o coagulante. Caso contrário, serão necessários ajustar não só o coagulante, mas também o alcalinizante. Essas ações devem ser definidas baseadas em estudos prévios das características da água do manancial de abastecimento da ETA (TOMIATE et al., 2004). Normalmente utilizam-se algumas ferramentas para o ajuste de dosagem, entre elas as mais usadas são: **Jar Test ou Teste de Jarro**, o qual é o método mais tradicional de ajuste.

A etapa da coagulação no tratamento de água da ETA de Itaberaba sempre foi realizada com sulfato de alumínio. Até 2006 era utilizado o sulfato de alumínio sólido. A partir desse período, com o intuito de reduzir a geração de resíduos e, conseqüentemente o impacto ambiental, o sulfato de alumínio sólido foi substituído pelo sulfato de alumínio líquido. Entretanto, tendo em vista as características do manancial e a estrutura da ETA vários problemas são identificados no processo de tratamento: Dificuldade na remoção de cor, elevada dosagem de coagulante, necessidade de inserir pré-alcalinização e aumentar a dosagem de cal na correção de pH, necessidade constante de descargas de fundo e lavagem de filtros, dentre outros.

Outra etapa do trabalho foi a escolha do tipo de PAC a ser empregado. Recomenda-se que em águas com elevado teor de matéria orgânica natural (MON) é ideal trabalhar com coagulantes que apresentem uma faixa mais ampla de pH, desta forma, optou-se pelo PAC NG.

Diante dessa situação, buscou-se estudar a utilização de novos coagulante a fim de aperfeiçoar o processo de tratamento na ETA de Itaberaba. Os trabalhos práticos foram iniciados em 16/04 com o policloreto de alumínio (PAC) em testes de laboratório. Como os resultados foram promissores, a partir de 30/4 o PAC foi aplicado na planta até 05/06.

Em seguida, a UNE recebeu o POLISAL. Foram feitos os testes de laboratório que também apresentaram bons resultados. Assim de 05/06 a 13/06 o POLISAL foi aplicado na planta. Em seguida a ETA retomou a utilização do PAC até 01/07 e a partir de então está trabalhando com o POLISAL.

RESULTADOS

A partir das experiências realizadas na Estação de Tratamento do Sistema Integrado de Água de Itaberaba nos meses de janeiro, maio e julho, empregando, respectivamente os coagulantes: Sulfato de Alumínio Líquido, Policloreto de Alumínio e Polisal, apresenta-se os seguintes resultados:

Tabela 01: Qualidade da água bruta – Rio Paraguaçu

MÊS - Referência	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	pH
Janeiro – Sulfato de Al	250	3,5	6,0	6,0
Maio - PAC	320	2,9	8,0	6,2
Julho - POLISAL	240	2,2	15,0	6,5

A **tabela 01** evidencia a qualidade de água bruta durante os testes iniciais com os três coagulantes. No mês de Maio ocorreram fortes chuvas na região o que contribuiu para uma elevação da cor aparente e diminuição da alcalinidade, o que implica diretamente sobre o tratamento.

Tabela 02: resultados analíticos e operacionais os diferentes coagulantes

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE COAGULANTES			
PARÂMETROS	Sulfato de Alumínio Líq	POLISAL	Policloreto de Alumínio
Dosagem (mg/L)	110mg/L	85mg/L	55mg/L
R\$/Kg	0,73	0,73	0,90
Cons. Diário (Kg)	1.800Kg	1.350Kg	990Kg
Cons. Mês (Kg)	54.000	40.500	29.700
R\$/Mês	39.420,00	29.565,00	26.730,00
pH - Água Coag.	5,0	5,6	5,8
Cons. de Cal hidratada	200Kg	170Kg	140Kg
Qualidade Água Decantada			
ETA I: Cor - Turbidez	30,0Hz - 3,6NTU	15,0Hz - 2,2NTU	10,0Hz - 2,1NTU
ETA II: Cor - Turbidez	40,0Hz - 6,1NTU	10,0Hz - 2,1NTU	10,0Hz - 0,8NTU
ETA III: Cor - Turbidez	25,0Hz - 2,9NTU	10,0Hz - 1,9NTU	10,0Hz - 1,6NTU

A **tabela 02** evidencia os resultados comparativos entre os diferentes coagulantes testados na ETA Itaberaba, bem como parâmetros físicos químicos para acompanhamento das etapas do tratamento.

Tabela 03: resultados analíticos – ICA SISTEMA INTEGRADO DE ITABERABA

Parâmetros		Sulfato Líquido ¹	Policloreto de Alumínio ²	Polisal ³
Aceitação	Realizadas	242	314	330
	Em conformidade	184	301	285
	% em conformidade	76%	95,8%	86,3%
Bacteriológico	Realizadas	288	344	357
	Em conformidade	282	344	357
	% em conformidade	97,9%	100%	100%
Químico	Realizadas	578	545	1523
	Em conformidade	559	543	1521
	% em conformidade	96,7%	99,6%	99,8%
ICA Mensal		93,17	99,06	97,23

Períodos de referência: ¹ janeiro de 2014 - ² maio de 2014 - ³ julho 2014

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS COAGULANTES

Sulfato de Alumínio Líquido

O sulfato de alumínio líquido é o coagulante empregado continuamente nas unidades de tratamento da Unidade Regional de Itaberaba desde o ano de 2006. O intervalo escolhido para ser avaliado neste trabalho foi o mês de janeiro, um período crítico para o tratamento de água na ETA de Itaberaba, pois por conta das chuvas a água estava com alcalinidade e pH baixos, o que provocou a necessidade de pré-alcalinização para que o processo de coagulação obtivesse eficiência. Além disso, por conta do elevado teor de ácido húmicos e fúlvicos implicando diretamente na diminuição do pH da água foi necessário um trabalho mais intenso na correção de pH e na desinfecção para que a água pudesse ser distribuída dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria 2914/2011. Durante esse período, mesmo com todo o empenho da equipe de operação da ETA, foram sinalizadas algumas anormalidades na qualidade da água distribuída. Outro aspecto a ser mencionado foi o aumento na dosagem e consumo de produtos químicos em geral.

Policloreto de Alumínio (PAC)

O Policloreto de Alumínio (PAC) constitui um poderoso coagulante ácido à base de metais trivalentes (Al³⁺) de enorme versatilidade. Esse coagulante foi empregado na ETA de Itaberaba nos períodos de 30/04 até 05/06 e de 13/06 a 01/07. O intervalo escolhido para avaliar a eficiência do Policloreto de Alumínio foi o mês de maio, um período marcado por chuvas e queda nos parâmetros de alcalinidade e pH.

Considerando a qualidade da água bruta no período dos testes podemos perceber que para garantir eficiência do tratamento com emprego de sulfato de alumínio líquido seria necessário pré-alcalinização, redução de vazão de água captada e redução de carreira de filtração. Já, com o emprego do PAC, o consumo de alcalinidade foi reduzido, variação muito pequena de pH e remoção de cor e turbidez acima de 90% para água decantada, ou seja, atendimento a Portaria MS 2914/11 já no processo de decantação. Salientamos que, com a variação da qualidade de água bruta durante o período inicial dos testes, em nenhum momento houve a necessidade de redução de vazão (operação da ETA com vazão máxima, 750m³/h). Outras vantagens observadas no emprego do PAC pode-se destacar: tratamento de água sem consumo de alcalinidade, aumento da velocidade de decantação por produzir flocos mais densos e aumento de carreira de filtração (intervalos de 40 horas sem lavar filtros). Outro grande aspecto positivo do PAC foi à estabilidade na qualidade da água na rede de distribuição o que foi comprovado pelos resultados das análises feitas pelo Laboratório Regional e pelas descargas em rede realizadas pela equipe do Escritório Local de Itaberaba. Durante esse período também foi iniciado os testes na ETA's Lençóis e Iaçú, a qual está empregando o Policloreto de Alumínio desde

15/05/2014 até os dias atuais. Os resultados obtidos em na ETA's Lençóis e Iaqu demonstram claramente a eficiência do coagulante não só em sistema de tratamento convencional, como também, em sistema de clarificador de fluxo ascendente.

Por ser um produto de alta eficiência no processo de coagulação e decantação, apresenta consumo reduzido em relação aos coagulantes convencionais (sulfato de alumínio líquido, sulfato férrico), com a vantagem de permitir melhores parâmetros finais na água tratada. Com base nos testes realizados em planta, podemos perceber que estamos empregando uma dosagem 50% menor em relação ao sulfato de alumínio líquido.

Polisal

O Polisal se apresenta como um coagulante à base de sais de sulfato com cadeias poliméricas com um poder de coagulação superior ao sulfato de alumínio normal. Foi utilizado na ETA de Itaberaba, inicialmente, no período de 05/06 a 13/06 e de 01/07 até hoje. O intervalo escolhido para avaliar a eficiência do Polisal foi o mês de julho. Nesse período a água bruta apresentou características mais estáveis de pH (6,8-7,2), alcalinidade (25 a 30mg/L CaCO_3) e cor aparente (180-220Hz). Os resultados obtidos com o emprego do Polisal foram satisfatórios sob o ponto de vista econômico e operacional. Entretanto, não foi possível conseguir resultados eficientes com o sistema operando na vazão máxima (750m³/h) devido à grande ascensão de flocos nas unidades de decantação no turno vespertino.

Consumo de produtos químicos

Durante os meses avaliados (janeiro, maio e julho) foi possível observar uma variação significativa na dosagem dos coagulantes e dos outros produtos químicos utilizados no processo de tratamento da água na ETA de Itaberaba conforme pode ser verificado nos gráficos abaixo:

Gráfico 01

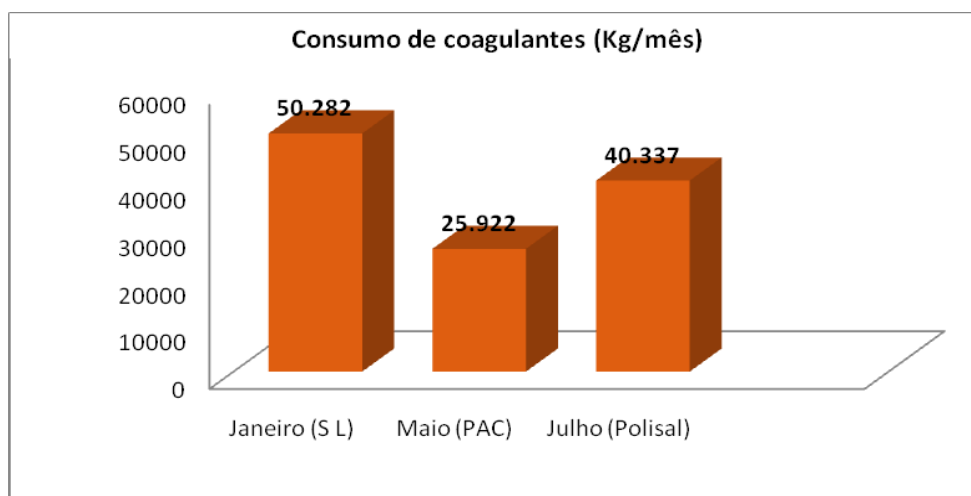


Gráfico 02

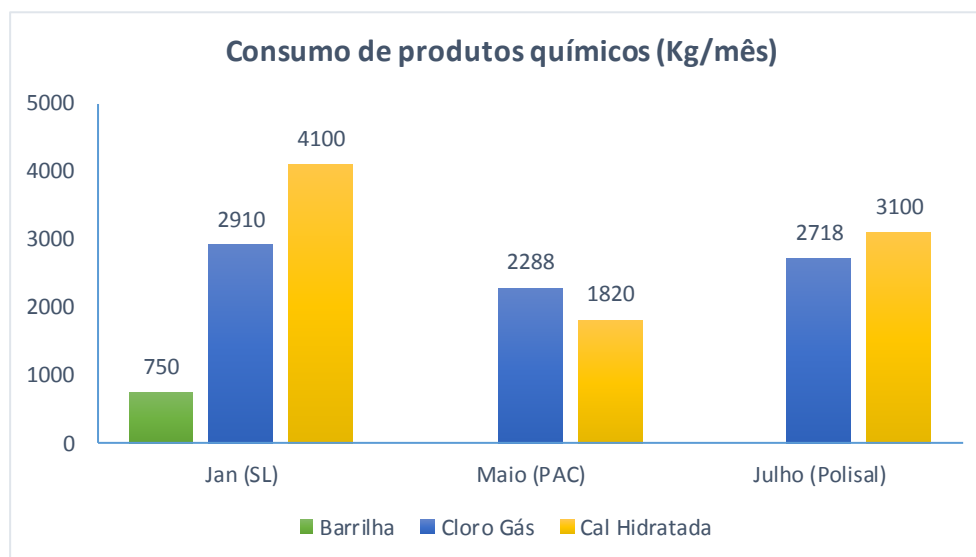
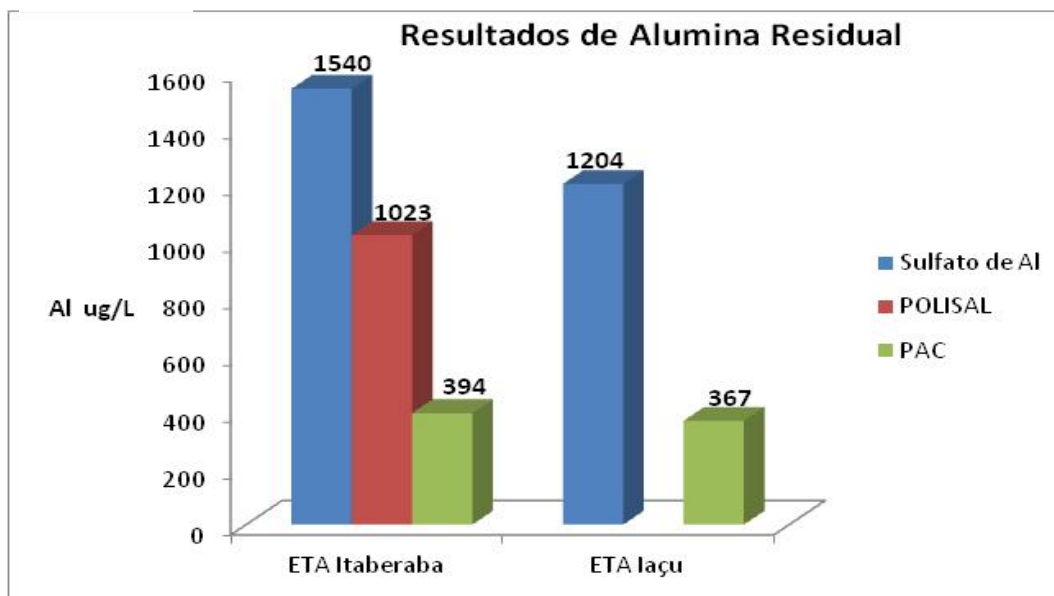


Gráfico 03



Diante desse cenário, no que se refere a consumo e custos de produtos químicos, o Policloreto de Alumínio se apresenta como a melhor opção, pois além de trabalhar com uma menor dosagem em relação aos demais coagulantes, contribui para a redução de consumo dos outros produtos químicos, haja vista que não exige o emprego de barrilha, já que não necessita de pré-alcalinização e pela estabilidade do pH provoca queda no consumo de cal hidratada e cloro gás. O gráfico 03 evidencia os resultados de alumina residual com os diferentes coagulantes testados nas ETA's Içu e Itaberaba. De acordo com os resultados de alumina residual, pode-se perceber a grande diferença entre o coagulante PAC e os demais, o que demonstra a eficiência do produto e o atendimento a Portaria MS 2914/11, no que se refere aos teores de alumina residual.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- ✓ O PAC, apesar de estar sendo utilizado em fase de testes na Unidade Regional de Itaberaba, é um coagulante amplamente empregado nas principais empresas de saneamento do Brasil (SANEPAR, SABESP, CEDAE, COMPESA, entre outras);
- ✓ Os ensaios em bancada e emprego em escala real na planta demonstraram a maior eficiência do PAC se comparado ao sulfato de alumínio, uma vez que este alcançou menor valor de turbidez e cor aparente remanescentes com uma menor dosagem de coagulante (50% menor), o que exige também dos operadores um maior acompanhamento, já que o mesmo apresenta uma pequena faixa de atuação (dosagem fixa), ou seja, o produto não apresenta eficiência quando empregado elevadas dosagens;
- ✓ O emprego do PAC possibilitou uma redução de custos de mais de 50% em relação ao sulfato de alumínio líquido;
- ✓ O PAC demonstrou um melhor poder de floculação se comparado com o sulfato de alumínio líquido e Polisal;
- ✓ Com o emprego do PAC e associando à qualidade de água bruta, em nenhum momento houve necessidade de redução de vazão para a ETA Itaberaba, situação praticamente inviável de tratamento com o sulfato de alumínio líquido;
- ✓ Considerando a qualidade de água bruta de inúmeros mananciais da UNE, como por exemplo, Palmeiras, Lençóis, Andaraí, Itaetê, Itaberaba, Iaçú, Nova Redenção, Queimadinhos, Ipirá, João Amaro, João Velho e Marcionílio de Souza, o PAC se configura como um coagulante versátil e de extrema eficiência nas etapas de coagulação/decantação;
- ✓ Com a utilização do PAC houve redução no consumo de cal hidratada para correção de pH e por consequência uma maior estabilidade do residual de cloro em rede de distribuição;
- ✓ Com base nos resultados de alumina residual e considerando que, os mananciais da UNE apresentam elevados teores de matéria orgânica o que acaba recorrendo ao emprego de elevadas dosagens de coagulantes convencionais (sulfato de alumínio, POLISAL), o PAC se apresenta como uma alternativa para atendimento a Portaria MS 2914/11, no que se refere a Alumina residual;
- ✓ O coagulante a base de sais polimerizados (Polisal) apresentou resultados mais eficientes em comparação com o sulfato de alumínio;
- ✓ Considerando os fatores ambientais, operacionais e qualidade de água tratada e sob o âmbito da Unidade Regional de Itaberaba, a substituição do sulfato de alumínio líquido por Policloreto de alumínio (PAC) torna-se uma alternativa atraente frente aos desafios de produzir água tratada dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria MS 2914/11;
- ✓ Em síntese, sob o ponto de vista técnico, operacional e ambiental, os coagulantes testados na ETA Itaberaba apresentam como particularidades: a) sulfato apresenta limitações de tratamento para o tipo de qualidade de água bruta de nosso manancial implicando diretamente no emprego de elevadas dosagens, além de deposição em rede de distribuição, conforme evidenciado em inúmeras descargas de rede; b) o POLISAL apresentou uma maior eficiência quando comparado com o sulfato de

alumínio, uma redução de dosagem e qualidade de água decantada satisfatória. No entanto, considerando aspectos operacionais, houve a necessidade de redução de vazão no turno vespertino, para minimizar a grande ascensão de flocos nas unidades de decantação. Os resultados obtidos com o coagulante POLISAL, atestam a eficiência do mesmo, se comparado com o sulfato de alumínio líquido. Entretanto a representatividade dessa eficiência é pequena se comparado com os resultados obtidos com o PAC; c) O PAC, dentre os três coagulantes testados, é o que apresenta os melhores resultados principalmente quando se considera os dados relativos a consumo, custo e eficiência operacional. Sendo assim, é a primeira opção escolhida para ser empregada amplamente nos sistemas da UNE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WILLIMAR, S. D. Análise de viabilidade técnica e econômica do uso do Policloreto de alumínio (PAC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de água. Monografia (Gestão em Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, 2009.
2. DALSASSO, R. L. SENS, M. L. Filtração direta com pré-floculação e coagulação com sulfato de alumínio e hidrocloreto de alumínio: estudo com água de manancial eutrofizado. Eng. Sanit. Ambient. Vol 11, nº 3 Rio de Janeiro July/Sept. 2006.
3. COSTA, E. R. H. Aumento da capacidade de estações de tratamento de água através da seleção de coagulantes e auxiliares de floculação especiais, XVIII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 1995. Anais. Salvador BA, 1995.
4. DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de tratamento de Água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 1993.
5. DI BERNARDO, L. Comparação da Eficiência da Coagulação com Sulfato de Alumínio e com Cloreto Férrico - Estudo de Caso - VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1994. Anais. Florianópolis, 1994.
6. NUNES, A. J. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. 3ª edição, 2001.