

## **AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS AGENTES COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE POLIALUMÍNIO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PIRAÍ - JOINVILLE SANTA CATARINA**

### **Ricardo Kempner**

Graduando em Saneamento Ambiental (UNIASSELVI). Técnico em Química (SOCIESC). Operador de estação na Companhia Águas de Joinville.

**Endereço:** R. XV de Novembro, 3950 - Glória, Joinville - SC, 89216-202 - Brasil – Tel: (47) 996919521 – E-mail: ricardo.kempner@aguasdejoinville.com.br

### **RESUMO**

O presente trabalho comparou através de experimentos em bancada, a utilização do sulfato de alumínio 50% que já é empregado na ETA Piraí, com o Cloreto de Polialumínio 10% (PAC) em diferentes condições do manancial superficial do rio Piraí, avaliando o custo benefício entre estes agentes coagulantes.

Por meio de testes de jarros, foram determinadas as dosagens ótimas de cada coagulante a ser empregado, com o mesmo gradiente de velocidade e tempo para sedimentação. Os resultados em bancada indicaram que, para um resultado semelhante nos parâmetros de saída, principalmente turbidez, a redução de custo no tratamento com a dosagem do coagulante PAC 10% seria aproximadamente 10,76% menor em relação ao de Sulfato de Alumínio 50%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cloreto de Polialumínio, sulfato de alumínio, teste de jarros.

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com Pavanelli, (2001); Di Bernardo et al., (2017) a sobrevivência humana depende do abastecimento de água potável, tornando os processos de tratamento de água ferramentas essenciais para a manutenção da saúde pública e desenvolvimento. As águas superficiais possuem diversos tipos de impurezas, compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos e em suspensão, gases dissolvidos. Esta diversidade faz com que existam diferentes formas de tratamento, que visam remover os contaminantes para alcançar a potabilidade da água, estes processos são propostos de acordo com as características físico-químicas da água.

A cor verdadeira e aparente junto com a turbidez são características físicas da água, que proporcionam uma avaliação da eficiência de sistemas de tratamento de água. Esta água para o consumo humano deve atender os parâmetros de potabilidade conforme Portaria MS 888/21.

Segundo Richter (2009), a turbidez é medida através da dispersão de um feixe de luz, a presença de frações em suspensão e colóides, geram um desvio nesse feixe evidenciando a sua presença. A cor da água, segundo o mesmo autor, decorre de sua eficiência de absorção de radiações de um determinado espectro, essas substâncias geralmente são de origem mineral e orgânicas dissolvidas (cor verdadeira), no estado coloidal ou em suspensão (cor aparente).

As propriedades químicas da água periodicamente mensuradas em estações de tratamento de água (ETA) são: alcalinidade e pH, estas influenciam de forma relevante no processo de coagulação. As interações entre partículas coloidais regem a capacidade de afastamento ou agregação das partículas, fundamentando a etapa de coagulação e floculação no tratamento de água. (Pavanelli, (2001); Di Bernardo et al., (2017).

A escolha do coagulante a ser utilizado em um tratamento de água segundo DELPHOS e WESNER, (1998), baseia se na confiabilidade, segurança e modo de armazenamento do produto, levando também em consideração alguns fatores como: a natureza dos sólidos suspensos, a característica química da água e o tipo de dosagem. Os coagulantes mais utilizados para o tratamento de água são: sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), sulfato férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), cloreto férrico ( $FeCl_3$ ) e Policloreto de alumínio

$Al(OH)_x(Cl)_y$ . Estudos aprofundados sobre tipos diferentes de coagulantes são de acordo com PAVANELLI (2001), de suma importância para uma melhor coagulação, na estação de tratamento (ETA). O Policloreto de alumínio (PAC), tem sido estudado e aplicado no tratamento de águas, apresentando vantagens significativas em relação aos coagulantes tradicionalmente utilizados.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência do Cloreto de Polialumínio 10% (PAC) no tratamento de água da ETA Pirai e comparar os custos de dosagem com o atual coagulante utilizado, o Sulfato de Alumínio (50%).

## METODOLOGIA

### Caracterização da área

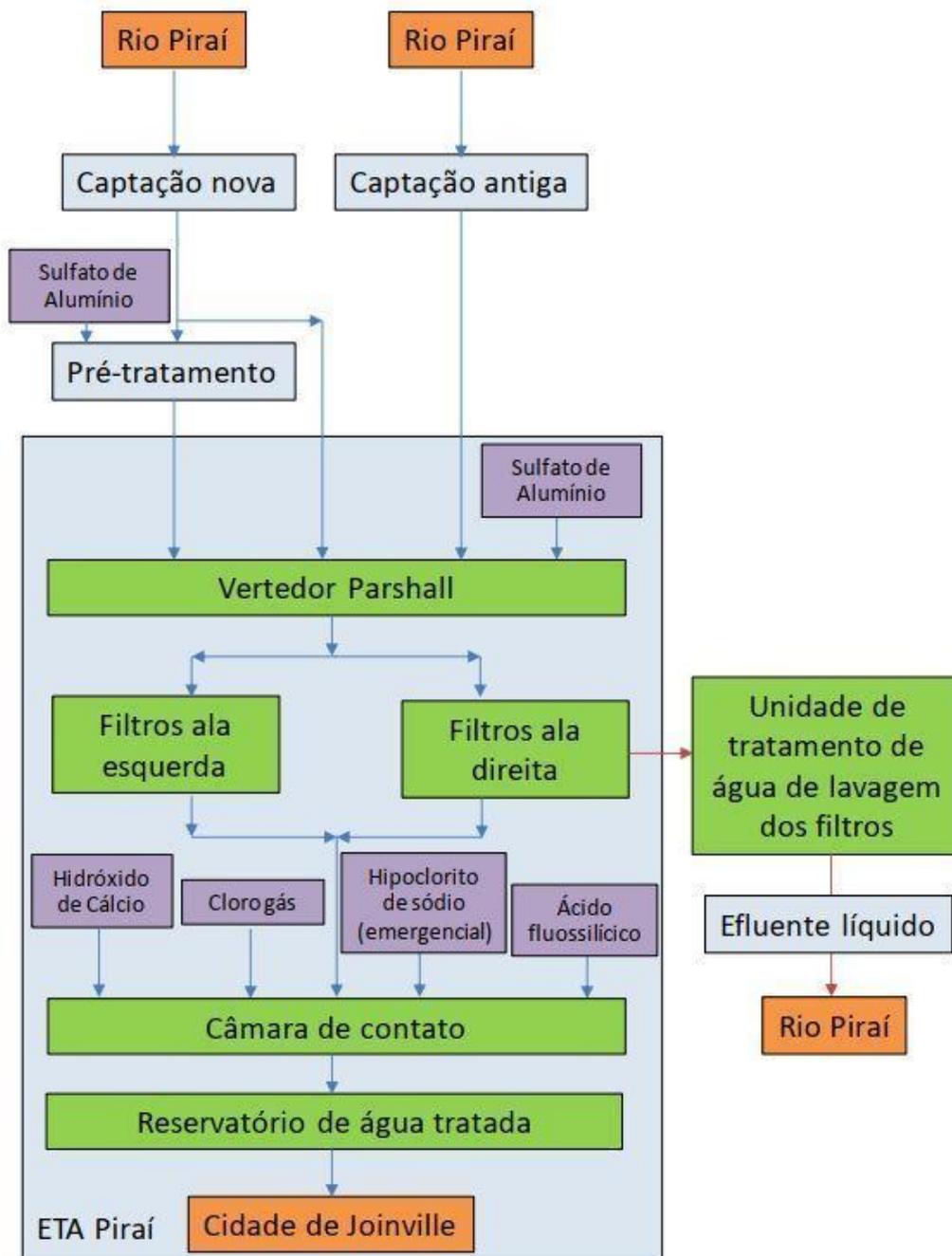
A Estação de Tratamento de Água do Rio Pirai (ETA Pirai) está localizada a aproximadamente 18 km da Zona Central do Município de Joinville, esta é composta pelas seguintes unidades: captação nova e antiga, pré-filtro (utilizado atualmente apenas para a água da lavagem dos filtros), mistura rápida, floculador, decantador, filtros, reservatório de contato, casa de química e casa de bombas. Na figura 1 observa-se uma visão aérea da estação e de suas unidades: casa química, filtros, floculadores, lagoas de decantação e pré-filtro.



**Figura 1: Estação de tratamento de água Pirai e suas unidades.**

A captação é realizada no Rio Pirai em dois pontos, sendo denominada captação nova e captação antiga. A captação nova representa a maior vazão afluyente da estação e a captação antiga é utilizada nos casos que necessitam de complementação de vazão. Na captação nova, situada a montante da antiga, uma parcela de água é captada e encaminhada para o tratamento. A adução se dá por gravidade, por uma adutora de 400mm, a uma distância de 600 m até atingir a lagoa, onde fica localizado o floculador.

A unidade de mistura rápida da ETA Pirai encontra-se na célula de entrada do floculador, neste local aplica-se a solução coagulante de sulfato de alumínio que é bombeada desde a casa de química, onde é preparada. Dos floculadores o fluxo da água segue para a lagoa de decantação e posteriormente para a unidade de filtração por gravidade. A filtração é realizada através de 8 unidades filtrantes de fluxo descendente, com leitos compostos de camadas de carvão antracito e de areia. Essas unidades operam em paralelo, ou seja, cada unidade recebe uma parcela de água decantada, realiza-se a filtração e encaminha-se a água filtrada para um pequeno tanque onde são feitas as adições de ácido fluossilícico (fluoretação) e de hidróxido de cálcio (correção do pH) e na sequência para a câmara de contato, onde ocorre a desinfecção da água pelo processo de cloração.



**Figura 2: Fluxograma das etapas do tratamento de água.**  
Fonte: DI BERNARDO, 2017.

## Experimentos de Bancada

Este estudo busca apresentar o PAC (10%) como uma alternativa de coagulante para a ETA Pirai Para avaliação da eficiência do coagulante proposto e o coagulante atualmente utilizado e avaliar custos, foram realizados testes em bancada descritos na sequência.

Realizou-se uma caracterização da água bruta utilizada nos experimentos para identificação dos principais parâmetros que influenciam na coagulação. Foram realizadas 29 séries de testes de jarros para cada coagulante, realizando o comparativo entre a dosagem de PAC (10%) e Sulfato de Alumínio (50%)

Os experimentos de bancada foram realizados no período de 06/05/2021 à 21/09/2021, foram coletadas amostras da água bruta do rio Pirai para execução dos testes de jarros com o sulfato de alumínio (50%) e PAC (10%). Estes testes foram realizados em equipamento de teste de jarros da marca Ethik Technology modelo 218-6 LDB, composto por jarros de volume igual a 2 litros. Foi empregada a rotação de 436 rpm ( $80 \text{ s}^{-1}$ ) para a mistura rápida por 30s. Em seguida o gradiente de mistura foi reduzido para 100 rpm ( $40 \text{ s}^{-1}$ ) por 1 minuto e em seguida 55 rpm por 9 minutos, 45 rpm por 5 minutos, 35 rpm por 5 minutos e 25 rpm por mais 5 minutos. Após a decantação de 20 minutos foram retiradas as amostras de 50 ml de cada jarro para realização das leituras de turbidez, cor e pH, sendo o ensaio de turbidez realizado no equipamento da marca Policontrol modelo AP2000W, e o de cor no equipamento Policontrol modelo Aquacolor cor IP67 e a leitura de pH na amostra com o phmetro Thermo Scientific Orion 3 Star.

## RESULTADOS OBTIDOS

Esses resultados foram obtidos no período do teste de 06/05/2021 à 21/09/21. Dentre os resultados obtidos na caracterização traz-se na tabela 1 os menores e maiores valores encontrados para cada parâmetro nas amostras coletadas durante o período.

**Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.**

PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA- MENOR VALOR ENCONTRADO	ÁGUA BRUTA -MAIOR VALOR ENCONTRADO
TURBIDEZ	0,76	102
COR	8	227
pH	6,45	8,77
ALCALINIDADE	4	18

Dentre os resultados obtidos traz-se na tabela 2 e 3, os resultados do dia 16/09/2021 com a série de jarros adicionado Sulfato de Alumínio e de dosagem de PAC respectivamente. Na tabela 2 identificou-se que o jarro 3 apresentou melhor floculação, através dos parâmetros analisados de cor, turbidez e pH e foi necessário a dosagem de 8,75 ppm de sulfato de alumínio (50%), e na tabela 3 identificou-se o jarro 5 com a melhor floculação com a dosagem 2,5 ppm de PAC (10%). Ambos com os mesmos critérios do jarro 1 que é a água bruta. O jarro 5 que resultou em melhor floculação com a dosagem de PAC (10%) também apresentou melhores resultados nos parâmetros turbidez, cor e pH final da amostra quando comparado com o melhor resultado do jarro de sulfato de alumínio.

**Tabela 2 Resultados do teste de jarros utilizando como coagulante o Sulfato de Alumínio com alcalinidade em 7.**

Jarro	1	2	3	4	5	6
ppm	Água bruta	7,50	<b>8,75</b>	10	11,25	12,50
Turbidez	5,23	4,30	<b>3,71</b>	4,84	NF	NF
Cor	37	39	<b>34</b>	37	NF	NF
pH	7,01	6,08	<b>5,90</b>	5,70	NF	NF

NF: Não floculou.

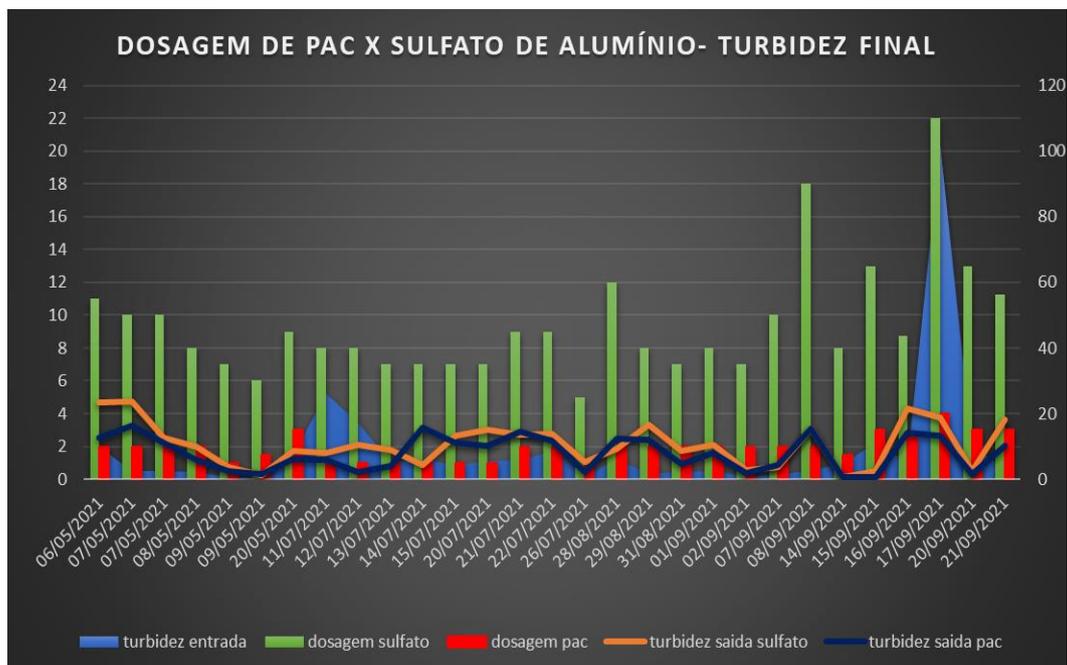
**Tabela 3: Resultados do teste de jarros utilizando como coagulante o PAC com alcalinidade em 7**

Jarro	1	2	3	4	5	6
ppm	Água bruta	1	1,5	2	<b>2,5</b>	3
Turbidez	5,23	NF	NF	3,56	<b>2,82</b>	NF
Cor	37	NF	NF	32	<b>23</b>	NF
pH	7,01	NF	NF	6,34	<b>6,24</b>	NF

NF: Não floculou.

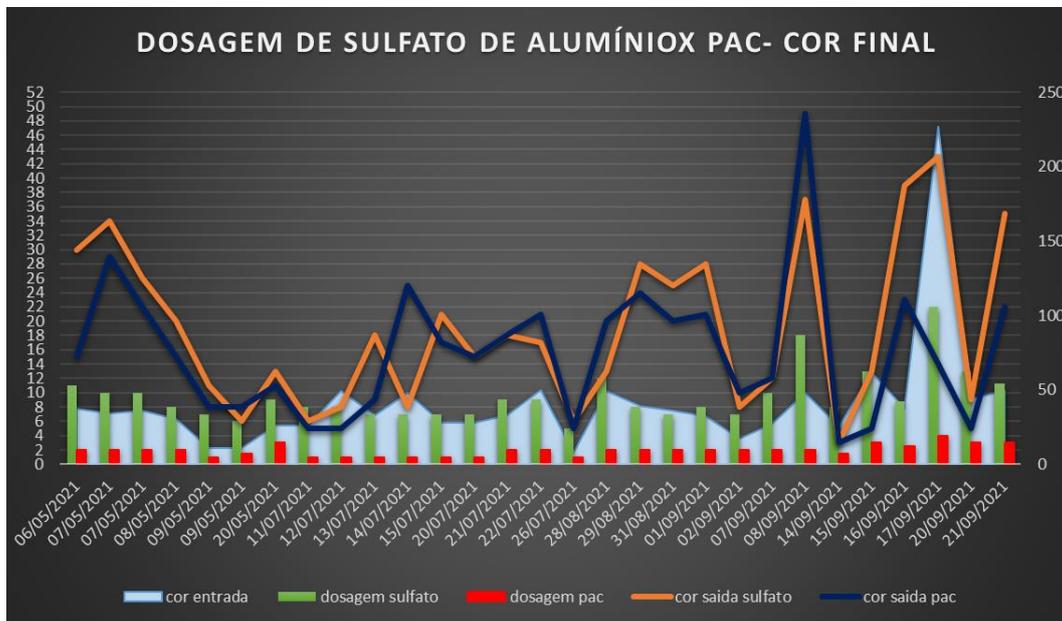
Os resultados obtidos das 29 séries de testes de jarros realizados em bancada no período de 06/05/21 à 21/09/21 foram transpostos em gráficos, para melhor análise e entendimento do comparativo entre a dosagem de sulfato de alumínio à 50% e o PAC à 10%. Considerando sempre o jarro com a melhor floculação.

Na figura 3 a seguir representa-se o gráfico com os resultados das 29 séries para cada coagulante, considerando a melhor análise conforme os parâmetros de cor, turbidez e pH em cada teste de jarros. O foco desse gráfico foi a comparação do parâmetro turbidez final obtida nos testes realizados com PAC (10%) e Sulfato de Alumínio (50%) baseados na turbidez de entrada. Identificou-se que foi necessária uma dosagem mais elevada de sulfato de alumínio para atingir a turbidez próxima a turbidez obtida com a dosagem de PAC. Ambos apresentaram turbidez final próxima, mas com maior consumo de sulfato.



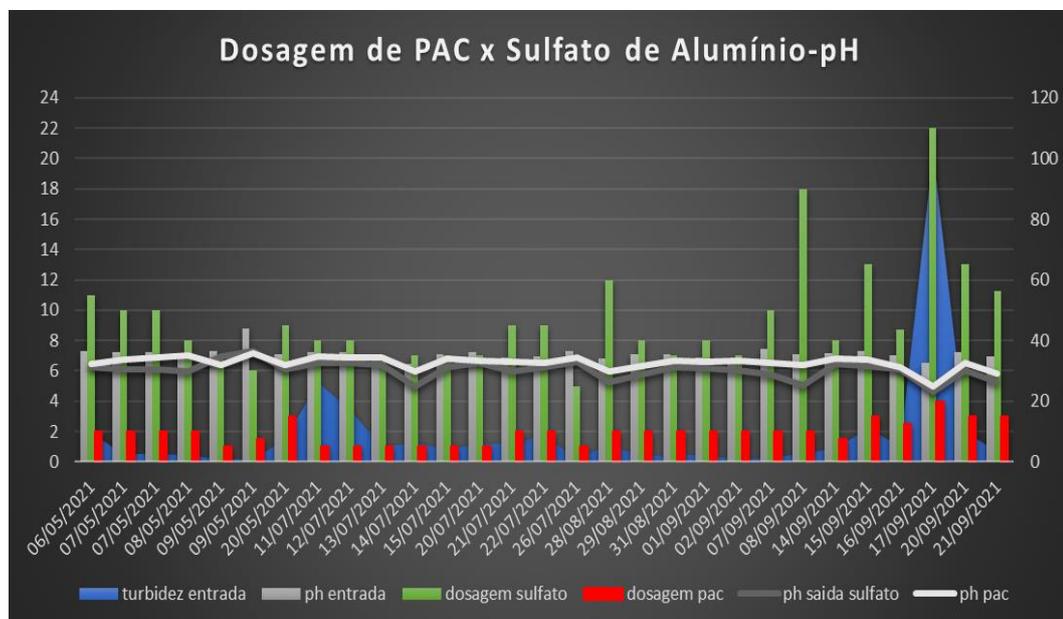
**Figura 3: Dosagem de PAC x Sulfato de alumínio- Turbidez Final**

Na figura 4 foram apresentados os resultados obtidos para o parâmetro cor da amostra final, considerando os valores de dosagem dos coagulantes PAC e Sulfato, e a cor na amostra de entrada. Vale ressaltar que os parâmetros de entrada são iguais para ambos os coagulantes. Os resultados deste gráfico mostram uma oscilação no resultado obtido com os dois coagulantes. Observou-se que nas amostras de água bruta com cor mais elevada, o PAC teve melhor desempenho.



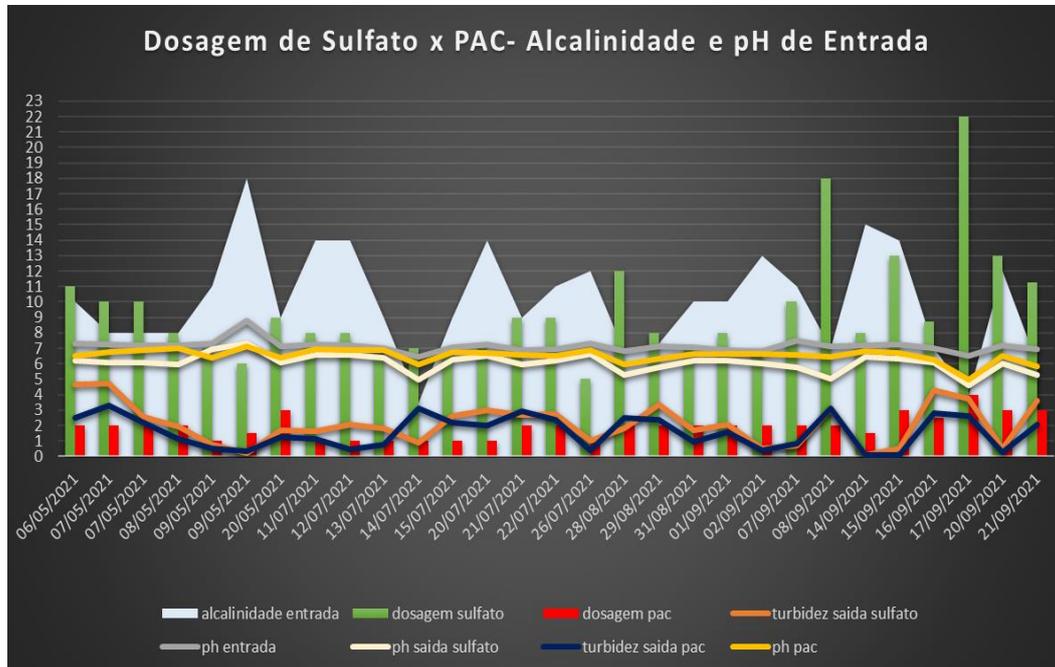
**Figura 4: Dosagem de PAC x Sulfato de alumínio- Cor Final**

Na figura 5 foi apresentado os resultados obtidos, comparando o parâmetro pH na amostra final quando dosado os coagulantes PAC e Sulfato de alumínio. A dosagem com o PAC manteve o pH do jarro analisado acima de 6 na maioria dos testes. E a dosagem de sulfato resultou em pH mais baixo quando comparado com a dosagem de PAC. A dosagem de sulfato de alumínio foi mais elevada para acontecer a melhor floculação que consiste em uma cor e turbidez mais próxima possível do zero, e um pH mais perto do neutro da amostra bruta, e a de PAC foi menor resultando em um pH de saída mais estável.



**Figura 5: Dosagem de PAC x Sulfato de alumínio- pH**

Na figura 6 foram adicionados os resultados obtidos considerando como base os parâmetros de alcalinidade e pH da amostra de entrada, segundo Pavanelli, (2001); Di Bernardo et al., (2017) esses dois parâmetros têm influência significativa no processo de coagulação com os resultados de pH final e turbidez para a dosagem de ambos os coagulantes. Em todas as séries o PAC obteve uma dosagem em volume menor que o sulfato. Identificando que quanto maior a alcalinidade melhor o desempenho dos dois coagulantes. O PAC manteve a turbidez mais baixa na maioria dos resultados e com menor volume de dosagem.



**Figura 6: Dosagem de PAC x Sulfato de alumínio- Alcalinidade e pH de entrada**

### Avaliação econômica

A avaliação econômica foi realizada através do volume de dosagem de coagulante por m<sup>3</sup> tratado no período de 06/05/21 a 21/09/21 resultando em 29 dias no qual houve os ensaios de jar test. Essa análise foi baseada na melhor dosagem encontrada de sulfato e de PAC obtidas em cada dia de experimento em bancada. As melhores dosagens foram inseridas para um cálculo de dosagem contínua por 24 horas. É importante observar que as características da água nesta simulação não mudam pelo período de 24 horas e uma vazão fixa de entrada e saída foi usada. Para a avaliação foi necessário calcular a vazão da dosadora do coagulante, o volume dosado em horas, o custo diário referente ao consumo do coagulante e o custo por período referente ao coagulante, através das fórmulas Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3, Eq. 4:

Eq. 1

$$Vd = \frac{\text{ppm} \times Q_{\text{eta}}}{C}$$

Onde:

Vd = Vazão da dosadora em 10s

ppm = melhor jarro

Qeta = vazão de entrada da Eta

C = Concentração da tina

Seguindo para o segundo cálculo para encontrar o volume de coagulante dosado em 24 horas.

Eq. 2

$$Vt = \frac{Vd \times D(s)}{L}$$

Onde:

Vt = Volume de coagulante dosado por 24 horas

Vd = Volume da dosadora em 10s

D(s) = 24 horas em segundos

L = Conversão de litros para m<sup>3</sup>

Nesta próxima etapa será encontrado o custo diário do coagulante.

Eq. 3

$$Cd = Vt \times P \times D \times Y$$

Onde:

$C_d$  = Custo diário

$V_t$  = Volume de coagulante dosado por 24 horas

$P$  = Concentração da tina em porcentagem

$D$  = densidade do coagulante

$Y$  = Preço por quilo do coagulante

E por último, o custo do período de ensaio de cada mês.

Eq. 4

$$C_p = C_d \times N_d$$

Onde:

$C_p$  = Custo do período

$C_d$  = Custo diário

$N_d$  = Número de dias do período

Para simulação do consumo dos coagulantes, considerou-se tratar um volume de 1.252.800 m<sup>3</sup> de água com a finalidade de comparar os custos da dosagem do Sulfato com a dosagem de PAC e foram montadas as tabelas 4 e 5. Nestas estão descritos por mês os dias de dosagem teste simulando o consumo do coagulante neste período, juntamente com o volume de água tratada chegando ao custo total por período.

**Tabela 4: Dados operacionais com Aplicação de Sulfato de Alumínio.**

Mês	Dias de teste	Consumo de sulfato em Kg no período	Valor médio por Kg	Custo em reais no período	Volume de água tratada (M³)
05/2021	7	7010	1,92	13.458,49	302400
07/2021	9	7699	1,92	14.782,28	388800
08/2021	7	8044	1,92	15.444,17	302400
09/2021	6	8733	1,92	16.767,96	259200

Os valores do kg do sulfato estão baseados no preço de mercado de dezembro de 2021.

Para a dosagem de sulfato em 29 dias ao longo do período do teste o custo total é de R\$ 60.452,90

**Tabela 5: Dados operacionais com Aplicação de PAC.**

Mês	Dias de teste	Consumo de sulfato em Kg no período	Valor médio por Kg	Custo em reais no período	Volume de água tratada (M³)
05/2021	7	7290	1,80	13.122,00	302400
07/2021	9	5940	1,80	10.692,00	388800
08/2021	7	7560	1,80	13.608,00	302400
09/2021	6	9180	1,80	16.524,00	259200

Os valores do kg do PAC estão baseados no preço de mercado de dezembro de 2021.

Para a dosagem de PAC em 29 dias ao longo do período do teste o custo total é de R\$ 53.946,00.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos com a dosagem de Sulfato de Alumínio (50%) e o PAC (10%) os parâmetros turbidez, pH, Cor de saída, nas 29 séries de testes de jarros, o PAC apresentou melhor desempenho na qualidade da água tratada, melhorando de forma significativa os resultados de turbidez e também em um pH mais próximo de 7 na amostra final.

Para realizar o tratamento de 1.252.800 m<sup>3</sup> utilizando o PAC (10%) ao invés de Sulfato de Alumínio o custo referente ao uso de coagulante reduziria e poderia gerar uma economia de aproximadamente R\$ 6.506,90 reais para este volume de água tratada, resultando em uma redução de 10,76%.

O PAC além de apresentar uma redução no custo de dosagem, obteve melhores resultados que o Sulfato de Alumínio com relação à qualidade da água tratada, em todos os três parâmetros.

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

Conclui-se que, considerando os critérios econômicos, o PAC se mostrou como coagulante mais eficiente para o sistema de tratamento de água da ETA Piraí, em comparação ao sulfato de alumínio. Recomenda-se realizar o teste em planta para que se possa comprovar sua mesma efetividade demonstradas nos testes de bancada, eliminando assim qualquer dúvida. Sugere-se um novo estudo para avaliar a dosagem de PAC na planta Estação de Tratamento de Água Piraí, visando a redução do uso do alcalinizante pós cloração para correção do pH da água tratada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, Luiz.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Paulo: LDiBe, vol.3, 2017.
2. DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO DANTAS, Angela. Estudo de melhoria Técnico-Operacional-ETA PIRAÍ no município de Joinville /SC.
3. RICHTER, Carlos A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.
4. DI BERNARDO, Luiz. Métodos e técnicas de tratamento de água- Rio de Janeiro: ABES, v.2, 2005.
5. PAVANELLI, G (2001), Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Universidade de São Paulo, São Carlos-SP (dissertação de mestrado), 233p.