35ETC-06543 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO POLÍMERO CATIÔNICO EM UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA MISTO

Cintia Tiemi Shibata[(1)]
Tecnóloga Ambiental pela Faculdade Senai de Tecnologia Ambiental. Mestre em Ciências Farmacêuticas pela Universidade de São Paulo (USP). Técnica em sistemas de saneamento na Sabesp.

Endereço[(1)]**:** Av. Dom Jaime de Barros Câmara, 715 – São Bernardo do Campo - SP - CEP: 09895-740 - Brasil - Tel: (11) 4128-4701 - e-mail: cshibata@sabesp.com.br

RESUMO

O tratamento da ETA Rio Grande é composto por decantação e flotação. Portanto os parâmetros utilizados devem atender os dois processos simultaneamente. A ETA utiliza Policloreto de Alumínio como coagulante e polímero catiônico como auxiliar de floculação. Este trabalho avaliou a influência do polímero catiônico tanto na decantação como na flotação. Primeiramente os parâmetros da decantação foram simulados em *Jar Test*, e posteriormente foram aplicados no processo. O *Jar test* demonstrou que com o aumento de 0,03ppm de polímero era possível a redução de 2ppm de coagulante. Foram realizados testes no processo para validar o resultado do *Jar Test*. Após a validação, iniciou-se a aplicação no processo. Avaliou-se a eficiência de remoção da turbidez da água clarificada antes e após o aumento da dosagem do polímero. Foram avaliados os dados do ano de 2022 e 2023.Com o aumento da dosagem de Polímero foi comprovada o aumento da eficiência de remoção nos dois processos. A possibilidade da redução da dosagem do coagulante aplicado também foi comprovada. Verificou-se aumento na eficiência média de remoção dos dois processos com o aumento da dosagem do polímero, passando de 44% em 2022 para 50% em 2023.

PALAVRAS-CHAVE: Polímero catiônico, Decantação, Flotação

INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Rio Grande, localizada no município de São Bernardo do Campo, na Grande São Paulo, trata atualmente 5100 L/s. Este sistema abastece cerca de 1,5 milhão de pessoas dos municípios de São Bernardo do Campo, Diadema, parte do município de Santo André e parte da cidade de São Paulo.

A ETA foi inaugurada em 1958 com processo de decantação como tratamento, devido as características físico-químicas do manancial, iniciou-se em 2010, a substituição de alguns dos decantadores por flotadores. A mesma água coagulada alimenta os decantadores e flotadores.

O processo de tratamento de água mais utilizado no Brasil é composto das etapas: coagulação, decantação, filtração e desinfecção. Campos, Di Bernardo e Vieira (2005), consideram as duas primeiras etapas como as responsáveis pela eficiência de remoção de partículas da água bruta.

A decantação pode ser definida como processo de separação dos flocos do líquido pela ação da gravidade.

A flotação é definida como um processo de remoção de partículas por meio da introdução de microbolhas de ar, que em contato com as partículas, tendem a flutuar até a superfície do tanque de flotação, onde são removidas.

Para simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação, Abramovich et al. (2004), considera o *Jar Test* como método que determinará a dosagem ideal de coagulante.

Os polímeros são utilizados com auxiliares de floculação, pois aumentam o tamanho e a resistência das partículas suspensas, melhorando a qualidade da água decantada. (Delmonico et al., 2020)

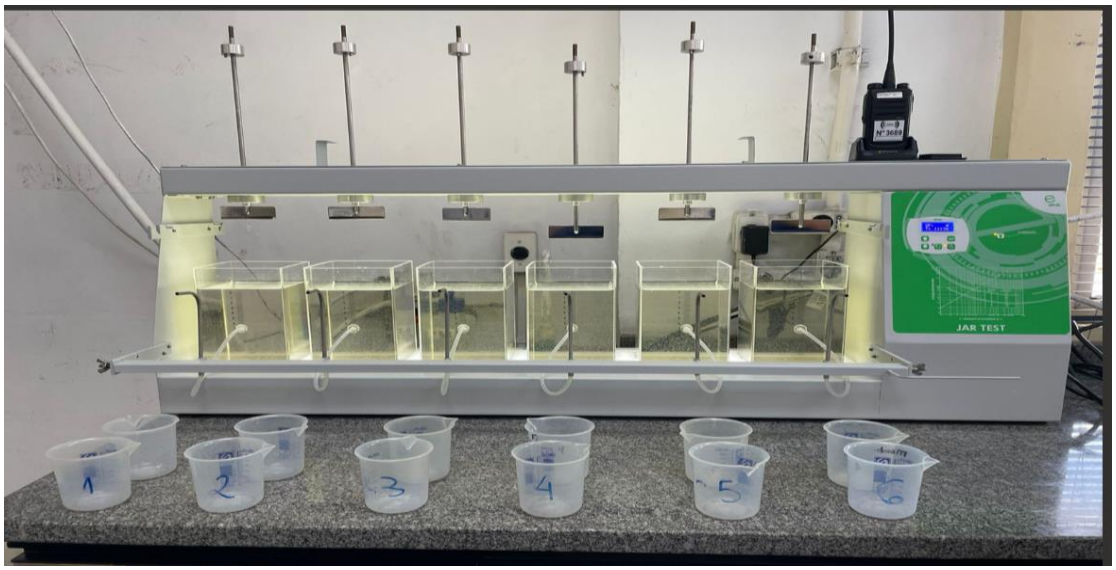
OBJETIVOS

Este trabalho avaliou a influência do polímero catiônico no processo de tratamento de água tanto na decantação como na flotação. Foram realizados ensaios alterando as dosagens de coagulante (Policloreto de Alumínio) e Polímero Catiônico em *Jar Test* e avaliando o seu desempenho. Posteriormente, as melhores dosagens foram aplicadas no processo. Como parâmetro para medição da eficiência de remoção das dosagens aplicadas foi utilizada a turbidez da água clarificada obtida. Atualmente estão sendo aplicados Policloreto de Alumínio (PAC), como coagulante, e Polímero Catiônico.

METODOLOGIA UTILIZADA

Primeiramente foram realizados ensaios no *Jar Test* com diferentes dosagens de coagulante e polímero para avaliar a influência na eficiência de remoção da turbidez. O equipamento utilizado foi o *Jar Test* da marca Ethik. Os ensaios foram realizados com o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e Polímero Catiônico.

Figura 1 –Equipamento de Jar Test



Os ensaios foram realizados com os gradientes e ordem de adição de produtos que simulam o tratamento de decantação da ETA, conforme a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Gradientes de velocidade e ordem de adição dos produtos do *Jar Test*

Velocidade (rpm)	Tempo (min)	Produto adicionado
0	0	Água clorada
150	0	Coagulante
50	1	Polímero
150	0,67	
50	6	
35	3	
0	2	

Após determinação da faixa de dosagem de polímero, foram realizados ensaios em *Jar Test* oscilando a dosagem de coagulante. Para a dosagem de 0,09ppm de polímero, a dosagem de coagulante oscilou de 12 a 16ppm. Para 0,12ppm de polímero, de 10 a 14 ppm e para 0,15ppm de polímero, de 8 a 12ppm.

Após avaliação dos resultados obtidos em *Jar Test* iniciou-se aplicação das dosagens no processo de tratamento da ETA. O teste foi direcionado para a parte de decantação do processo, porém o desempenho dos flotadores também foi avaliado. Caso os parâmetros extrapolassem os limites de controle de processo, o teste seria cancelado.

Para avaliação do desempenho das dosagens aplicadas na ETA, foi realizado levantamento das dosagens de PAC e Polímero aplicados e correlacionados com eficiência de remoção de turbidez da água clarificada dos decantadores e flotadores. Foi realizado o levantamento dos dados dos anos de 2022 e 2023.

RESULTADOS OBTIDOS

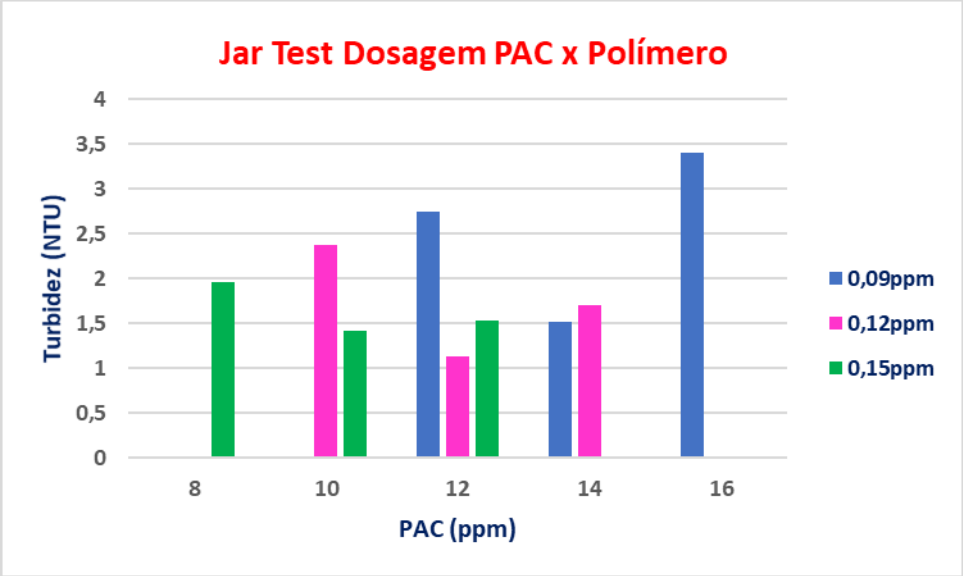
Os ensaios de *Jar Test* apresentaram boa eficiência de remoção de turbidez em relação a bruta. Foram analisadas as dosagens de 0,09, 0,12 e 0,15ppm de polímero catiônico. Para 0,09ppm a maior eficiência encontrada foi para 14ppm de coagulante. Enquanto que para 0,12ppm, a maior eficiência foi para 12ppm de coagulante. Para 0,15ppm, a maior eficiência encontrada foi para 10ppm de coagulante.

Abaixo a Tabela 2 e o Figura 2 do ensaio de Jar Test:

Tabela 2 – Resultados *Jar Test*: Dosagem de PAC x Polímero

	Polímero (ppm)		
PAC (ppm)	**0,09**	**0,12**	**0,15**
8			1,96
10		2,37	**1,42**
12	2,75	**1,13**	1,53
14	**1,52**	1,7	
16	3,41		

Figura 2 – Resultados *Jar Test*: Dosagem de PAC x Polímero



No teste realizado no processo, verificou-se que as maiores eficiências são encontradas com 14 e 15ppm de coagulante combinadas com 0,12ppm de polímero para decantação. Para flotação, as melhores eficiências encontradas foram com a dosagem de 13ppm de PAC, com as dosagens de polímero de 0,08 e 0,12ppm.

A menor eficiência de remoção foi encontrada com a dosagem de 10ppm de coagulante, tanto para decantação como para flotação. Mesmo com o a dosagem de polímero de 0,15ppm a eficiência de remoção manteve-se baixa. Visualmente esta dosagem de polímero apresentou-se excessiva para a dosagem de coagulante aplicada.

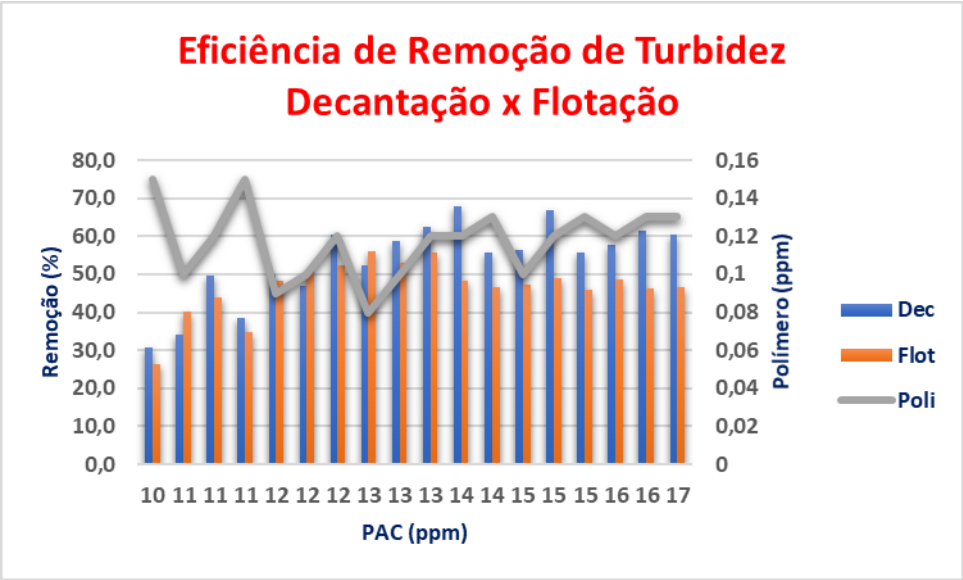
Considerando-se aceitável a faixa de remoção por volta de 50% verifica-se que as dosagens de 11ppm de PAC com 0,12ppm de polímero, 12ppm com 0,09ppm e 13ppm com 0,08ppm apresentaram desempenho similar para decantação. Demonstrando ser possível a redução do coagulante com o aumento da dosagem de polímero para decantação. Para a flotação, as dosagens de 12ppm de PAC com 0,10ppm, 12ppm com 0,12ppm e 13ppm com 0,10ppm apresentaram desempenho similar.

Abaixo a Tabela 3 e a Figura 3 do teste no processo:

Tabela 3 – Teste no processo: Eficiência de remoção em relação a dosagem de PAC e Polímero na Decantação e Flotação

PAC	POLÍMERO	REMOÇÃO (%)	
(PPM)	(ppm)	Decantação	Flotação
10	**0,15**	30,7	26,2
11	**0,1**	34,1	40,1
11	**0,12**	49,6	44,0
11	**0,15**	38,6	34,6
12	**0,09**	49,9	48,3
12	**0,1**	47,0	50,8
12	**0,12**	60,6	52,4
13	**0,08**	52,3	56,2
13	**0,1**	58,9	52,9
13	**0,12**	62,6	55,6
14	**0,12**	67,7	48,2
14	**0,13**	55,7	46,5
15	**0,1**	56,5	47,3
15	**0,12**	66,7	49
15	**0,13**	55,8	46
16	**0,12**	57,9	48,7
16	**0,13**	61,3	46,3
17	**0,13**	60,5	46,7

Figura 3 –Eficiência de remoção em relação a dosagem de PAC e Polímero na Decantação e Flotação



Avaliando-se o desempenho da ETA durante o ano de 2022, verifica-se que a média anual da remoção de turbidez para decantação foi de 43% de 46% para flotação. A dosagem média de PAC utilizada foi de 11ppm e de Polímero de 0,10ppm. Durante do ano de 2023, a média da remoção para decantação foi de 50% e de 49% para flotação. A dosagem média de PAC foi de 13ppm e 0,13ppm de Polímero. Os dados de 2022 foram levantados para acompanhamento de processo. Durante o ano de 2023 a dosagem de Polímero foi mantida acima de 0,10ppm visto a melhora obtida nos testes em bancada e no processo.

A Tabela 4 e as Figuras 4, 5 e 6 referem-se ao ano de 2022 sobre eficiência de remoção de turbidez em relação as dosagens de PAC e Polímero:

Tabela 4 – Desempenho ETA 2022: Eficiência de remoção de turbidez na Decantação e Flotação

Mês	PAC (ppm)	Poli (ppm)	Bruta (NTU)	Decantação (%)	Flotação (%)	Média (%)
jan	13	0,07	3,77	48	53,1	50,5
fev	14	0,11	4,19	51,8	57,3	54,5
mar	13	0,07	4,25	55,5	55,8	55,6
abr	15	0,16	4,54	57,3	53,5	55,4
mai	12	0,10	3,07	44,3	48,9	46,6
jun	8	0,16	2,47	23,5	33,6	28,6
jul	8	0,05	2,06	-7,3	12,1	2,4
ago	9	0,10	2,9	43,8	45,2	44,5
set	12	0,11	3,4	45,3	43,8	44,6
out	11	0,10	2,07	33,3	31,4	32,4
nov	11	0,08	3,59	56,5	57,9	57,2
dez	12	0,10	3,81	60,9	57,0	58,9

Figura 4 – Desempenho ETA 2022: Remoção x Dosagem de PAC na Decantação e Flotação

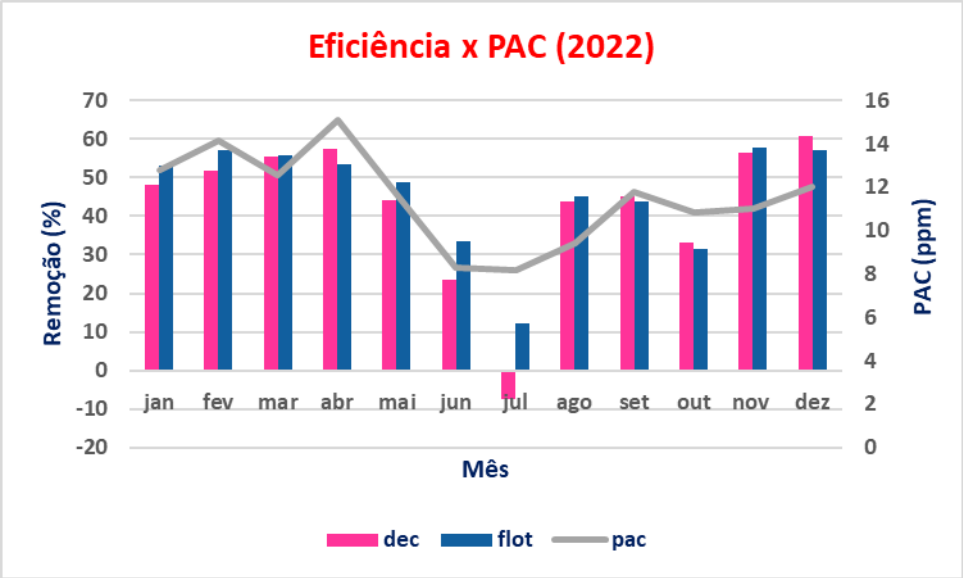


Figura 5 – Desempenho ETA 2022: Remoção x Dosagem de Polímero na Decantação e Flotação

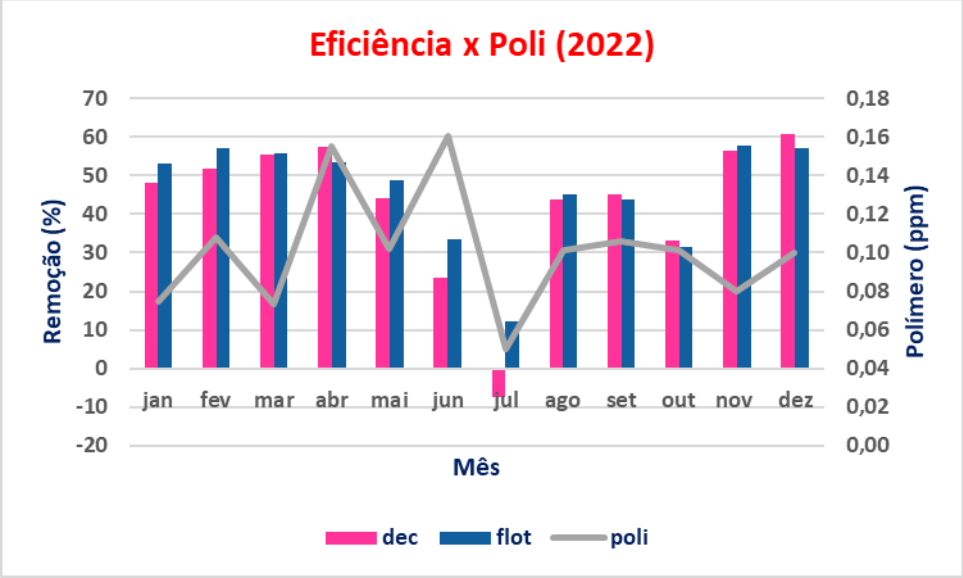
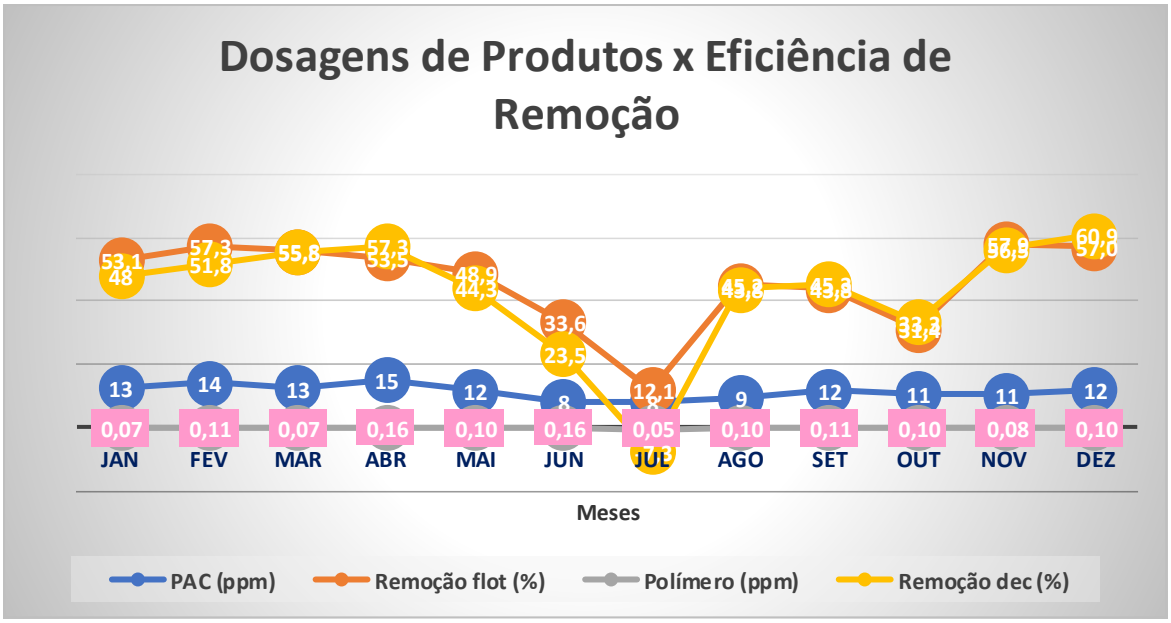


Figura 6 – Desempenho ETA 2022: Remoção x Dosagens de PAC e Polímero na Decantação e Flotação



Para melhorar a análise dos dados, os valores de turbidez da água bruta do nosso manancial foram classificados em baixa, média e alta conforme a tabela abaixo:

Tabela 5 – Classificação dos valores de turbidez da água bruta

Turbidez (NTU)	Classificação
Menor que 2,5	Baixa
Entre 2,5 e 3,5	Média
Entre 3,5 e 4,5	Alta

Tabela 6 – Desempenho ETA 2022: Eficiência de remoção de turbidez na Decantação e Flotação por turbidez da água bruta

Mês	PAC (ppm)	Poli (ppm)	Bruta (NTU)	Decantação (%)	Flotação (%)	Média (%)
jul	8	0,05	2,06	-7	12	2
out	11	0,10	2,07	33	31	32
jun	8	0,16	2,47	24	34	29
média	9	0,10	2,20	17	26	21
ago	9	0,10	2,9	44	45	44
mai	12	0,10	3,07	44	49	47
set	12	0,11	3,4	45	44	45

média	11	0,10	3,12	44	46	45
nov	11	0,08	3,59	57	58	57
jan	13	0,07	3,77	48	53	51
dez	12	0,10	3,81	61	57	59
fev	14	0,11	4,19	52	57	55
mar	13	0,07	4,25	56	56	56
abr	15	0,16	4,54	57	54	55
média	13	0,10	4,03	55	56	55

Através da Tabela 6 verifica-se que uma turbidez baixa da água bruta apresenta eficiência de remoção menor. Considerando a eficiência média de remoção, a dosagem de 8ppm de PAC com 0,16ppm de Polímero seria economicamente viável. A dosagem de 11ppm de PAC com 0,10ppm de Polímero apresenta uma eficiência mais equilibrada dos dois sistemas. A dosagem de 0,05ppm de Polímero não atende as necessidades do tratamento.

Analisando-se os resultados de água bruta com uma turbidez média, verifica-se que as três dosagens utilizadas apresentam uma eficiência de remoção similar, verificando-se que a menor dosagem de 9ppm de PAC com 0,10ppm de Polímero atenderia o processo.

Verifica-se que quando a água bruta apresenta uma turbidez maior, a eficiência de remoção do processo aumenta. Baseando-se nos dados da Tabela 6, a menor dosagem aplicada de 11ppm de PAC associada a 0,08ppm de Polímero atenderia o processo nessa faixa de turbidez.

A Tabela 7 e as Figuras 7, 8 e 9 representam o ano de 2023 e a eficiência de remoção de turbidez na decantação e flotação em relação as dosagens de PAC e Polímero:

Tabela 7 – Desempenho ETA 2023: Eficiência de remoção de turbidez na Decantação e Flotação

Mês	PAC (ppm)	Poli (ppm)	Bruta (NTU)	Decantação (%)	Flotação (%)	Média (%)
jan	15	0,10	3,12	57,4	53,5	53,5
fev	15	0,11	3,32	59,3	50,9	50,9
mar	17	0,12	2,99	60,5	48,8	48,8
abr	24	0,15	3,44	59,0	45,9	45,9
mai	17	0,10	3,25	52,6	43,7	43,7
jun	13	0,15	3,06	47,7	46,1	46,1
jul	12	0,10	2,71	49,8	48,0	48,0
ago	8	0,15	2,39	49,8	53,6	53,6
set	8	0,13	1,91	42,9	47,1	47,1
out	9	0,15	2,92	51,4	52,1	52,1
nov	8	0,12	2,4	27,5	40,0	40,0
dez	12	0,15	2,9	45,9	55,9	55,9

Figura 7 – Desempenho ETA 2023: Remoção x Dosagem de PAC na Decantação e Flotação

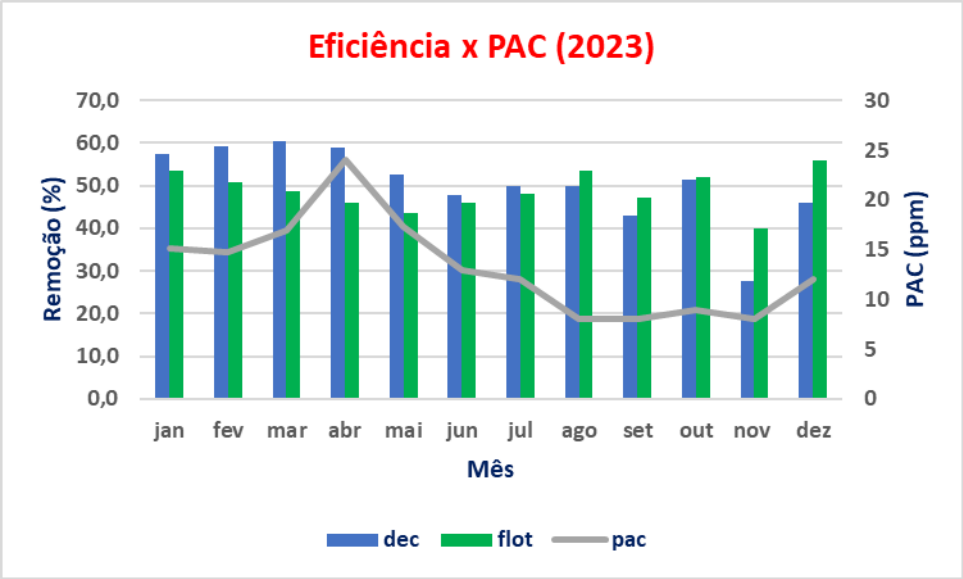


Figura 8 – Desempenho ETA 2023: Remoção x Dosagem de Polímero na Decantação e Flotação

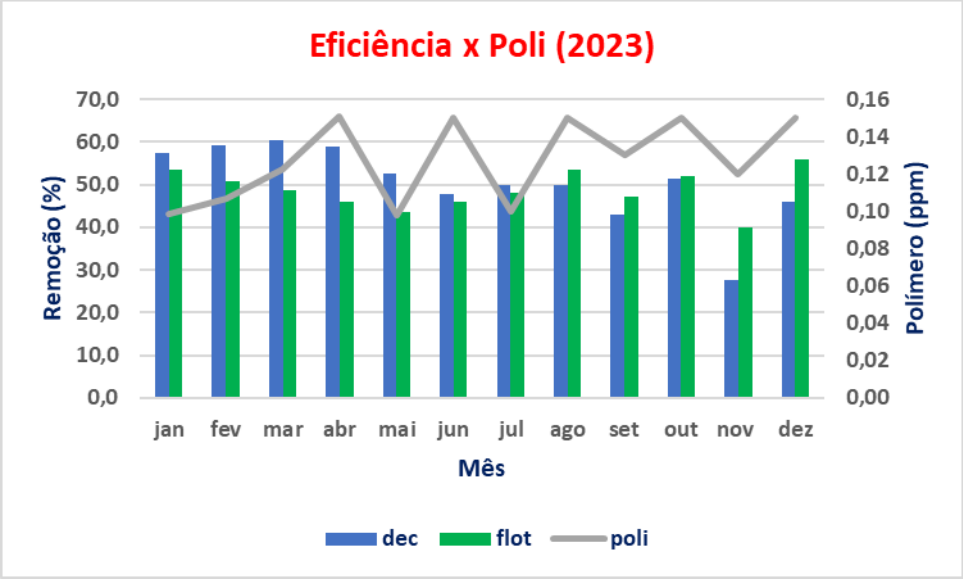


Figura 9 – Desempenho ETA 2023: Remoção x Dosagens de PAC e Polímero na Decantação e Flotação

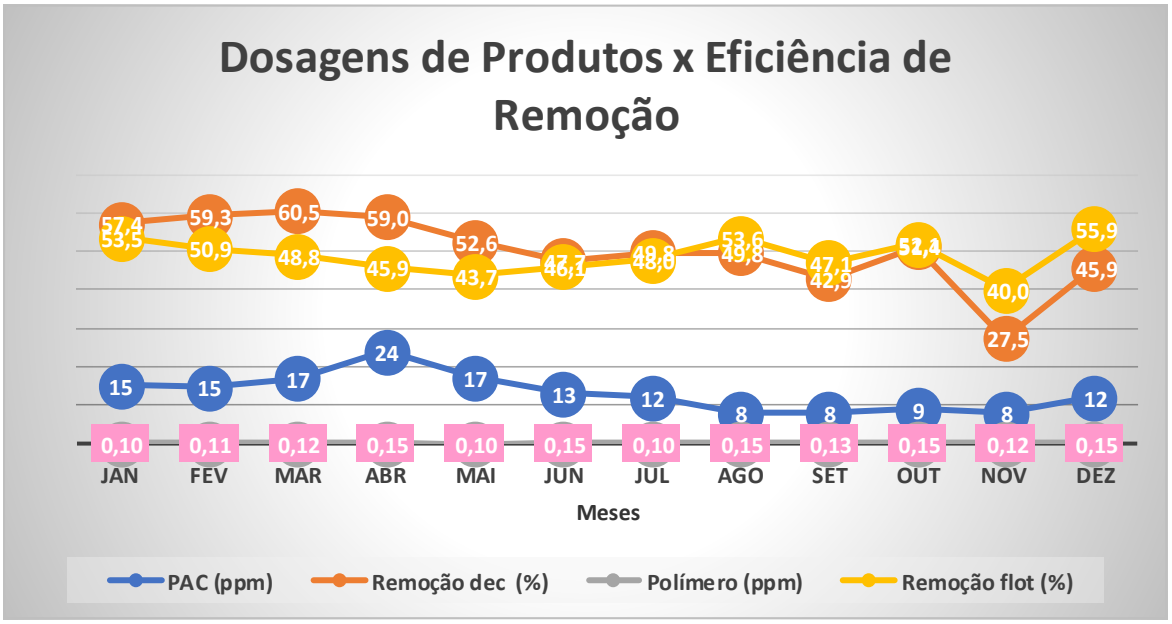


Tabela 8 – Desempenho ETA 2023: Eficiência de remoção de turbidez na Decantação e Flotação por turbidez da água bruta

Mês	PAC (ppm)	Poli (ppm)	Bruta (NTU)	Decantação (%)	Flotação (%)	Média (%)
set	8	0,13	1,91	42,9	47	45
ago	8	0,15	2,39	49,8	54	52
nov	8	0,12	2,4	27,5	40	34
média	8	0,13	2,23	40,1	47	43
jul	12	0,10	2,71	49,8	48	49
dez	12	0,15	2,9	45,9	56	51
out	9	0,15	2,92	51,4	52	52
mar	17	0,12	2,99	60,5	49	55
jun	13	0,15	3,06	47,7	46	47
jan	15	0,10	3,12	57,4	54	55
mai	17	0,10	3,25	52,6	44	48
fev	15	0,11	3,32	59,3	51	55
abr	24	0,15	3,44	59,0	46	52
média	15	0,13	3,08	53,7	49	52

Analisando-se os dados da Tabela 8 verifica-se que houve aumento na eficiência de remoção de turbidez em relação ao ano de 2022 para valores baixos de turbidez da água bruta. Observa-se que com o aumento da dosagem média de Polímero, de 0,10ppm em 2022 para 0,13ppm em 2023, houve aumento significativo na média de remoção nos dois processos, de 21 para 43%. Além do aumento da eficiência, foi verificada a redução da dosagem média de PAC de 9 para 8ppm. Como verificado no ano anterior, a eficiência de remoção é menor para valores baixos de turbidez quando comparados com a eficiência de valores de turbidez médios e altos.

Em relação à turbidez média da água bruta, durante o ano de 2023 especificamente, houveram meses em que a dosagem de coagulante foi maior que a normalmente utilizada em virtude da alteração de outros parâmetros de qualidade da água do manancial que dificultaram o tratamento. Essa alteração contribuiu para o aumento da média da dosagem para essa faixa de turbidez. Contudo, verifica-se que com o aumento médio da dosagem de PAC de 11ppm em 2022 para 15ppm em 2023 e 0,10ppm de Polímero em 2022 para 0,13ppm em 2023 acarretaram em um incremento na eficiência de remoção média da decantação de 44% em 2022 para 54% em 2023 e para flotação de 46% em 2022 para 49% em 2023.

Para os valores de turbidez alta, a comparação não foi possível pois durante o ano de 2023 o manancial não atingiu essa faixa de turbidez.

Estimou-se os custos das dosagens de Polímero Catiônico e PAC conforme a Tabela 8 abaixo:

Tabela 9 – Custo PAC e Polímero Catiônico

ppm	Produto	Custo R$/1000m^3	ETA R$/h	ETA R$/dia	ETA R$/mês
1	PAC	3,69	66,42	1594,08	47822,40
0,01	Polímero Catiônico	0,33	5,94	142,56	4276,80

O custo do PAC é menor quando comparado ao Polímero Catiônico, porém sua dosagem é muito maior do que a do Polímero, tornando a redução do coagulante com o aumento da dosagem de Polímero economicamente viável.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através dos ensaios de *Jar test* verificou-se que no processo de decantação com o aumento da dosagem de polímero há redução da dosagem de coagulante. Para um incremento de 0,03ppm de polímero há redução de 2ppm de coagulante.

No teste realizado no processo, na parte de decantação, pode ser observada a possibilidade de redução da dosagem de coagulante a partir do aumento da dosagem de polímero. As dosagens de 11ppm de PAC com 0,12ppm de polímero, 12ppm com 0,09ppm e 13ppm com 0,08ppm apresentaram eficiência de remoção de aproximadamente 50%. Para flotação, considerando-se uma remoção média de 50%, dosagens de 12ppm de coagulante com 0,10 e 0,12ppm de polímero e dosagens de 13ppm de coagulante com 0,10ppm de polímero apresentaram a mesma eficiência. Para a decantação verifica-se que o aumento da dosagem de coagulante associada ao aumento da dosagem de polímero, promove uma eficiência de remoção maior. Por outro lado, uma dosagem mais alta de coagulante reduz a eficiência de remoção da flotação.

Na avaliação de desempenho da ETA durante o ano de 2022, foi observado que dosagens muito baixas de coagulante e de polímero reduzem a eficiência tanto da decantação como da flotação. Durante o ano de 2023, com o aumento da dosagem de polímero aplicado durante o ano, a eficiência de remoção mínima foi superior a encontrada no ano anterior, tanto para a flotação como para a decantação. Com o aumento das dosagens de coagulante e polímero houve um incremento na eficiência de remoção média dos dois processos de 44% em 2022 para 50% em 2023.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os ensaios realizados em *Jar Test* demostraram a possibilidade de redução da dosagem de coagulante a partir do aumento da dosagem de polímero para a decantação.

Os testes realizados no processo confirmaram os ensaios realizados no *Jar Test*, a única ressalva, é que como existem muitas variáveis no processo que não são captadas no ensaio em bancada, a redução da dosagem de

coagulante observada não foi na mesma grandeza encontrada no teste de jarros. Essa diferença pode ocorrer devido a diversos fatores, como: redução/aumento de vazão da ETA, água da lavagem de filtros que retorna ao processo, sistemas que são isolados para manutenção/limpeza, qualidade da água bruta que altera durante o dia, entre outros. O aumento da dosagem de Polímero Catiônico aumenta a eficiência de remoção nos dois processos. A redução de coagulante com o aumento do polímero pode ser observada nos dois processos. A continuidade da coleta dos dados do processo possibilitará uma quantificação mais exata da redução da dosagem do coagulante em função do aumento da dosagem de Polímero. A otimização das dosagens dos dois produtos possibilitará em redução no Custo de Material de Tratamento (CMT) mantendo a qualidade do processo de tratamento.

O aumento da dosagem média do polímero catiônico, de 0,10ppm em 2022 para 0,13ppm em 2023, associado ao aumento do da dosagem do coagulante proporcionou aumento na eficiência média de remoção da turbidez tanto na decantação como na flotação.

Observou-se que uma dosagem baixa de coagulante associada a uma dosagem muito baixa de polímero proporciona uma menor eficiência de remoção de turbidez nos dois processos.

Para maior eficiência de remoção de turbidez da ETA, deve ser levada em consideração a média dos dois tratamentos. Pois como a mesma água coagulada alimenta os dois sistemas, com o aumento da eficiência da decantação pode haver a piora da flotação. Uma dosagem intermediária que atenda os dois sistemas simultaneamente acarretará numa eficiência maior e uma água clarificada de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMOVICH, B.; LURA, M. C.; CARRERA, E.; GILLI, M. I.; HAYE, M. A.; VAIRA, S. Acción de distintos coagulantes para la eliminación de Cryptosporidium spp, em el processo de potabilización del água. Revista Argentina de Microbiologia, v. 36, 2004, p. 92-96.

2. CAMPOS, S. X.; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E. M. Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, 2005, p. 194-199.

3. DELMONICO, E. L.; CONSTANTINO A. F.; CARNEIRO C. Uso de polímero catiônicos e aniônicos como produtos auxiliares no tratamento de água. Revista Mosaicos: Estudos em Governança, Sustentabilidade e Inovação, 2020.

4. DI BERNARDO, L. DANTAS D. B. A. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: LDiBe, 2017.

5. LACERDA, M. R. S. et al. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 1997 pp. 1566-1575.

6. LOPES, F. M. F. Comparação da flotação por ar dissolvido e sedimentação no tratamento de águas – Estudo em escala de bancada utilizando policloreto de alumínio. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

7. METACALF & EDDY. Waster Engineering: Treatment, Reuse and Disposal. McGraw-Hill Book Co, Singapura, 2003. 1819p.