



## I-096 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COAGULANTE POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) ETA PORTO NOVO

### **Mario Augusto Ferraz do Amaral<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Pós-graduado em Saneamento Ambiental pela Escola de Sociologia e Política do Estado de São Paulo (FESPSP). Gerente de Setor Técnico Operacional na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

### **Veronica Di Flora e Souza<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Cruzeiro do Sul. Bacharel em Química com atribuições tecnológicas pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Encarregada de Tratamento de Água na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

### **Eudes da Silva Miranda<sup>(3)</sup>**

Técnico em Química pela Escola Politécnica Comendador Manuel Pedro de Oliveira (ECOMPO). Operador da ETA Porto Novo na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

### **Benedito Zacarias<sup>(4)</sup>**

Licenciado em Química e Ciências Biológicas pela Universidade Metropolitana de Santos (UNIMES). Extensão Universitária em Biologia Marinha Básica pela Universidade de São Paulo (USP). Operador da ETA Porto Novo na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

### **Rui Cesar Rodrigues Bueno<sup>(5)</sup>**

Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo [USP]. MBA em Administração pela Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia [FUNDACE] da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto [FEA-RP] da Universidade de São Paulo [USP]. Especialização em Saúde Pública pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto [FMRP] da Universidade de São Paulo [USP]. Químico Industrial pela Escola Superior de Química Osvaldo Cruz. Superintendente na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Estrada do Rio Claro, 420 – Porto Novo – Caraguatatuba – SP – CEP: 11670-401 - Brasil - Tel: +55 (12) 3885-2055 - e-mail: [mafamaral@sabesp.com.br](mailto:mafamaral@sabesp.com.br)

## **RESUMO**

A Unidade de Negócio do Litoral Norte – RN, que compreende 04 (quatro) municípios operados pela SABESP no litoral norte do Estado de São Paulo, em conformidade com os requisitos legais aplicáveis, bem como com a missão de prestar serviços de saneamento, contribuindo para a melhora da qualidade de vida e do meio ambiente e a visão de ser referência mundial na prestação de serviços de saneamento, de forma sustentável, competitiva e inovadora, identificou a possibilidade de substituição de coagulante no processo de tratamento de água, a fim de melhorar a qualidade de água destinada ao consumo humano e reduzir o consumo de produtos químicos.

O presente trabalho visa avaliar o desempenho, a viabilidade técnica e econômica da substituição do coagulante Sulfato de Alumínio Ferroso pelo Policloreto de Alumínio na remoção de turbidez da água bruta, em uma Estação de Tratamento de Água de Flotofiltração. O estudo foi realizado em escala processual, na ETA Porto Novo, localizada no município de Caraguatatuba SP, após ensaios em bancada por meio de equipamento Jar Test, o qual confirmou a maior eficácia na remoção de turbidez do PAC em relação ao Sulfato de Alumínio e em concentrações menores de coagulante. Além disso, a utilização do coagulante PAC reduziu consumo de reagente pré alcalinizante, desinfectante e ácido fluossilícico, o que garantiu otimização de custos processuais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coagulante, Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio, ETA Flotofiltração.



## INTRODUÇÃO

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Unidade de Negócio do Litoral Norte possui uma unidade de tratamento de água que opera pelo processo de flotofiltração, que aplica a técnica de flotação por ar dissolvido, com capacidade de aproximadamente 600 l/s, instalada no município de Caraguatatuba, denominada ETA Porto Novo.

A técnica de tratamento utilizada na ETA Porto Novo é do tipo flotação por ar dissolvido (FAD), um processo que tem baixo custo de implantação. Esse processo é aplicado em locais cuja características da água captada de alguma forma apresenta variações bruscas de temperatura, problema de água eutrofizadas ou mananciais que apresentam grandes concentrações de ar dissolvido na água bruta, cor elevada, baixa turbidez, situação comum dos mananciais de serra utilizados para abastecimento nas regiões litorâneas.

Do ponto de vista operacional, mesmo com as grandes variações apontadas acima, o processo de flotofiltração mantém a estabilidade do tratamento, pois trata-se de uma técnica muito eficiente na remoção de partículas nas quais se incluem bactérias, algas, cistos de protozoários, flocos de hidróxido de alumínio, resultantes de coagulações orgânicas, e outros flocos que não tiveram uma boa formação, que consiste em um processo de separação físico baseado no arraste para a superfície de partículas sólidas (coloides), na forma de flocos presente na massa líquida estabilizada pela ação do coagulante. A ascensão das partículas se dá através da adição de pequenas bolhas produzidas pela redução brusca de pressão da água saturada com o ar.

A água saturada com ar é misturada à água floculada numa câmara de expansão que antecede os flofiltros, momento no qual o excesso de ar comprimido dissolvido na água de recirculação se desprende na forma de microbolhas, aderindo quase que instantaneamente aos flocos que são arrastados a superfície dando origem a um manto de lodo que é periodicamente removido por raspadores.

Na comparação entre o processo de flotação e decantação, observa-se a rapidez que o processo de flotação consegue arrastar os flocos formados, necessitando de estruturas com áreas menores em relação a decantação.

Uma das etapas do processo de tratamento de Água por Flotofiltração, é a coagulação química, nesse processo ocorrem reações de hidrólise e polimerização entre partículas presentes na água e coagulante. Os coagulantes liberam partículas carregadas positivamente que interagem com as partículas de sujeira com alta densidade de carga negativa, dessa forma ocorre redução das forças repulsivas entre partículas gerando aglomerados de partículas maiores que podem ser eliminadas na etapa seguinte de flotação. As reações químicas sofrem influência do pH, das espécies iônicas presentes na água, do tipo e da concentração dos coloides, do coagulante utilizado e sua concentração e das condições de aplicação do coagulante (UNICAMP, 2001).

A eficiência do processo de coagulação-floculação depende das variáveis: tipo de coagulante usado, dosagem de coagulante, pH, tipo e dosagem de aditivos químicos como polieletrólitos, sequência de adição de produtos químicos e intervalo de tempo entre os pontos de dosagem, intensidade e duração da mistura, tipo de dispositivo para a mistura, gradiente de velocidade aplicado durante a fase de floculação, tempo de retenção do floculador, tipo de dispositivo usado para agitação e geometria do floculador (BRATBY, 1980).

Os coagulantes químicos mais comumente utilizados em processos de Tratamento de Água são Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio e mais atual o Policloreto de Alumínio (PAC). A determinação da escolha do coagulante ideal vai depender de fatores como alcalinidade da água bruta, faixas de Turbidez e Cor do manancial, tipo de processo de tratamento, variações de temperatura entre outros.

Até o presente estudo, a ETA Porto Novo fazia uso do coagulante Sulfato de Alumínio, o qual não estava se mostrando eficiente na remoção de turbidez e estava inviabilizando o atendimento da Portaria MC/MS 888/2021. Como alternativa e visando otimização de custo e processo, o corpo técnico da Divisão de Caraguatatuba do Litoral Norte optou por testar o Policloreto de Alumínio, que possui como íon catiônico o Alumínio trivalente, assim como o Sulfato de Alumínio.



O Policloreto de Alumínio é um coagulante inorgânico polimerizado catiônico de baixo peso molecular e pré-polimerizado, o que lhe confere uma velocidade de floculação superior em relação aos outros coagulantes tradicionais, sendo um composto poli-nuclear de íons de alumínio polimerizados geralmente formulado como  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ . A basicidade é representada na relação  $m/3n$  e com essa característica, durante a hidrólise, libera uma quantidade de ácido menor do que a liberada pelo Sulfato de Alumínio Ferroso, provocando menor variação de pH e, conseqüentemente, menor consumo de neutralizantes (MEMPHIS, 2020).

Como vantagens da sua utilização, destacam-se a redução de dosagem de produtos químicos, seu elevado grau de ionização, possibilidade de atuar em uma faixa ampla de pH, redução de cor e turbidez da água tratada, aumento do tamanho e peso dos flocos, redução de custo operacional e outros benefícios (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009).

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a avaliação de desempenho do processo mediante a substituição do coagulante Sulfato de Alumínio por Policloreto de Alumínio, como uma forma de garantir o aumento na qualidade da água e a redução do quantitativo utilizado de produtos químicos no processo de tratamento de água, gerando, conseqüentemente, uma redução de despesas.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia de elaboração e acompanhamento da avaliação de desempenho do coagulante PAC na Estação de Tratamento Água ETA Porto Novo, foi concebida pela equipe do setor técnico operacional da Divisão de Caraguatatuba, a partir da identificação de oportunidade de atendimento da Portaria MC/MS 888/2021, Capítulo V – Do Padrão de Potabilidade, em que é exigência para água bruta advinda de manancial superficial que 95% das amostras coletadas a cada duas horas após etapa de filtração rápida apresentem valores de turbidez igual ou inferior 0,5 NTU e, nos restante das amostras, 1,0 NTU. Como o projeto de concepção da ETA é datada ano de 1998, foi necessário identificar pontos de melhoria no processo de tratamento de água para atender as legislações atuais.

Após ensaios em bancada no equipamento Jar Test, foi verificado que o PAC apresenta taxas de remoção de turbidez superiores ao coagulante Sulfato de Alumínio, e em concentrações menores para as amostras de água bruta do manancial da ETA Porto Novo.

Para verificar a eficiência do PAC em escala processual, iniciou-se no mês de julho de 2022 a aplicação do PAC na água bruta aduzida através de duas adutoras uma em PEAD e outra em Ferro Fundido com DN 700 e 400 mm respectivamente, ambas mananciais classes II, Rio Claro, no município de Caraguatatuba.

A água bruta é recebida na planta onde são aplicados os produtos químicos para fazer a pré-desinfecção (hipoclorito de sódio) e pré-alkalinização (hidróxido de cálcio), sendo o fluxo direcionado para medidor Calha Parshall em cuja saída é feita a aplicação do coagulante objeto deste estudo (policloreto de alumínio). O PAC possui acidez menor em relação ao sulfato de alumínio, eliminando a etapa de pré-alkalinização.

O volume coagulado é endereçado a três sistemas distintos e idênticos de floculação mecanizada. A floculação dos coágulos é promovida em três etapas com diferentes gradientes, introduzidos por floculadores mecânicos de fluxo axial, com tempo de detenção hidráulica de 9 min. A água floculada é endereçada aos flofíltros, onde ocorre a flotação e filtração. Estes módulos tem a vazão nominal de 700m<sup>3</sup>/h.

O volume filtrado recebe através de uma caixa de passagem, a aplicação do pós alkalinizante (hidróxido de cálcio) para correção de pH, do fluoreto (ácido fluossilícico) e do pós desinfectante (hipoclorito de sódio) e é encaminhado ao reservatório denominado tanque de contato, e posteriormente bombeado para o reservatório da estação para distribuição.



As dosagens foram feitas através de bomba dosadora 60 L/h marca EMEC no ponto de mistura rápida da Calha Parshall. Como foram realizados ensaios em Jar Test, os operadores da ETA ajustaram a dosagem visando pH ótimo de aplicação em 6,5 a 6,8.

O acompanhamento e ajustes de dosagens foram realizados no período de 30 dias, tempo suficiente para uma comparação inicial e estudo de viabilidade técnica e econômica em relação ao Sulfato de Alumínio.

Os dados do processo foram registrados em Boletim Operacional, conforme modelo ilustrado na Figura 1, a cada duas horas, pelos operadores da ETA Porto novo. Sendo eles: Vazão de Adução Água Bruta, pH água coagulada, dosagem de Hipoclorito de Sódio na etapa preliminar de aplicação produtos químicos, dosagem de alcalinizante Hidróxido de Cálcio, Dosagem de Coagulante, Turbidez água Bruta, Cor Água Bruta, Turbidez nas filtradas, Turbidez e Cor na água final.

sabesp		Título do Formulário												Data																					
		BOLETIM DIÁRIO OPERACIONAL - ETA PORTO NOVO												2																					
		Código/ Versão												***																					
		FO-AG0446 - v.4																																	
Turno	Horário	Nome Operador																																	
Ant.	00:00:00																																		
1*	06:00:14:00																																		
2*	14:00:22:00																																		
3*	22:00:00:00																																		
Horas	Vazão Bruta	Nível RPN2	PAC	Hidróxid Freqüên	pH u pH	Dosagem Hipo %	Cor (PtCo APHA) Filtro				Turbidez (NTU) Filtro			Cloro Floc			Reservatório RPN1			Ostacoz	Br. Floculac. Baixo	Br. Floculac. Válvula	Res. Benfica Bomba												
	m3/h	L/s	%	mL/min	mg/L	Pré Pós	Bruta	1	2	3	Fina	Bruta	1	2	3	Fina	Final	Final	%	pH	Co	Cloro	Floc	%	%	%	%	%	%	%	%				
0																																			
1																																			
2																																			
3																																			
4																																			
5																																			
6																																			
7																																			
8																																			
9																																			
10																																			
11																																			
12																																			
13																																			
14																																			
15																																			
16																																			
17																																			
18																																			
19																																			
20																																			
21																																			
22																																			
23																																			

Figura 1 – Figura Ilustrativa do Boletim Operacional da ETA Porto Novo FO-AG0446 v.4.

**RESULTADOS OBTIDOS**

Após 30 dias de teste do coagulante Policloreto de Alumínio em planta, observou-se a evolução do tratamento de água por flotação, através dos resultados de turbidez obtidos após filtração rápida. Com o uso do coagulante Sulfato de Alumínio a Estação apresentava dificuldade em atender a Portaria GM/MS 888/2021.

Para comparar os dados obtidos das correntes de processo, tanto utilizando o coagulante PAC quanto o Sulfato de Alumínio, foram considerados média mensal dos valores de turbidez de água bruta com máxima, mínima e média semelhante ao período com dosagem de PAC, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

MELHORIA NA QUALIDADE ÁGUA FINAL													
	Bruta						Final						
	Turbidez			Cor			Turbidez			Cor			
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	
Jan	84	2	10	201	6	30	3,00	0,10	0,50	9,00	1,00	3,42	
Abr	122	2	12	241	13	41	5,00	0,28	1,30	15,40	1,00	4,98	
Ago	100	2	10	182	10	32	0,70	0,10	0,34	9,00	0,60	2,67	
Sulfato	Melhoria da água final do período com aplicação de PAC						Ago/Jan	-76,7%	0,0%	-31,6%	0,0%	-40,0%	-21,8%
PAC	(Ago) em relação ao período com sulfato, Jan e Abr.						Ago/Abr	-86,0%	-64,3%	-73,8%	-41,6%	-40,0%	-46,3%

Figura 2 – avaliação de resultados obtidos com a substituição do coagulante – melhoria de qualidade da água final.



REDUÇÃO CONSUMO DE TODOS PRODUTOS QUÍMICOS APLICADOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO									
	V. Captado	Acumulado Kg				Consumo m3 produzido			
	m3/mês	Coagulante	Fluor	Hipo	Hidróxido Calcio	Coagulante (Kg/m3)	Fluor (Kg/m3)	Hipo (Kg/m3)	Cal (Kg/m3)
Jan	1688848	33957	6169	36608	23405	0,020	0,004	0,022	0,014
Abr	1565648	29349	5612	30788	18847	0,019	0,004	0,020	0,012
Ago	1500152	22236	4877	23558	10215	0,015	0,003	0,016	0,007
<b>Sulfato</b>	Melhoria da água final do período com aplicação de PAC				Ago/Jan	-26%	-11%	-28%	-51%
<b>PAC</b>	(Ago) em relação ao período com sulfato, Jan e Abr				Ago/Abr	-21%	-9%	-20%	-43%

Figura 3 – avaliação de resultados obtidos com a substituição do coagulante – redução de produtos químicos aplicados.

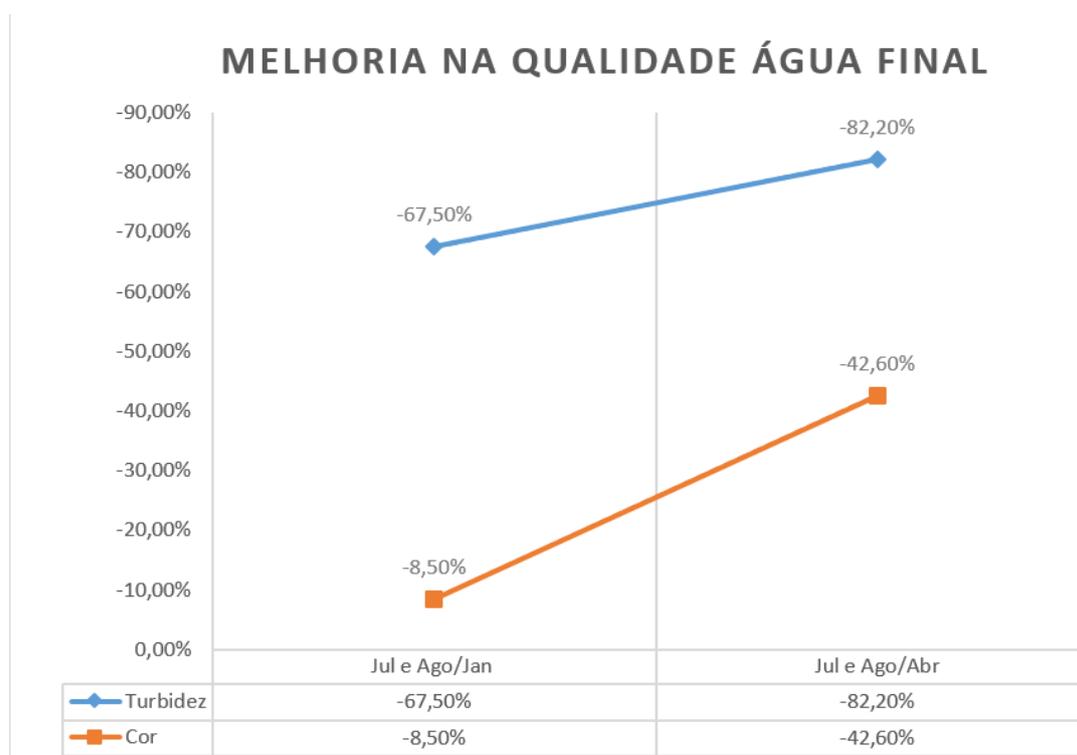


Figura 4 – Melhoria na qualidade água final.



## REDUÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS KG/M3

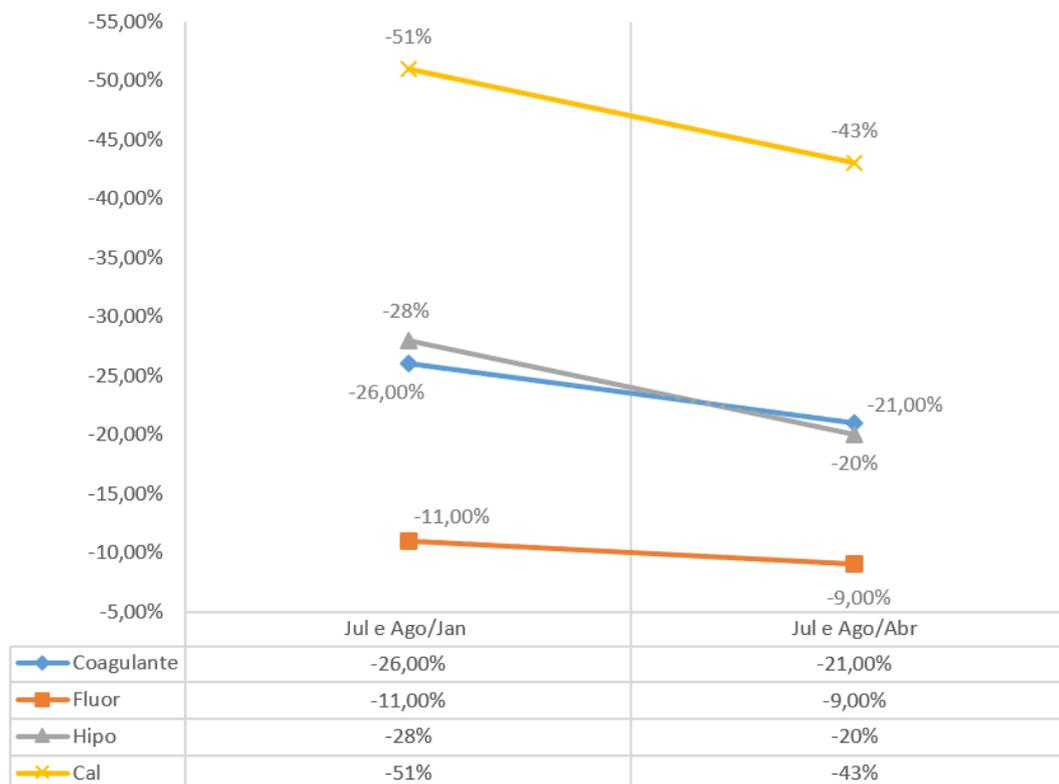


Figura 5 – Redução de produtos químicos kg/m<sup>3</sup>

Os resultados validam a aplicação do PAC na ETA Porto Novo. De fato, o novo coagulante apresentou melhoria na qualidade da água distribuída, e não só isso, acarretou em redução no consumo de todos os produtos químicos aplicados no processo. As reduções ocorrem pelo fato de a água final demandar menos quantidade de Hipoclorito de Sódio, por apresentar turbidez e cor menores. No caso do Ácido Fluossilícico, a redução na aplicação de fluoreto evidencia que água produzida está saindo com menos residual de alumínio. Cátions trivalentes, como é o caso do  $Al^{3+}$  são interferentes na detecção de íons fluoreto, uma vez que formam íons complexos com o mesmo.

Como o PAC é menos ácido que o Sulfato de Alumínio, ou seja, retira menos alcalinidade da água bruta, torna-se possível prosseguir com a floculação sem adição do agente coagulante Hidróxido de Cálcio.

Vale destacar que, a melhoria da qualidade da água final promove redução de Ordens de Serviço (OS) de qualidade na rede de distribuição, redução do número de descargas de rede, impactando diretamente no Índice de Perdas do município, melhora o aspecto da água que chega ao consumidor, dando mais credibilidade para a Sabesp e gera menos lodo de fundo nos reservatórios, otimizando os processos de limpeza de reservatórios.

Hoje a ETA Porto Novo está atendendo com folga a Portaria GM/MS 888/2021, fato que há tempo não acontecia. Recentemente recebemos um relatório dos resultados da água filtrada nas ETEs da RN e a ETA Porto Novo apresentou melhoria expressiva, conforme ilustrado na figura 6.

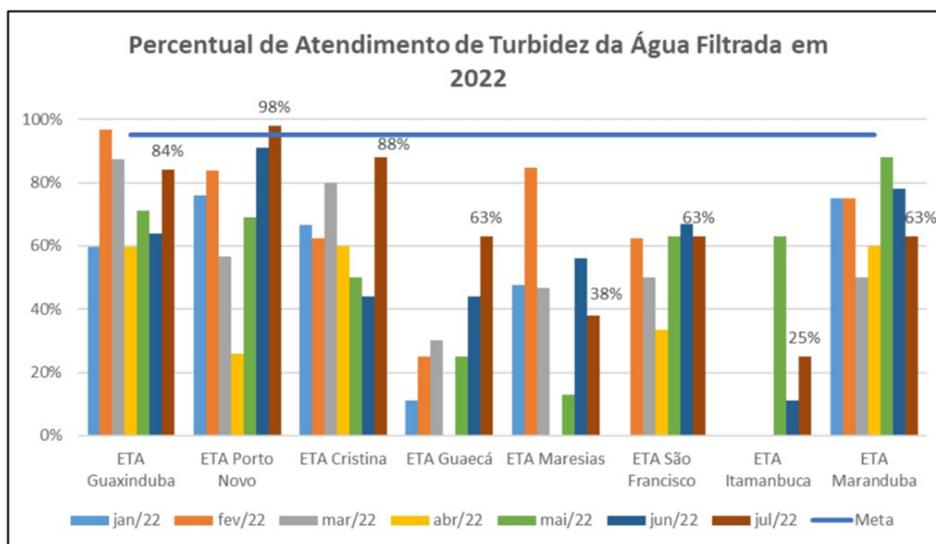


Figura 6 – Percentual de atendimento de turbidez da água filtrada em 2022.

Após 30 dias testando o PAC, a equipe operacional da ETA Porto Novo, pode concluir com tranquilidade e plena confiança que o PAC se mostrou muito mais eficiente que o sulfato de alumínio e esperamos continuar com sua aplicação na produção da ETA Porto Novo.

Além dos resultados operacionais verificamos uma redução média na ordem de 14% no custo total gasto com produtos químicos, pois mesmo tendo o Policloreto de Alumínio um custo maior que o Sulfato de Alumínio a redução na quantidade de produtos aplicados no tratamento levou a diminuição de gasto financeiro, conforme demonstrado na figura 7. A figura 8 mostra os preços unitários dos produtos químicos adotados para comparação.

REDUÇÃO CUSTO TOTAL DE PRODUTOS QUÍMICOS									
	Consumo m3 produzido				Gasto financeiro m3 produzido				
	Coagulante (Kg/m3)	Fluor (Kg/m3)	Hipo (Kg/m3)	Cal (Kg/m3)	Coagulante (R\$/m3)	Fluor (Kg/m3)	Hipo (Kg/m3)	Cal (Kg/m3)	Total
Jan	0,020	0,004	0,022	0,014	0,039	0,006	0,036	0,007	0,088
Abr	0,019	0,004	0,020	0,012	0,037	0,006	0,032	0,007	0,081
Ago	0,015	0,003	0,016	0,007	0,038	0,005	0,026	0,004	0,073
Sulfato	Redução de custo dos produtos do período com aplicação de				Ago/Jan	-11%	-28%	-51%	-18%
PAC	PAC (Ago) em relação ao período com sulfato, Jan e Abr.				Ago/Abr	-9%	-20%	-43%	-10%

Figura 7 – Avaliação da redução de custo total com produtos químicos com a aplicação do PAC

CUSTO UNITÁRIO ADOTADO		
Produto	R\$/kg	Ref.
Sulfato alumínio	1,96	jul/22
PAC	2,57	
Fluor	1,6	
Hipo	1,64	
Cal	0,54	

Figura 8 – Custos unitários de produtos químicos adotados

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados acima apresentados, a utilização de PAC na Estação de Tratamento de Água ETA Porto Novo que anteriormente utilizava Sulfato de Alumínio, trouxe vantagens operacionais excepcionais. Apesar do custo unitário do novo coagulante ser maior, os resultados em relação à qualidade da água tiveram uma melhora



expressiva, além disso, foi possível reduzir a dosagem de coagulante utilizada, aumentando a autonomia dos reservatórios, reduzir o consumo de Hidróxido de Cálcio, Hipoclorito de Sódio e Ácido Fluossilícico, minimizando custo operacional. Destaca-se também que a utilização do PAC tornou possível o atendimento da Portaria GM/MS 888/2021 do Ministério da Saúde. Outro fator de destaque foi a redução no número de reclamações de qualidade de água e melhoria do indicador I-CAD do município de Caraguatatuba.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, concluímos que a utilização do PAC trouxe uma melhora substancial na qualidade de água distribuída, com redução da quantidade de todos os produtos químicos aplicados no tratamento e consequente redução de gasto com produtos químicos utilizados para o tratamento da água, barateando o processo.

É importante destacar que além dos resultados acima descritos a alteração do coagulante foi fundamental para adequar a ETA, concebida em 1998, a atualização da portaria do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (GM/MS 888/2021), a qual, dentre outras determinações, limita que o nível aceitável de turbidez da água na saída do filtro para filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) é de 0,5 NTU em 95% das amostras e 1,0 NTU no restante das amostras mensais coletadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UNICAMP. Módulo de Saneamento Ambiental. 2001. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~bdta/coagulacao.htm>. Acesso em 16 de dezembro 2022.
2. BRATBY, J. *Coagulation and Flocculation*. England: Uplands Press LTDA, 1980.
3. CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2. 2009, Maringá. Anais Eletrônicos [...] Maringá: 2009. Disponível em: [http://www.dec.uem.br/eventos/ii\\_simpgeu/arquivos/Trabalhos/146.pdf](http://www.dec.uem.br/eventos/ii_simpgeu/arquivos/Trabalhos/146.pdf). Acesso em 15 de junho de 2020.
4. MEMPHIS. Coagulantes Aluclor. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/produto/coagulantes-aluclor/>. Acesso em: 23 de agosto de 2020.
5. Portaria GM/MS 888, de 4 de maio de 2021 - Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade