

## II-174 - APLICAÇÃO DE COAGULANTE ORGÂNICO NATURAL PARA O POLIMENTO DE EFLUENTE SECUNDÁRIO DE ETE DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REUSO INDUSTRIAL

**Allan Saddi Arnesen<sup>(1)</sup>**

Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Bruno Sidnei da Silva**

Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Márcio Alves Silva**

Encarregado de Sistema de Tratamento de Esgoto da Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Edilson de Oliveira Prado**

Técnico em Sistema de Saneamento da Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Márcio Luiz Rocha P. Fernandes**

Gerente da Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: [aarnesen@sabesp.com.br](mailto:aarnesen@sabesp.com.br).

### RESUMO

Os processos de coagulação, floculação e sedimentação podem ser aplicados para o polimento do efluente secundário de ETEs em que deseja-se uma melhor qualidade em termos de clarificação, como é o caso das águas de reuso. Nestes casos, geralmente adota-se coagulantes inorgânicos como é o caso do PAC ou Cloreto Férrico. No entanto, estes coagulantes geralmente implicam no aumento de outros parâmetros, como cloreto e condutividade, que são indesejáveis no caso de reuso industrial. Neste contexto, há a possibilidade de adoção de coagulantes orgânicos que não adicionam estes compostos na água de reuso. Este trabalho avaliou a substituição de um coagulante inorgânico por um orgânico natural para a clarificação do efluente do tratamento secundário por lodos ativados em uma ETE de produção de água de reuso para fins industriais. Os resultados em escala de bancada, piloto e real permitiram concluir que o coagulante orgânico utilizado não impactou nos parâmetros cloreto e condutividade. O aumento verificado nestes parâmetros em escalas piloto e real deve-se à dosagem do cloro. Também é importante destacar que o produto orgânico testado não alterou o pH da água, o que representa uma vantagem em relação aos coagulantes inorgânicos. O teste em escala real demonstrou a ocorrência de aumento nos valores de cor aparente e redução da cor verdadeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coagulante orgânico, Polimento de efluente secundário, Reuso Industrial.

### INTRODUÇÃO

Os processos de coagulação, floculação e sedimentação podem ser adotados para o polimento de efluentes do tratamento secundários de esgotos, permitindo a melhoria de uma série de parâmetros físico-químicos de qualidade e favorecendo a desinfecção ao final das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) (SILVA et al., 2007).

O processo inicia-se pela aplicação do coagulante, que promove a desestabilização química das partículas coloidais presentes nas águas residuárias, aumentando a tendência de agregação das partículas em flocos (floculação) que sedimentam separando-os do efluente clarificado (decantação). Geralmente são utilizados sais de ferro e alumínio (inorgânicos), comumente aplicados ao tratamento de água, como o Cloreto Férrico e o Cloreto de Polialumínio (PAC). Estes coagulantes conferem elevada eficiência de clarificação (remoção de cor e turbidez) aos processos em questão, mas aumentam a produção de lodo da estação e consomem alcalinidade, aumentando os custos com produtos químicos utilizados para correção do pH da água.

Quando a aplicação dos processos de coagulação e sedimentação é adotada em ETEs com foco na produção de água de reuso industrial, os coagulantes inorgânicos, utilizados para a clarificação do efluente tratado, podem resultar no aumento das concentrações de outros parâmetros de qualidade, como os íons cloreto e a condutividade.

O mercado dispõe de coagulantes orgânicos naturais, de origem essencialmente vegetal, que podem ser uma alternativa para controlar o aumento destes parâmetros de interesse para águas de reuso industrial, pois não incorporam sais à água.

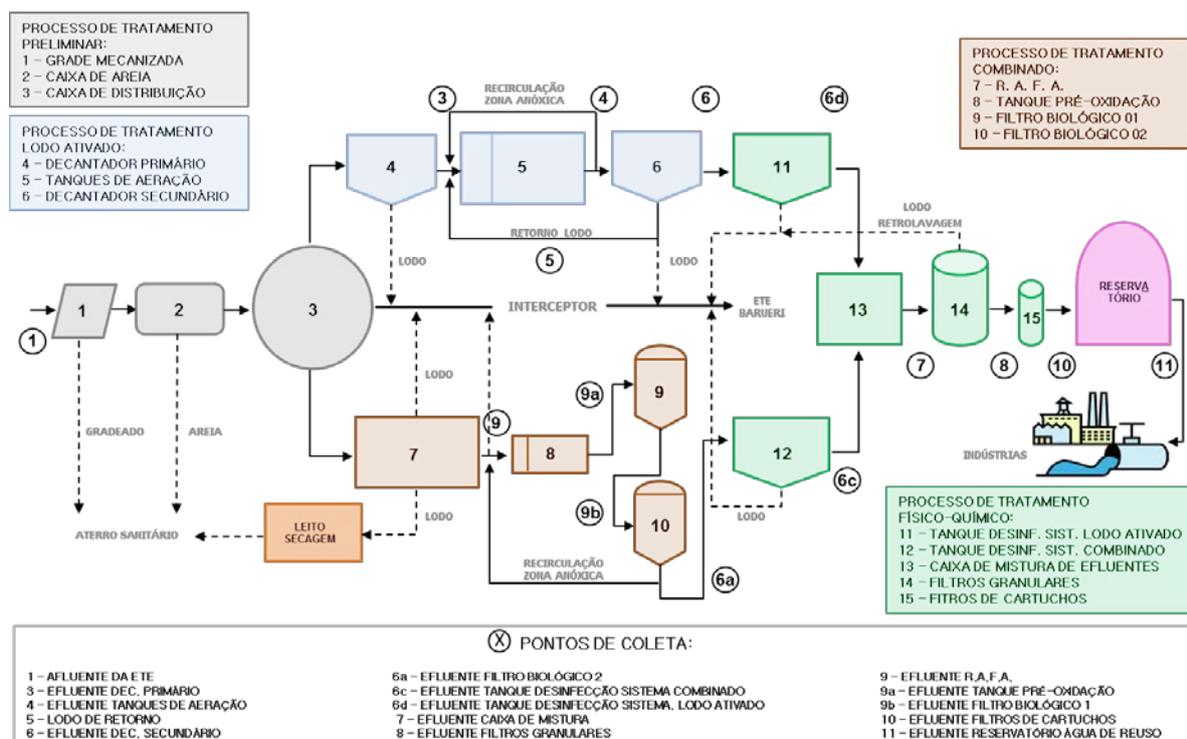
Neste contexto, o presente trabalho avaliou a substituição de um coagulante inorgânico por um orgânico natural para a clarificação (processos de coagulação, floculação e decantação) do efluente do tratamento secundário por lodos ativados em uma ETE de produção de água de reuso para fins industriais.

## OBJETIVO

Avaliar a aplicação de um coagulante orgânico natural para polimento do efluente do tratamento secundário biológico de uma ETE de produção de água de reuso para fins industriais não potáveis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE estudada localiza-se bairro do Ipiranga, em São Paulo, e produz uma vazão de 29,5 L/s de água de reuso destinada à utilização industrial. Possui dois processos de tratamento que operam em paralelo: a) Sistema de Lodo Ativado (LA) ( $Q_{méd}=20,9$  L/s, aproximadamente 2/3 da vazão da ETE); b) Sistema Combinado, composto por Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) + Filtros Biológicos ( $Q_{méd}=8,6$  L/s, aproximadamente 1/3 da vazão da ETE). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de tratamento da ETE.



**Figura 1: Fluxograma do processo de tratamento da ETE estudada com apresentação dos pontos de coleta para análises de controle do processo. Fonte: Portal MC – Sabesp.**

Atualmente, é utilizado o coagulante PAC para clarificação do efluente proveniente dos tratamentos secundários biológicos mencionados acima (RAFA+FB e LA). Este coagulante inorgânico é aplicado na entrada dos reatores 11 e 12 do fluxograma da Figura 1, em conjunto com o cloro (hipoclorito de sódio),

resultando em valores reduzidos de turbidez e cor aparente nos efluentes (6d e 6c), conforme apresentado na Tabela 1 (valores médios desde Jan/16). Esta Tabela também apresenta os valores médios destes parâmetros no Ponto 11 (Efluente Final da ETE, à jusante do Reservatório), demonstrando que os valores finais são muito inferiores aos limites contratuais de Turbidez (2 NTU) e Cor Aparente (10 mg Pt-Co/L).

**Tabela 1: Resultados de controle operacional dos parâmetros Turbidez, Cor Aparente e Cor Verdadeira nos pontos de coleta 6d, 6c e 10 desde Janeiro/2016.**

Ponto de Coleta	Descrição	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (mg Pt-Co/L)	Cor Verdadeira (mg Pt-Co/L)
6d	Efluente do Tanque de Desinfecção Sistema Lodo Ativado	0,7	9,4	5,2
6c	Efluente do Tanque de Desinfecção Sistema Combinado	0,9	13,7	6,0
11	Efluente Final do Reservatório	0,2	4,0	-

Observação: nos casos em que os resultados foram abaixo dos limites de detecção (de 0,5 NTU para turbidez e 5 mg Pt-Co/L para cor), foram considerados os valores dos limites de detecção para efeitos de cálculo da média.

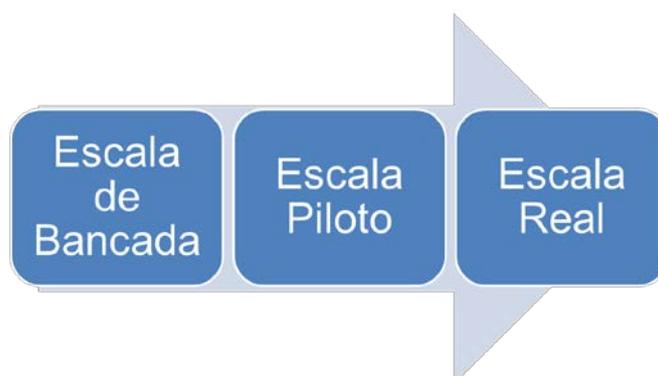
Entretanto, uma das consequências da dosagem deste coagulante no ponto mencionado é o aumento das concentrações dos parâmetros Cloreto e Condutividade, os quais podem exceder os valores contratuais estabelecidos junto à indústria.

Buscou-se no mercado um coagulante cuja composição fosse livre de sais que pudessem favorecer a formação de cloreto e condutividade, que não alterasse o pH para valores fora do limite estabelecido em contrato com o cliente da água de reúso, e cuja aplicação não dependesse de correção do pH do efluente do sistema de lodos ativados, através da adição de cal, por exemplo.

O coagulante testado foi o polímero orgânico de origem vegetal Veta Organic, da Empresa *Brazilian Wattle Extracts* (BWE), composto por Tanato Quaternário de Amônio, que não incorpora sais no sistema de tratamento e cujas algumas de suas características físico-químicas são:

- Aspecto: Líquido castanho escuro;
- Odor: característico;
- Densidade: 1,05 a 1,10 kg/L.

Para avaliar a possibilidade de substituição do coagulante PAC por um coagulante orgânico, foi aplicada uma metodologia de testes sequenciais de bancada, piloto e escala real, conforme ilustrado na Figura 2, sendo que mais detalhes de cada etapa estão apresentados nos tópicos a seguir.



**Figura 2: Etapas de testes do coagulante orgânico natural testado.**

A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados ao longo dos testes, com os seus respectivos métodos e equipamentos utilizados.

**Tabela 2: Parâmetros, métodos, limites de quantificação e equipamentos utilizados nas análises dos parâmetros testados. Métodos do Standard Methods for the Examination Water and Wastewater 22nd Edition, 2012.**

Parâmetro	Métodos	Limite de Quantificação	Equipamento
pH	4500 H+B	-	DM 22
Cor	2120 C	5 UC	PHARO 100
Turbidez	2130 B	0,5 NTU	RACK 2100 AN
Condutividade	2510 B	25 M	ORION 162
Cloreto	Método Titulométrico	2 mg/L	MColorstest

#### *Teste em escala de bancada*

- Período de realização: 03/10/15 a 13/10/15;
- Efluente utilizado nos testes: atualmente o coagulante PAC é aplicado no mesmo ponto da aplicação de cloro, nos dois tanques de desinfecção dos sistemas de Lodo Ativado e Combinado (UASB+FB). Contudo, como a maior parte da vazão de tratamento da ETE é do sistema de LA (2/3 da vazão total), os testes de jarros (*jar-test*) foram conduzidos para esta água.
- Características dos testes de jarros:
  - Número de jarros utilizados: seis jarros ao todo;
  - PAC como referência: como os testes de jarros foram realizados em dias diferentes e o efluente do LA apresentava características ligeiramente diferentes, em todos os testes foi mantido um jarro com a dosagem de PAC aplicada na ETE, para comparação com os demais jarros. No período do teste, a dosagem do PAC ao efluente do LA era de 74 mg/L;
  - Tempos de agitação: os tempos e agitações foram definidos para simular o que ocorre nos tanques de desinfecção da ETE, ou seja, uma agitação maior na entrada do tanque de desinfecção e agitações menores ao longo do tanque:
    - 1 min a 240 rpm;
    - 120 min a 60 rpm;
    - 30 min parado.
  - Doses testadas: foram realizados três testes de jarros, sendo que no primeiro as dosagens aplicadas foram altas (de 52 a 262 mg/L) e nos demais as doses aplicadas foram de 10 a 52 mg/L. Considerou-se como melhor dosagem aquela cuja clarificação (cor e turbidez) foi próxima à do PAC e os valores de condutividade e cloreto forma menores.

#### *Teste em escala piloto*

Foi montado um tanque de aço inox nas dimensões 3m X 1,2m X 1m (volume de 3,6m<sup>3</sup>), objetivando a simulação do Tanque de Coagulação/sedimentação e oxidação/desinfecção dos efluentes tratados pelos processos de Lodo Ativado e Sistema Combinado (etapas 11 e 12 do Fluxograma da Figura 1 respectivamente).

No piloto optou-se por simular os processos de desinfecção/oxidação e coagulação para os efluentes misturados (2/3 da vazão do LA e 1/3 da vazão do Sist. Combinado), ou seja, realizando as etapas 13, 11 e 12 juntas em um mesmo tanque de mistura, sedimentação e desinfecção.

Para o dimensionamento desta unidade, tomou-se como base a vazão e dimensões do tanque de desinfecção do processo de Lodo Ativado, o qual apresenta um tempo de detenção de aproximadamente 4 horas, conforme cálculo abaixo:

- Considerando que a vazão média do processo de LA em 2014 foi de 21 L/s e o volume do tanque é de 300 m<sup>3</sup>:

$$Q_{LA} = \frac{21L}{s} \times \frac{3600s}{1h} = \frac{75600L}{h} = 75,6m^3/h$$

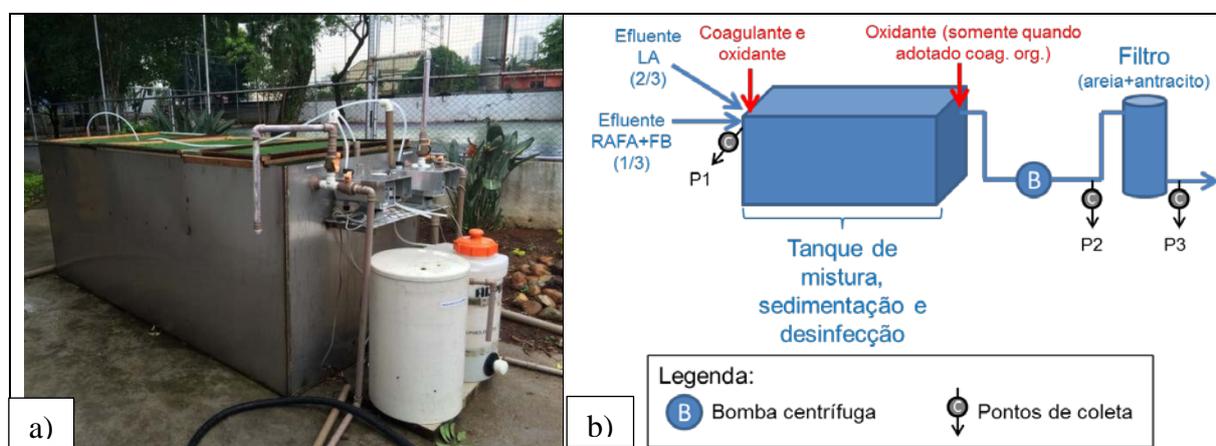
$$TDH = \frac{V}{Q_{LA}} = \frac{300m^3}{75,6m^3/h} = 3,97h$$

- Foi dimensionado um tanque piloto (Figura 3a) com tempo de detenção superior a 3 horas (dimensões: 3m X 1,2m X 1m = 3,6m<sup>3</sup>) para a vazão de 18 L/min:

$$Q_{piloto} = \frac{18L}{min} \times \frac{60min}{1h} = \frac{1080L}{h} = 1,08m^3/h$$

$$TDH = \frac{V}{Q_{LA}} = \frac{3,6m^3}{1,08m^3/h} = 3,33h$$

Além do tanque, o piloto continha um filtro granular de dupla camada (areia e antracito) e três pontos de coleta, conforme se pode verificar no croqui da Figura 3b.



**Figura 3: Piloto de sedimentação e desinfecção.**

Para ter uma referência, inicialmente foi simulado o processo atual com PAC e cloro (Hipoclorito de Sódio - NaOCl, 12% de cloro ativo). Em seguida, foi testado o coagulante orgânico natural, para três dosagens diferentes, sendo que nesta etapa foi necessário remanejar a dosagem de cloro para a saída do tanque, pois o cloro prejudica o desempenho deste produto. Para ajuste das dosagens aplicadas, foram preparadas diluições do coagulante orgânico, ao invés de variação da vazão da bomba dosadora, seguindo sugestão do fabricante do produto.

Os testes foram realizados ao longo de 4 semanas, entre Novembro/15 e Janeiro/16.

A Tabela 3 apresenta uma síntese dos testes em piloto, com a duração dos testes, as dosagens, pontos de aplicação e parâmetros monitorados.

**Tabela 3: Detalhes dos testes na unidade piloto para avaliação do coagulante orgânico.**

Teste	Duração do teste	Coagulante			Oxidante/Desinfetante		
		Tipo	Dose	Ponto de aplicação	Tipo	Dose	Ponto de aplicação
1 – Simulação Processo Atual	5 dias	PAC	85 mg/L	Entrada do Tanque	NaOCl	32 mg/L	Entrada do Tanque
2 – Simulação Coag. Orgânico Natural	4 dias	Veta Organic	11mg/L	Entrada do Tanque	NaOCl	32 mg/L	Saída do Tanque
3 – Simulação Coag. Orgânico Natural	4 dias	Veta Organic	21mg/L	Entrada do Tanque	NaOCl	32 mg/L	Saída do Tanque
4 – Simulação Coag. Orgânico Natural	5 dias	Veta Organic	42mg/L	Entrada do Tanque	NaOCl	32 mg/L	Saída do Tanque

#### Teste em escala real

Com base na experiência adquirida em bancada e na unidade piloto definiu-se que o teste em escala real seria realizado apenas com o Sistema de Lodo Ativado – LA - ( $Q_{\text{atual}} = 22 \text{ L/s}$ ), devido as seguintes considerações:

- O efluente do LA apresenta melhor qualidade em relação Sistema Combinado e representa a maior parte da vazão da ETE (2/3);
- Nesta linha há a possibilidade de modificar facilmente o ponto de aplicação de cloro para depois do Tanque de Desinfecção Sist. LA;
- Caso ocorresse problema provocado pelo teste, o Sistema Combinado seria capaz de produzir água até o reestabelecimento da qualidade, já que os sistemas operam em paralelo.

O teste no piloto indicou que a dosagem que proporcionou clarificação equivalente ao PAC em termos de turbidez e cor (40% e 30% de remoção destes parâmetros, respectivamente) foi de 42 mg/L (conforme equação a seguir).

$$D_{VETA-piloto} = 0,04 \frac{mL}{L} \times 1,05 \times 10^6 \frac{mg}{L} \times \frac{1L}{1000mL} = 42mg/L$$

A empresa BWE disponibilizou para os testes 1000 litros do produto VETA Organic. Na primeira semana o produto foi diluído em 50%, de modo a garantir uma dosagem mais constante do produto, conforme recomendação da empresa fornecedora. Assim, a vazão de dosagem do produto diluído a 50% foi de:

$$Q_{VETA} = 0,04 \frac{mL}{L} \times 22 \frac{L}{s} = 0,88 \frac{mL}{s} = 52,8 \frac{mL}{min}$$

$$Q_{VETA-50\%} = \frac{52,8}{0,5} = 105,6 \frac{mL}{min}$$

Os testes foram realizados durante duas semanas do mês de Novembro de 2016, sendo: 1ª - 06 a 11/11/16 e 2ª – 20 a 25/11/16, conforme Tabela 4. A dosagem do coagulante se iniciou aos domingos, para garantir que nas segundas-feiras (início das coletas e análises) o efluente do sistema de lodos ativados tivesse sido tratado com o coagulante orgânico.

**Tabela 4: Cronograma de Testes em Escala Real com Coagulante Veta Organic.**

<b>Domingo</b>	<b>Segunda</b>	<b>Terça</b>	<b>Quarta</b>	<b>Quinta</b>	<b>Sexta</b>	<b>Sábado</b>
<b>6/nov</b> Início da dosagem	<b>7/nov</b> Coletas e análises	<b>8/nov</b> Coletas e análises	<b>9/nov</b> Coletas e análises	<b>10/nov</b> Coletas e análises	<b>11/nov</b> Coletas e análises	<b>12/nov</b>
<b>13/nov</b>	<b>14/nov</b>	<b>15/nov</b>	<b>16/nov</b>	<b>17/nov</b>	<b>18/nov</b>	<b>19/nov</b>
<b>20/nov</b> Início da dosagem	<b>21/nov</b> Coletas e análises	<b>22/nov</b> Coletas e análises	<b>23/nov</b> Coletas e análises	<b>24/nov</b> Coletas e análises	<b>25/nov</b> Coletas e análises	<b>26/nov</b>

Na segunda semana de testes, após discussão dos resultados obtidos na primeira semana de teste (e que serão apresentados no próximo tópico), decidiu-se aumentar a diluição do coagulante para 20%.

A fim de manter a mesma dosagem do produto, a vazão da bomba dosadora foi ajustada conforme cálculo a seguir:

$$Q_{\text{VETA-20\%}} = \frac{52,8}{0,2} = 264 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

Os parâmetros analisados, número e frequência das amostragens encontram-se apresentados na Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5: Parâmetros, frequência, período e análises das coletas ao longo do teste em escala real.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Frequência</b>	<b>Período</b>
Cor Aparente	2 vezes / dia	1ª semana e 2ª semana
Cor Verdadeira	2 vezes / dia	2ª semana
Turbidez	2 vezes / dia	1ª semana e 2ª semana
Condutividade	2 vezes / dia	1ª semana e 2ª semana
Cloreto	2 vezes / dia	1ª semana e 2ª semana

As coletas foram realizadas nos pontos 6, 6d, 7 e 10 do Fluxograma da Figura 1, ou seja, no início do tanque de desinfecção de lodos ativados, após o tanque de desinfecção, após a caixa de misturas de efluentes e após os filtros (granulares e de cartuchos). Vale ressaltar que durante os testes, a aplicação do cloro foi realizada entre o ponto 6d e 7, de modo a permitir que o tanque de desinfecção fosse utilizado exclusivamente para o processo de mistura com o coagulante orgânico, floculação e sedimentação dos flocos. A Figura 4 a seguir apresenta o tanque de desinfecção utilizado durante os testes como ponto de aplicação do coagulante.



**Figura 4: Tanque de Desinfecção Utilizado como Tanque de Aplicação do Coagulante, Floculação e Sedimentação dos Flocos.**

## RESULTADOS

### *Teste em escala de bancada*

No primeiro teste de jarros realizado foram aplicadas dosagens muito elevadas do coagulante orgânico, resultados em valores de cor aparente e turbidez elevados no clarificado, conforme pode-se observar na Tabela 6. Além disso, observou-se neste teste que os parâmetros pH e cloreto não foram alterados, enquanto que a condutividade sobre aumento para as maiores dosagens.

**Tabela 6: Resultado do primeiro teste de jarros com o coagulante orgânico.**

Jarro	Produto químico	Dosagem (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Cor aparente (mgPt-Co/L)	Condutividade (µS/cm)
	Inicial:		55 mg/L	1,30 NTU	pH: 6,30	33 mg/L	371 µS/cm
1	PAC	73,9	80	0,184	5,73	6	293
2	Veta Organic	52,5	65	0,802	6,47	82	384
3	Veta Organic	105,0	65	1,28	6,39	123	390
4	Veta Organic	157,5	65	1,58	6,36	145	392
5	Veta Organic	210,0	65	1,8	6,31	175	419
6	Veta Organic	262,5	70	1,76	6,26	188	418

Já o segundo teste de jarros, em que foram aplicadas dosagens mais baixas do coagulante orgânico, conforme Tabela 7, não se observou o mesmo efeito de acréscimo de cor e turbidez, mas a eficiência de remoção destes

parâmetros do PAC foi superior. Contudo, o acréscimo de condutividade foi inferior ao do PAC e não houve variação significativa dos parâmetros pH e cloreto (especialmente para as dosagens menores).

**Tabela 7: Resultado do segundo teste de jarros com o coagulante orgânico.**

Inicial:	Hora da coleta: 10h	Cloreto: 85 mg/L	Turbidez: 0,903 NTU	pH: 6,82	Cor aparente: 25 mg/L	Condutividade: 376 µS/cm
----------	---------------------	------------------	---------------------	----------	-----------------------	--------------------------

Jarro	Produto químico	Dosagem (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Cor aparente (mgPt-Co/L)	Condutividade (µS/cm)
1	PAC	73,9	100	0,275	5,98	8	465
2	Veta Organic	10,5	85	0,387	6,73	17	415
3	Veta Organic	21,0	85	0,402	6,73	21	416
4	Veta Organic	31,5	85	0,546	6,74	22	415
5	Veta Organic	42,0	85	0,639	6,69	21	415
6	Veta Organic	52,5	85	0,613	6,76	22	417

O terceiro teste de jarros (resultados na Tabela 8), que foi uma repetição do segundo, indicou resultados semelhantes, ou seja, a eficiência de clarificação (cor aparente e turbidez) do PAC é superior à do coagulante orgânico, mas os parâmetros cloreto, condutividade e pH não sofreram alteração significativa.

**Tabela 8: Resultado do terceiro teste de jarros com o coagulante orgânico.**

Inicial:	Hora da coleta: 10h	Cloreto: 70 mg/L	Turbidez: 8,91 NTU	pH: 6,73	Cor aparente: 107 mg/L	Condutividade: 412 µS/cm
----------	---------------------	------------------	--------------------	----------	------------------------	--------------------------

Jarro	Produto químico	Dosagem (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Cor aparente (mgPt-Co/L)	Condutividade (µS/cm)
1	PAC	73,9	95	0,334	6,05	11	467
2	Veta Organic	10,5	70	0,265	6,84	17	416
3	Veta Organic	21,0	70	0,356	6,84	17	414
4	Veta Organic	31,5	70	0,421	6,91	17	421
5	Veta Organic	42,0	70	0,459	6,89	17	419
6	Veta Organic	52,5	70	0,582	6,9	20	418

#### *Teste em escala piloto*

Inicialmente, as mesmas dosagens da solução atual (PAC+cloreto) foram aplicadas para obter-se uma referência para comparação dos testes com o coagulante orgânico, já que a unidade piloto não representaria perfeitamente a condição de escala real.

Com base nos resultados dos testes de bancada, os testes com o coagulante orgânico natural foram aplicados para as dosagens de 11, 21 e 42 mg/L, variando a diluição da solução preparada.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos testes, em termos de variação média de concentração aos parâmetros de interesse Turbidez, Cor, pH, Condutividade e Cloreto.

**Tabela 9: Resultados de variação média das concentrações dos parâmetros de interesse ao estudo em unidade piloto testado os coagulantes PAC e Veta Organic.**

Teste/Semana	Coagulante		Variação da concentração de P1 a P2 (%)				
	Tipo	Dose (mg/L)	Cor aparente (mgPt-Co/L)	Turbidez (NTU)	pH	Condutividade (µS/cm)	Cloreto (mg/L)
1 – Simulação Processo Atual	PAC	86	-34%	-42%	-4%	18%	46%
2 – Simulação Coag. Orgânico Natural	Veta Organic	11	-3%	-5%	-3%	11%	24%
3 – Simulação Coag. Orgânico Natural	Veta Organic	21	-24%	-41%	-1%	13%	21%
4 – Simulação Coag. Orgânico Natural	Veta Organic	42	-28%	-40%	-1%	11%	13%

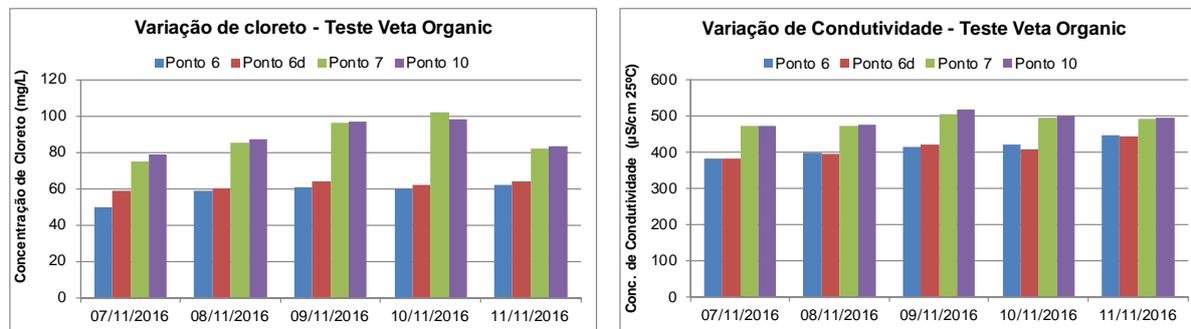
Apesar das ligeiras diferenças entre a escala real e a unidade piloto, considerou-se que o piloto foi satisfatório para simulação do processo. Com ele, foi possível avaliar que a formação de condutividade e cloreto provocados pela dosagem de PAC foi consideravelmente superior àquela promovida pelo coagulante orgânico. Não se observou variação significativa do pH, assim como indicaram os testes em bancada.

O PAC apresentou maior eficiência de remoção de Cor aparente e Turbidez, mas a diferença entre as eficiências dos coagulantes testados foi menor do que indicavam os testes de bancada. Considerou-se a maior dosagem de 42 mg/L como o ponto de partida a ser testado em escala real.

Outro resultado interessante do piloto foi que os valores de turbidez e a cor aparente médios do efluente filtrado (após processo de filtração granular) foram equivalentes (em torno de 1NTU e 30 mgPt-Co/L) para os dois coagulantes testados.

#### Teste em escala real

Os resultados dos testes em escala real realizados na primeira semana encontram-se apresentados nas Figuras 5 e 6 a seguir. Para facilitar a discussão dos resultados, foram agrupados os parâmetros cloreto e condutividade, cor aparente e turbidez.



**Figura 5: Variação de Cloreto e Condutividade na 1ª Semana de Teste.**

Observa-se na Figura 5 que entre os pontos 6 e 6d não houve acréscimo significativo de cloreto e condutividade, o que pode ser considerado um aspecto positivo do coagulante orgânico utilizado no teste. Entre os pontos 6d e 7, o acréscimo desses dois parâmetros está relacionado com a dosagem de cloro no ponto 6d. Não houve acréscimo significativo para esses dois parâmetros após processo de filtração.

A Figura 6 apresenta os resultados da primeira semana para os parâmetros cor aparente e turbidez.

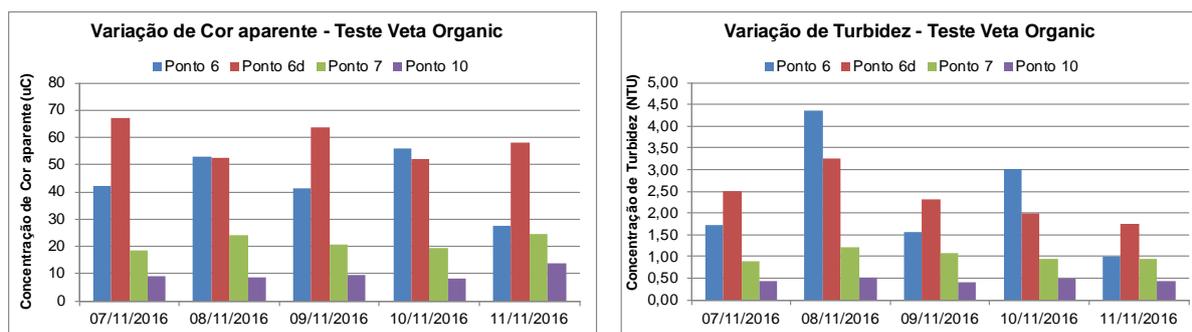


Figura 6: Cor Aparente e Turbidez na 1ª Semana de Teste.

Com relação aos parâmetros da Figura 6, houve acréscimo de cor aparente entre os pontos 6 e 6d na maioria dos dias monitorados, ou seja, a aplicação de coagulante orgânico implicou diretamente no aumento desse parâmetro.

Com relação à turbidez houve bastante variação entre esses dois pontos, tendo ocorrido acréscimo na maioria dos dias monitorados. Ao analisar os dias em que o acréscimo de cor aparente foi mais significativo (dias 07, 09 e 11/11) observou-se que coincidiram com os dias onde o acréscimo de turbidez também foi significativo.

Após a aplicação de cloro no ponto 6d, houve redução significativa para esses parâmetros, chegando a atingir valores inferiores a 20 uC (cor aparente) e 1,00 NTU (turbidez) após a filtração na maioria dos dias monitorados.

Para a segunda semana de teste, visando confirmar se o acréscimo de cor aparente se refletia apenas no aumento da turbidez do efluente, e não na adição de substâncias que conferem cor ao se dissolverem no meio líquido, foi adicionado o parâmetro cor verdadeira.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados da segunda semana.

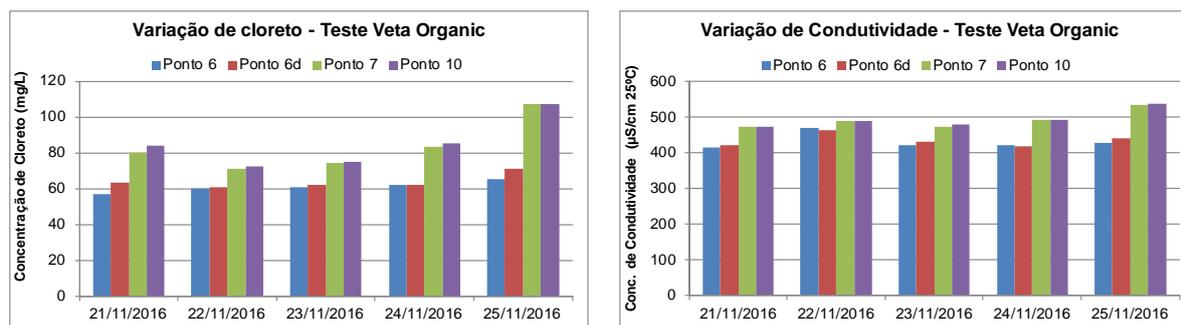
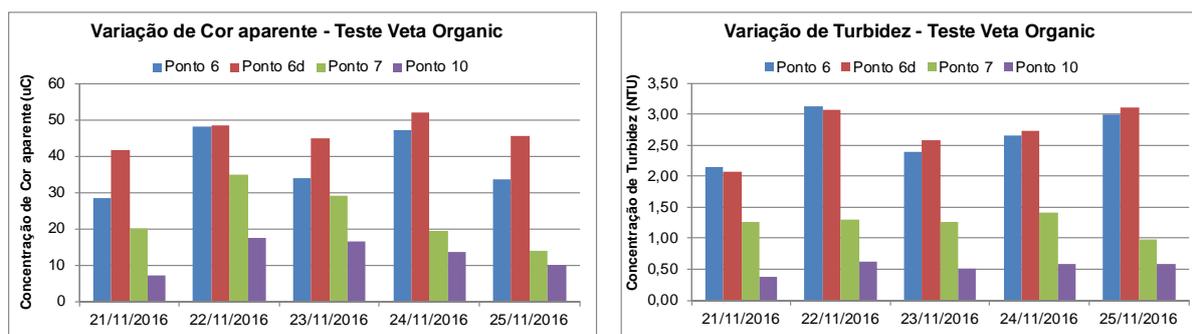


Figura 7: Variação de Cloreto e Condutividade na 2ª Semana de Teste.

Da Figura 7, observa-se que assim como na primeira semana, não houve acréscimo significativo para os parâmetros cloreto e condutividade após a aplicação do coagulante orgânico (Pontos 6 e 6d). Portanto, é possível afirmar que o coagulante Veta Organic não influencia na característica da água de reuso no que diz respeito a esses dois parâmetros.

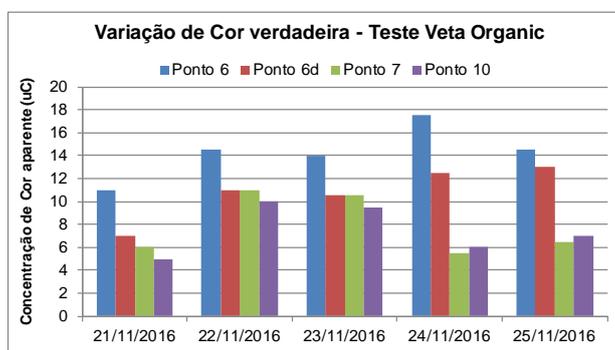
A Figura 8 apresenta os resultados de cor aparente e turbidez para a segunda semana.



**Figura 8: Cor Aparente e Turbidez na 2ª Semana de Teste.**

Houve acréscimo de cor aparente para a maioria dos dias monitorados. Com relação à turbidez, não houve variação significativa entre esses dois pontos durante a maioria dos dias monitorados, indicando que as partículas ou pequenos flocos formados se mantiveram em suspensão durante o tempo de detenção no tanque. Após a aplicação de cloro houve redução significativa na concentração desses parâmetros, chegando a atingir, após filtração, concentrações inferiores a 20 uC (cor aparente) e 1,0 NTU (turbidez), equivalente aos resultados da primeira semana.

Com relação à cor verdadeira, avaliada apenas na segunda semana, a Figura 9 apresenta os resultados.



**Figura 9: Cor Verdadeira na 2ª Semana de Teste.**

Os resultados demonstram que houve redução da cor verdadeira após a aplicação do coagulante orgânico, na ordem de 20 a 35% da concentração inicial. A remoção da cor verdadeira pode estar relacionada com o aumento da cor aparente, conforme observado nas duas semanas de teste, indicando que parte das substâncias coloidais podem ter sido desestabilizadas e ter formado pequenos flocos. Contudo, os flocos formados não apresentaram tamanho ou peso suficiente para serem removidos por sedimentação no tanque. Após a aplicação de cloro, houve redução significativa da cor verdadeira apenas nos dois últimos dias do teste, o que pode estar relacionado ao ajuste da dosagem de cloro entre os pontos 6d e 7.

## CONCLUSÕES

Os resultados em escala de bancada, piloto e real permitiram concluir que o coagulante orgânico utilizado não impactou nos parâmetros cloreto e condutividade. O aumento verificado nestes parâmetros em escalas piloto e real deve-se à dosagem do cloro.

Também é importante destacar que o produto orgânico testado não alterou o pH da água, o que representa uma vantagem em relação aos coagulantes inorgânicos.

O teste em escala real demonstrou a ocorrência de aumento nos valores de cor aparente e redução da cor verdadeira. O aumento da cor aparente não impactou a qualidade da água de reuso produzida devido à ação oxidante do cloro aplicado no ponto 6d e ao processo de filtração.

Embora o filtro tenha retido boa parte dos sólidos em suspensão remanescentes, não foi avaliado o impacto na colmatação dos filtros (carreira de filtração e quantidade de retrolavagens). Isto deverá ser realizado em escala real caso o produto venha a ser adotado no processo de tratamento da ETE.

Em síntese, a Tabela 10 apresenta as consequências da aplicação do coagulante orgânico avaliado, tomando como referência o coagulante atual (PAC), na variação das concentrações dos parâmetros de interesse do efluente do polimento do tratamento secundário.

**Tabela 10: Comparação dos resultados dos parâmetros de qualidade do efluente do polimento do tratamento secundário utilizando o Coagulante orgânico testado (Veta Organic) com os do processo atual (PAC).**

Comparação	Turbidez	Cor	pH	Cloreto	Condutividade
Efluente do processo com o Coagulante Orgânico (Veta Organic) em relação ao do coagulante atual (PAC)	>	>	>	<	<

Neste contexto, dois aspectos são importantes no que se refere ao processo de produção de água de reuso para fins industriais não potáveis. O primeiro está relacionado à água de reuso ser originada do tratamento de esgoto, em que valores altos de cor e turbidez implicam em desconfiança e rejeição da água, fator que levará o cliente a não ter mais interesse no produto.

O segundo aspecto refere-se especificamente para o reuso industrial, sendo que valores elevados dos parâmetros condutividade e cloreto podem prejudicar certos processos industriais (ex: tingimento, uso em caldeiras, etc.).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SILVA, M.E.R.; et al. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais, Rev. Tecnol. Fortaleza, n.28, n.2, pp.178-190, 2007.