

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM **PROCESSOS QUÍMICOS**

ANDRESSA GRAZIELY DA SILVA BONIFÁCIO

JÚLIA PIVA DE SOUZA

MILENA CRISTINE ALVES

**A IMPORTÂNCIA DE COAGULANTES PARA O
TRATAMENTO DE ÁGUA, COMPARATIVO CLORETO
FÉRRICO X PAC**

CAMPINAS/SP
2023

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM **PROCESSOS QUÍMICOS**

ANDRESSA GRAZIELY DA SILVA BONIFÁCIO

JÚLIA PIVA DE SOUZA

MILENA CRISTINE ALVES

**A IMPORTÂNCIA DE COAGULANTES PARA O
TRATAMENTO DE ÁGUA, COMPARATIVO CLORETO
FÉRRICO X PAC**

Trabalho de Graduação apresentado por **Andressa Graziely da Silva Bonifácio, Júlia Piva de Souza, Milena Cristine Alves** como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em **Processos Químicos**, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Prof^a. Dr^a. **Nilva Aparecida Rassinetti Pedro**.

CAMPINAS/SP
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

B715i

BONIFÁCIO, Andressa Graziely da Silva; SOUZA, Júlia Piva de;
ALVES, Milena Cristine

A importância de coagulantes para o tratamento de água,
comparativo cloreto férrico X PAC. Andressa Graziely da Silva
Bonifácio, Júlia Piva de Souza e Milena Cristine Alves.
Campinas, 2023.

51 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos
Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Profa. Dra. Nilva Aparecida Rassinetti Pedro.

1. Alcalinizante. 2. Cloreto férrico. 3. Coagulantes. Policloreto de
alumínio. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III.
Título.

CDD 628.1

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 23.2

**Andressa Graziely da Silva Bonifacio e Julia Piva de Souza e
Milena Cristine Alves**

**A importância de coagulantes para o tratamento de água,
comparativo cloreto férrico x PAC**

Trabalho de Graduação apresentado como
exigência parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Processos Químicos, pelo
CEETEPS / Faculdade de Tecnologia –
FATEC Campinas.

Campinas, 04 de dezembro de 2023.

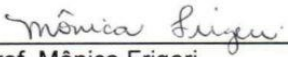
BANCA EXAMINADORA



Prof. Nilva Aparecida Rassinetti Pedro
Fatec Campinas



Prof. Ana Carolina Barros de Gennaro Veredas
Fatec Campinas



Prof. Mônica Frigeri
Fatec Campinas

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão a todos que foram fundamentais em nossa jornada: nossos colegas de graduação, que não só estiveram ao nosso lado, mas também nos apoiaram incondicionalmente, nossos namorados, esposo e familiares, cujo apoio foi um pilar essencial durante todo o percurso, gratidão também aos professores que compartilharam conosco este momento, e à professora Nilva, cuja orientação foi crucial nesta fase.

Não podemos deixar de agradecer, em especial, nosso colega Lucas Pazini e aos funcionários da Estação de Tratamento de Água de Jaguariúna, cuja contribuição com informações sobre a ETA e os temas abordados foi inestimável.

RESUMO

Este trabalho baseou-se na realização de testes de bancada através do uso de Jar-test (teste de jarro), associado à avaliação das características físico-químicas da água bruta, a fim de obter e comparar resultados de maior eficiência na etapa de clarificação, a partir da aplicação de coagulantes inorgânicos, sendo esses em base de Policloreto de Alumínio e Cloreto de Ferro III. O estudo foi realizado a partir de amostragens sistemáticas na água do Rio Jaguari, na estação de Captação e Tratamento de água municipal, na cidade de Jaguariúna/SP. Por tudo que será apresentado na sequência deste trabalho, será possível, a partir da comparação entre os coagulantes catiônicos, Cloreto Férrico e Policloreto de Alumínio, observar similaridades na capacidade de coagulação, porém diferenças significativas na eficiência global do processo de clarificação da água. Tais diferenças poderão ser evidenciadas principalmente pela estabilidade do pH, diminuição da demanda por agente alcalinizante, menor geração de resíduos (lodo), e melhor capacidade floculante. Logo, veremos que o Policloreto de Alumínio, poderá trazer ganhos econômicos globais, muito mais interessantes para a Gestão Técnica e Econômica de uma Estação de Tratamento de Águas (ETA).

Palavras-chave: Alcalinizante; Cloreto Férrico; Coagulantes; Policloreto de Alumínio.

ABSTRACT

This work was based on carrying out bench tests using Jar-test, associated with the evaluation of the physical-chemical characteristics of raw water, in order to obtain and compare results of greater efficiency in the clarification stage, from the application of inorganic coagulants, which are based on Polyaluminum Chloride and Iron III Chloride. The study was carried out based on systematic sampling of water from the Jaguari River, at the municipal water collection and treatment station, in the city of Jaguariúna/SP. For everything that will be presented in the sequence of this work, it will be possible, from the comparison between the Cationic Coagulants, Ferric Chloride and Aluminum Polychloride, to observe similarities in the Coagulation capacity, but significant differences in the overall efficiency of the water clarification process. Such differences may be evidenced mainly by pH stability, reduced demand for alkalizing agent, lower generation of waste (sludge), and better flocculating capacity. Soon, we will see that Aluminum Polychloride can bring global economic gains, much more interesting for the Technical and Economic Management of a Water Treatment Plant (ETA).

Keywords: alkalizing; ferric chloride; coagulants; Aluminum Polychloride.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento Jar-test.	23
Figura 2 – Reação de hidrólise.	27
Figura 3 – Reação de polimerização do hidróxido de alumínio.	28
Figura 4 - Comparação das dosagens e turbidez dos coagulantes.	33
Figura 5 - Dosagens do Coagulante e análise do pH.	34
Figura 6 - Comparação do comportamento de pH na ação das variáveis dosagens.	36
Figura 7 - Comparação do parâmetro de turbidez x dosagem de PAC.	36
Figura 8 – Dosagem do Cloreto Férrico e pH.	38
Figura 9 - Dosagem de Cloreto Férrico e sua Turbidez.	38
Figura 10 – Produção de lodo em função dos coagulantes inorgânicos.	41
Figura 11 - Comparação do PAC x Cloreto em 15 min.	41
Figura 12 – Comparação do PAC x Cloreto em 30 min.	42
Figura 13 – Remoção de cor com os coagulantes em 15 min.	42
Figura 14 - Remoção de cor com os coagulantes em 30 min.	43
Figura 15 - Poder de reaglutinação e a turbidez.	44
Figura 16 – Poder de reaglutinação e a cor.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Físico-químicas da Água bruta.....	31
Tabela 2 – Dosagem Ideal do coagulante PAC.	32
Tabela 3 - Correção de alcalinidade.	32
Tabela 4 - Dosagem Ideal do coagulante Cloreto Férrico.....	33
Tabela 5 – Características Físico-químicas da amostra Afluente in-natura.....	35
Tabela 6 – Avaliação da ação do agente coagulante PAC em condições variadas da água.	35
Tabela 7 – Características Físico-químicas da amostra Afluente in-natura.....	37
Tabela 8 – Avaliação da ação do agente coagulante Cloreto Férrico em condições variadas da água.	37
Tabela 9 – Água Bruta sem Hidróxido de Cálcio.	39
Tabela 10 – Correção prévia de pH, via uso de agente alcalinizante $\text{Ca}(\text{OH})_2$	39
Tabela 11 – Ajuste de pH com o hidróxido de cálcio na água com o coagulante PAC. ...	40
Tabela 12 – Ajuste de pH com o hidróxido de cálcio na água com o coagulante Cloreto Férrico.....	40
Tabela 13 - Controle de vazão e dosagens do coagulante e alcalinizante.	46
Tabela 14 – Média de Vazão de Água e Consumo do FeCl_3	46
Tabela 15 – Custo unitário dos produtos químicos.	46
Tabela 16 – Média mensal do custo de processo com FeCl_3	47
Tabela 17 - Média mensal do custo de processo com PAC.	47

LISTA DE ABREVIACÕES

ETAs	Estaces de Tratamento de gua
PAC	Policloreto de Alumínio
RPM	Rotações por minuto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
min	Minutos

LISTA DE SÍMBOLOS

nm	Nanômetros
mL	Mililitros
mg/L	Miligramas por litros
g/mol	Gramas por mol
g/L	Gramas por litros
kg/L	Kilogramas por litro
g/L	Gramas por litro
L/s	Litro por segundo
m ³ /h	Metro cúbico por hora
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
NTU	Unidade nanofilométrica de turbidez
mg Pt-Co/L	Miligramas de Platina e Cobalto por litro.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.2	JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA	15
1.3	OBJETIVOS.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	21
3.1.1	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS.....	22
3.2	MÉTODOS	23
3.2.1	PREPARO DE SOLUÇÕES	24
3.2.2	PREPARO DA SOLUÇÃO DE CLORETO FÉRRICO	24
3.2.3	PREPARO DA SOLUÇÃO DE PAC	25
3.3	REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS.....	26
3.3.1	REAÇÃO DO CLORETO FÉRRICO	26
3.3.2	REAÇÃO DO PAC	27
3.3.3	REAÇÕES DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO	28
3.4	INVESTIGAÇÃO	29
3.4.1	CÁLCULO DE DOSAGEM.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA E DOSAGEM IDEAL DOS COAGULANTES INORGÂNICOS	31
4.2	ESTUDOS DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DO RIO JAGUARI.....	34
4.3	AVALIAÇÃO DO PODER DE REAGLUTINAÇÃO	44
4.4	HISTORIZAÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA	45
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

O coagulante geralmente é uma substância composta por um sal de ferro ou alumínio, com a finalidade de causar precipitação de compostos sólidos em solução, através da desestabilização das partículas coloidais sólidas, causando rapidamente a precipitação dos coloides. Os coloides são partículas pequenas, na faixa de 1 a 1000nm (nanômetros), responsáveis pela sujidade e/ou toxidade da água bruta, possuem propriedades elétricas (geralmente carregados de cargas negativas) que criam uma força de repulsão impedindo a aglomeração e sedimentação.

Os agentes químicos que abordaremos neste estudo, são os coagulantes inorgânicos: Cloreto de Ferro III (Cloreto Férrico) e Policloreto de Alumínio (PAC). Os coagulantes inorgânicos, de carga predominante catiônica e pré-polimerizado, trazem benefícios ao processo de coagulação, otimizando a necessidade da aplicação de agregados, como é o caso dos alcalinizantes. Há também um benefício intrínseco na etapa de floculação, por vezes minimizando ou excluindo a demanda por agentes floculantes (polieletrólitos). Na prática, essa classe de coagulante, acelera a sedimentação, por aumentar o diâmetro dos flocos, o que também pode trazer vantagens à capacidade de tratamento de uma estação, já que pode permitir aumento da vazão e diminuição do volume de lodo formado no interior do decantador, função da diminuta necessidade pela adição de agentes alcalinizantes, nesse caso a Cal Hidratada.

Para determinação da dosagem adequada do coagulante é necessário que sejam observadas as características físico-químicas da água bruta, a dosagem correta será a base para que os processos se desenvolvam adequadamente, promovendo a redução de cor, turbidez, odor, matéria orgânica, entre outros. O ensaio Jar-test é o método empregado nas ETAs (Estações de tratamento de água), para se determinar a dosagem ideal.

Para resultado comparativo observa-se a ação dos coagulantes inorgânicos Cloreto Férrico e PAC, através de ensaios de bancada, partindo das dosagens pré-estabelecidas, avaliando os parâmetros de cor, turbidez e pH no sobrenadante. Os testes foram realizados em laboratório, ocorrendo variações nos resultados de acordo com a qualidade da água bruta recebida do Rio Jaguari em épocas de chuva e estiagem.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A água é fundamental para a vida, independentemente de sua origem, estão propensas a sofrerem contaminação, podendo transmitir uma série de doenças aos seres humanos. O Ministério da Saúde desenvolveu uma série de parâmetros para avaliação da potabilidade da água para o consumo humano, estabelecidos pela Portaria nº 888/2021.

“O processo de tratamento de água pode ser visto como um conjunto de manipulações da água em suas mais diferentes apresentações, de modo que esta possa ser considerada apta para o abastecimento público. Isso significa afirmar que a qualidade físico-química e microbiológica da água atende a determinados padrões de qualidade definidos por agências reguladoras” (SEKLER, 2017).

Cada município pode adotar diferentes formas de realizar seu tratamento de água, que varia dependendo das características e necessidades de sua rede de abastecimento. A água captada de rios e lagos, será direcionada a uma ETA, e passará por processos de transformação, onde a água bruta se tornará potável através deles: coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação e desinfecção.

O processo de coagulação é a primeira etapa que acontece em uma ETA, “consiste em adicionar um produto químico coagulante sobre uma dispersão coloidal, resultando na desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a manter as mesmas afastadas” (BERNARDO; DANTAS, 2005; BAUMAN, 1971). O uso de coagulantes é indispensável nesta etapa, pois as partículas de impurezas na água bruta são pequenas, na faixa de 1 a 1000nm (nanômetros), sendo leves e difíceis de sedimentar, portanto, seu uso se faz necessário para haver uma decantação mais rápida e eficiente, e maior remoção dos sólidos.

A floculação é uma das principais etapas no processo de tratamento da água, é o “Processo físico no qual as partículas coloidais são postas em contato uma com as outras, de modo a viabilizar o aumento do seu tamanho físico, alterando, assim, sua distribuição granulométrica” (SEKLER, 2017). Portanto, de acordo com seu crescimento físico, garante-se uma maior remoção nas unidades de separação sólido-líquido, assegurando uma eficiência superior do processo de tratamento.

1.2 JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA

Este estudo visa comparar e avaliar a eficiência do Cloreto férrico e do PAC, por análise físico-química da água bruta proveniente do Rio Jaguari que será distribuída através da ETA para a população da cidade de Jaguariúna-SP.

Jaguariúna está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba e pelo seu território correm os rios Atibaia, Jaguari e Camanducaia, afluentes do Rio Piracicaba.

O Rio Jaguari é um dos mais importantes rios de Jaguariúna, onde está localizada a captação de água, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 95% da população de Jaguariúna. Portanto, é de suma importância que esta água distribuída esteja dentro dos parâmetros exigidos pelas portarias determinadas pelo Ministério da Saúde.

1.3 OBJETIVOS

- 1) Analisar a eficiência do PAC e do Cloreto Férrico no tratamento de água;
- 2) Comparar os resultados obtidos através do uso dos coagulantes inorgânicos;
- 3) Avaliar os parâmetros de pH, cor e turbidez resultantes do uso dos agentes coagulantes nas águas do Rio Jaguari;
- 4) Estudar e comparar a viabilidade econômica frente ao uso dos respectivos coagulantes aplicados à ETA de Jaguariúna.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo estudo da Confederação Nacional de Municípios (CNM), em média, no Brasil, cada pessoa consome 154 litros de água por dia (Confederação Nacional de Municípios, 2018). Mais do que apenas um simples número, esse dado evidencia a importância da água tratada e potável para a população, que depende dela para ingestão, higiene pessoal e para diversos afazeres, domésticos ou não. De acordo com MOTA (1997) a caracterização de uma água carece considerar os parâmetros de indicadores de qualidade, tais quais, características físicas, químicas e biológicas. Dessa forma, algumas estratégias que contribuem para as propriedades mencionadas acima, são os desenvolvimentos sustentáveis e a preservação da água realizada

nas Estações de Tratamento de Água, visto que, os projetos das ETAs para ser adequados às características da água bruta, deve se basear em dados obtidos a partir de estudos de laboratório (DI BERNARDO et al., 1999b).

“Os cursos de água e as águas potáveis e residuais contêm material suspenso (sólido) que pode sedimentar ou permanecer em suspensão, o que torna a água turva ou lhe confere uma determinada cor, podendo dar origem a sabores e cheiros, e/ou promover o desenvolvimento de bactérias, micro-organismos, algas ou outros organismos planctônicos (partículas coloidais)”. (Cheng; 2012).

De acordo com Harold E. Babbitt, James J. Doland, John L. Cleasby (1967. p. 407), “como a formação do floco é intimamente relacionada a concentração de íon hidrogênio e as relações aniônicas e catiônicas, o controle de pH é importante no controle da coagulação”. Desta forma, entende-se que sem um controle rígido de pH durante o processo de coagulação, coágulos não serão formados, não havendo a devida remoção da turbidez.

O pH de coagulação é um parâmetro crítico na eficiência do processo. Como o pH resultante depende do coagulante utilizado, da dose aplicada e da alcalinidade presente, há a necessidade do conhecimento desses dados para otimizar o processo, que geralmente é obtido por ensaios de coagulação. (CARLOS A RICHTER –Água métodos e tecnologias de tratamento. 1º ed – Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo – 2009.

Nesse contexto, cuja etapa de coagulação, as características físico-químicas da água bruta com maior significado no controle dessa operação, incluem a concentração de colóides (avaliada indiretamente pela turbidez e/ou cor), o pH e a alcalinidade, principalmente quando são utilizados coagulantes inorgânicos, como sais de alumínio ou de ferro, que permitem a formação de flocos por meio da precipitação em conjunto do hidróxido metálico.

Admite-se que as partículas coloidais tenham dimensões que não excedam 1µ que podem se aproximar do tamanho de uma grande molécula, isto é, 0,1 a 0,5 µm (Abastecimento e água, Harold E. Babbitt, James J. Doland, John L. Cleasby – Editora Edgard Blucher Ltda. Rio de Janeiro, 1967), ou seja, muito pequenas e difíceis de sedimentar por conta própria, necessitando do auxílio de um agente químico para tal ação.

O processo de coagulação e floculação são as operações mais importantes nas ETAs, onde ocorrem os passos iniciais para tratabilidade da água bruta. Ao chegar da captação, receberá uma quantidade de produto químico coagulante, no qual possui a função de desestabilizar as partículas de sujeira, fazendo com que elas se atraiam e possam decantar com

facilidade após passarem pelo processo de floculação, processo esse que por meio de agitação, fará com que as partículas se choquem e formem flóculos, segundo o livro Abastecimento e água (1967) na formação do floco, é necessário turbulência com violência decrescente a medida que o floco é formado.

A respeito disso, CARLOS A RICHTER (2009) em seu livro descreve que,

A coagulação envolve inicialmente a mistura rápida do coagulante com a água e, em seguida, a agitação lenta do material coagulado para a formação dos flocos. A mistura rápida e a floculação (mistura lenta) são, portanto, basicamente processos de transporte de fluido, associados à precipitação e a união das partículas primárias.

Ainda de acordo com Harold E. Babbitt, James J. Doland, John L. Cleasby (Abastecimento e água, Harold E. Babbitt, James J. Doland, John L. Cleasby – Editora Edgard Blucher Ltda. Rio de Janeiro, 1967) “a coagulação da água pela adição de substâncias químicas envolve reações químicas, físico-químicas, iônicas e físicas. A primeira ação após a adição de um coagulante pode ser a neutralização das cargas elétricas”.

Então neste caso, o agente físico para a realização tanto da coagulação quanto da floculação é a agitação mais ou menos intensa da água, por meio de operações de mistura rápida quando aplicadas a coagulação e mistura lenta a floculação. (CARLOS A RICHTER p.103) este processo de misturas e seu grau de intensidade são avaliados através do gradiente de velocidade.

Os agentes inorgânicos são considerados alternativas viáveis nos processos de tratamento da água, pois além do baixo custo são eficazes no cumprimento do seu papel, resultando em melhor cor e turbidez desta água.

Segundo Sidney Seckler (2017. p. 17),

A importância do processo de coagulação reside no fato de que um dos maiores objetivos do tratamento de águas de abastecimento é garantir a produção de água tratada com características estéticas adequadas para consumo humano, ou seja, é necessário garantir sua clarificação.

É sinal de que, sem esta etapa não haveria o tratamento da água, já que as operações que acontecem nas ETAs são unitárias, ocorrendo uma após a outra individualmente, o processo seguinte após coagulação será a floculação, e sem a desestabilização das partículas por meio

dos agentes químicos coagulantes, as partículas não seriam atraídas, não havendo o próximo passo: a etapa da floculação.

O processo de coagulação é a primeira etapa que acontece em uma ETA, “consiste em adicionar um produto químico coagulante sobre uma dispersão coloidal, resultando na desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a manter as mesmas afastadas” (BERNARDO; DANTAS, 2005; BAUMAN, 1971).

Ainda, CARLOS A RICHTER (Água métodos e tecnologias de tratamento. 1º ed – Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo – 2009) nos diz que “A floculação promove colisões entre as partículas previamente desestabilizadas pela coagulação, por efeito de transporte de fluído, formando partículas de maior tamanho, visíveis a olho nu: os flocos”.

O procedimento de coagulação sofre influência de diversas variáveis do processo, sendo as principais voltadas para a dosagem dos coagulantes, características da água bruta e o pH do meio. A água bruta, apresenta muitas variações em suas particularidades, pois os cursos de água sofrem degradação decorrente dos descartes inadequados, como agentes poluidores e esgotos.

Dessa maneira, diante das circunstâncias mais complexas desse sistema, requer-se apoio de testes e equipamentos laboratoriais com maior eficiência para o tratamento dessa água. Pode-se determinar as dosagens ótimas para os tratamentos através de testes laboratoriais, como o Jar-Test, onde é avaliada a eficiência de remoção dos resíduos gerados, de acordo com Netto e José (1987).

Sendo o maior aliado das estações de tratamento, o Jar-Test trata-se de um equipamento com alta credibilidade em seus resultados. Carlos Richter relata que, o jar-test ainda é - e provavelmente vai continuar ser - o método mais utilizado e o mais útil para avaliar o processo de coagulação – floculação e seus efeitos na fase subsequente do tratamento. (Livro “Água métodos e tecnologias de tratamento. 1º ed – Editora Edgard Blucher Ltda, pág 307 - 2009, São Paulo).

Além disso, o processo de coagulação utilizado nas estações de tratamento consiste na aplicação de produtos químicos para gerar a precipitação de compostos em solução, além da desestabilização das suspensões coloidais de partículas sólidas. Carlos A Richter (2009).

Padrões de potabilidade ou de água potável são as quantidades limites que, com relação aos diversos elementos, podem ser toleradas nas águas de abastecimento, quantidades fixadas, em geral, por decretos, regulamentos ou especificações” (Livro “Água métodos e tecnologias de tratamento. 1º ed – Editora Edgard Blucher Ltda, pág 46 - 2009, São Paulo).

Funasa, relata no livro “Manual prático de análise de água. 1ª ed”, - Brasília: Fundação Nacional de Saúde (2004),

A turbidez refere-se à matéria suspensa presente na água, de qualquer natureza, com tamanho variado desde suspensões grosseiras aos colóides, que reduzem a sua transparência. É causada principalmente por areia, argila e algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro e manganês. FUNASA, **Manual prático de análise de água. 1ª ed**, - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004 – Disponível em: https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf.

Dessa forma, os parâmetros de turbidez, assim como o de cor, foram definidos pelo Ministério da Saúde e requerem constantes análises para conferir se estão sendo cumpridos. Para que a água bruta possa estar dentro destes padrões é necessário que ela sofra transformação físico-química, o qual depende da adição de agentes químicos para tal realização. Os coagulantes possuem essa função, serão responsáveis por fazer com que esses parâmetros estejam dentro das legislações.

De acordo com o livro Técnicas de abastecimento e tratamento de água (1976),

A cor é uma característica devido a existência de substâncias dissociadas, que na grande maioria dos casos, são de natureza orgânica, e a turbidez é uma característica decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos finamente divididos em estado coloidal, e de organismos microscópios.

Dentre as características físicas da água, a cor (verdadeira e aparente) e a turbidez se evidenciam para a avaliação da eficiência de sistemas de tratamento de água. Segundo o estudo publicado na Revista Desafios (03/2020 p.10), Lemos, Karina; Aguiar, Silvio; Cavallini, Grasielle, Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica. Revista Desafios, Tocantins, V.7 n1 2020, p 10, 03/2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20873/uftv7-7824>.

Além disso, outro parâmetro importante na viabilidade da água bruta é o índice de pH (alcalinidade e acidez). Sobre isso, Di Bernardo e Dantas (2005) citam em seu estudo,

A alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, uma vez que os principais coagulantes primários, comumente utilizados no Brasil (sulfato de alumínio e cloreto férrico), são doadores de prótons em solução. Se a alcalinidade for baixa, a coagulação pode exigir a adição de alcalinizante para o ajuste do pH, mas se a alcalinidade e o pH forem altos, provavelmente haverá problemas nesse tipo de coagulação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

De acordo com o Eckenfelder (1989),

O sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) é considerado o coagulante químico mais utilizado no Brasil, para o tratamento de água de abastecimento público, pelo baixo custo financeiro, tendo também sua alta eficiência na remoção de partículas coloidais, porém veio perdendo espaço para o PAC.

Estações de Tratamento de Água (ETAs) precisam adaptar-se, incluindo a escolha adequada do agente coagulante, influenciada por características da água, disponibilidade no mercado, preço e eficiência no tratamento. Este estudo buscou determinar uma dosagem viável do Policloreto de Alumínio (PAC) em comparação com o Sulfato de Alumínio na ETA Maringá da SANEPAR, visando reduzir perdas operacionais. Resultados laboratoriais e de consumo de produtos químicos identificaram o coagulante mais eficiente, com vantagens e desvantagens no tratamento de água nessa unidade. (FERRARI CONSTANTINO, A.; YAMAMURA, V. 2009)

Comparando economicamente os dados do período, o PAC resultou em um gasto maior de coagulante, porém, analisando tecnicamente o PAC apresentou resultados melhores que o Sulfato de Alumínio com relação a qualidade da água produzida, melhorando de forma significativa os níveis de turbidez, observou-se uma redução na dosagem de coagulante, aumentando assim, a autonomia dos reservatórios, prolongando a capacidade de abastecimento e armazenagem, redução também no consumo de cal, sendo desnecessário em determinados níveis de turbidez da água in natura, e minimizou-se o gasto operacional de água. (FERRARI CONSTANTINO, A.; YAMAMURA, V. 2009)

Sobretudo, os coagulantes são indispensáveis no tratamento de água, pois colaboram para que o tratamento se encaixe dentro dos padrões estabelecidos. Coagulantes inorgânicos são eficientes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas águas do Rio Jaguari, que percorre os estados de São Paulo e Minas Gerais. Suas nascentes estão localizadas no estado de Minas Gerais. Ao entrar em território paulista, é represado, sendo um dos reservatórios integrantes do sistema produtor de água Cantareira. Por atravessar dois estados, o Jaguari é considerado um rio federal, e sua bacia abrange quatro municípios mineiros e 15 paulistas. Jaguariúna é um município da Região Metropolitana de Campinas, no estado de São Paulo, no Brasil, com área de 141,4 km². Sua população, conforme estimativas do IBGE de 2021, era de 59.921 habitantes.

As amostras de água foram coletadas na ETA de Jaguariúna, especificamente, na Captação de onde a água chega bruta à estação. As amostras foram coletas no período de agosto a outubro de 2023, sendo armazenadas em galões previamente limpos, posteriormente, realizando-se análises físico-químicas.

Realizou-se primeiramente os ensaios de Floculação – Coagulação – Sedimentação, avaliando os coagulantes inorgânicos PAC e Cloreto Férrico para que fosse estabelecida as dosagens ótimas dos coagulantes. Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados em escala de bancada através do uso de Jar-test no laboratório da ETA de Jaguariúna.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- Espectrofotômetro
- Turbidímetro
- pHmetro
- Balança Semi- Analítica
- Agitador Magnético
- Jar-Test
- Pipeta Automática
- Pipeta Graduada 2mL
- Pipeta de Pasteur
- Bagueta de Vidro
- Balão Volumétrico 1000mL

- Béquer 2000mL
- Galão 20000mL
- Água Deionizada
- Hidróxido de Cálcio em suspensão aquosa

3.1.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

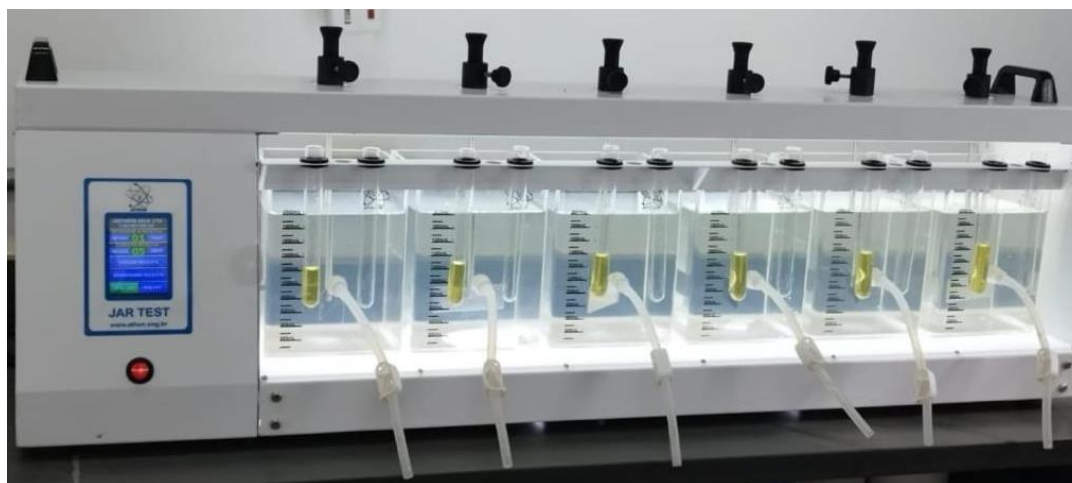
Reagentes:

- O Cloreto Férrico é um coagulante inorgânico a base de Ferro e Cloro, um composto iônico e um oxidante energético, sua solução é ácida e corrosiva, de coloração avermelhada a castanha escura. Possui fórmula química FeCl_3 ; com peso molecular de 270,35 g/mol e alto grau de pureza, possui massa molar de 162,2 g/mol; densidade a 20°C 1,42 kg/L ou 1425 g/L e concentração de Ferro 38 a 40%.
- O Policloreto de Alumínio denominado PAC, é um sal metálico coagulante polimérico inorgânico e em solução aquosa possui alta concentração de carga catiônica, com baixo peso molecular aproximadamente 34g/mol e alta massa molar, formado por unidades de hidroxícloreto de alumínio agregadas, obtido pela reação entre ácido clorídrico e hidrato de alumínio, seu teor de alumínio em solução pode variar de 9 a 11%. De fórmula química $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$, onde n é uma variável que representa o número de átomos de alumínio e m uma variável que representa o número de hidroxilas. Sua aparência é líqüida de amarelado a castanho claro, inodoro ou com odor característico, possui viscosidade variável e densidade 1,20 a 1,40 g/cm³ à 25°C.
- O Hidróxido de Cálcio, também conhecido como Cal Hidratada, pertence à classe das bases, em suspensão aquosa, ele atua como um regulador de pH. Uma de suas propriedades essenciais é sua atividade antimicrobiana, que se deve ao seu pH alcalino (12,6), decorrente da dissociação em íons hidroxila e íons cálcio. É obtido através da calcinação do calcário, ele é a base de hidróxido de cálcio (30%) com alto grau de pureza, possui fórmula química $\text{Ca}(\text{OH})_2$, alta massa molar 74,09 g/mol, densidade relativa 2,24 g/cm³ a 20°C, inodoro, e de coloração branca.

Equipamentos:

- Jar-test modelo Floc Control II da marca PoliControl, composto por 6 jarros;
- Espectrofotômetro modelo DR 3900 da marca HACH para leitura de cor aparente;
- Turbidímetro da marca HACH modelo TL 2310;
- pHmetro da marca Orion modelo 420 Plus;
- Balança semi- analítica da marca GEHAKA modelo BG 4400;
- Agitador magnético da marca IKA modelo C-MAG HS 7.

Figura 1 – Equipamento Jar-test.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

3.2 MÉTODOS

Este trabalho foi fundamentado na realização de ensaios de bancada com uso de equipamento Jar-test, associado a avaliação das características físico-químicas da água bruta para a obtenção de resultados de maiores eficiências de coagulação, e maior remoção de cor e turbidez, através do uso dos coagulantes PAC e Cloreto Férrico.

As amostras coletadas em um único ponto, localizado à margem do Rio Jaguari onde é realizado a captação da água bruta que será direcionada a ETA e receberá tratamento para abastecimento da cidade de Jaguariúna. As amostras foram armazenadas em galões de 20 litros, previamente limpos, sendo realizado as análises em seguida.

Inicialmente, são preparadas as soluções de PAC e Cloreto Férrico à 10% (Volume x Volume), onde cada 1mL/1L de amostra = 0,1mg/L, e medidos os parâmetros de pH, cor e turbidez da água bruta e, em seguida foram realizados os ensaios de bancada, para que fosse estabelecida as dosagens ótimas dos coagulantes.

A primeira etapa, avaliaram-se os parâmetros de pH, cor e turbidez a fim de obter as concentrações que expressassem maior eficiência na ação de coagulação, floculação e sedimentação, para cada um dos coagulantes individualmente. Uma vez obtidos os resultados das dosagens ótimas de cada um deles, partiu-se para a realização da segunda etapa, onde fez-se necessário uso do equipamento Jar-test com gradiente de mistura rápida (1400RPM) por 40 segundos, para coagulação, gradiente de mistura lenta (40RPM) por 10 minutos, para floculação, e então foi acompanhado a velocidade de sedimentação. Logo após, foram retiradas alíquotas com 15 e 30 minutos e avaliados os parâmetros físico-químicos da água por meio de ensaios de alcalinidade, turbidez e cor definindo a dosagem ideal.

3.2.1. PREPARO DE SOLUÇÕES

3.2.2. PREPARO DA SOLUÇÃO DE CLORETO FÉRRICO

Preparou-se uma solução de Cloreto Férrico ($\text{FeCl}_{3(\text{liq.})}$), em uma concentração de 10%. Pesou-se 20g de Cloreto Férrico (20g = 20.000mg), e diluiu-se em água deionizada até completar 200mL (20.000mg/ 200mL = 100mg/ mL).

Realizou-se o cálculo de concentração $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$

Onde:

$V = 1\text{mL}$

$C_2 = 100\text{mg}$ de ($\text{FeCl}_{3(\text{liq.})}$)

$V_2 = 1000\text{ mL}$ de Água deionizada

Substituindo, obteve-se os resultados:

$C_1 \cdot 1\text{mL} = 100\text{mg} / 1000\text{mL}$

$C_1 = 0,1\text{ mg/mL}$

Ou seja, pipetando 1mL em um Jarro de 1L, teremos 0,1mg/ L

Em seguida, calculou-se o volume de Cloreto Férrico através da densidade:

$$V=m/d$$

$$d \text{ FeCl}_{3(\text{liq})} = 1,4\text{g/mL}$$

Realizando o cálculo $V = 20\text{g/L} / 1,4\text{g/mL}$, o volume final de Cloreto Férrico obtido foi de 14,28mL.

3.2.3. PREPARO DA SOLUÇÃO DE PAC

Para o preparo da solução de PAC, pesou-se 20g de PAC (20g = 20.000mg), e diluiu-se em água deionizada até completar o volume de 200mL (20.000mg/ 200mL = 100mg/mL).

Partindo do princípio $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$

Onde:

$$V_1 = 1\text{mL}$$

$$C_2 = 100\text{mg/mL}$$

$$V_2 = 1000\text{mL}$$

$$\text{Logo } 100\text{mg} / 1000\text{mL} = 0,1\text{mg/mL}$$

Pipetando 1mL em um Jarro de 1L, teremos 0,1mg/L

Calculando o volume de PAC através da densidade:

$$V=m/d$$

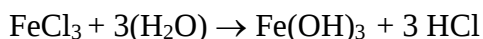
$$d = 1,25\text{g/mL}$$

Realizando o cálculo $V = 20\text{g} / 1,25\text{g/mL}$, o volume final de PAC obtido foi de 16mL.

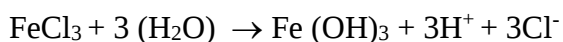
3.3 REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS

3.3.1. REAÇÃO DO CLORETO FÉRRICO

O Cloreto férrico quando associado a água, se hidrolisa, e forma os complexos de ferro, o hidróxido férrico passa por uma polimerização, dando origem ao floco de óxido férrico, que precipita, resultando na formação de um coagulante desejado. Dessa maneira, ocorre a rápida precipitação das partículas coloidais devido à criação de flocos eletricamente neutros, à aglomeração desses flocos e à adsorção das impurezas nos flocos de hidróxido férrico. Isso leva a uma considerável redução na quantidade de materiais em suspensão, bem como na concentração de coloides.



Ao adicioná-lo na água, acontecerá a sua dissociação, representada com a reação abaixo:



Essa sequência de eventos leva à rápida precipitação de coloides, alcançada através de três mecanismos principais:

- Formação de Flocos Eletricamente Neutros: O hidróxido férrico polimerizado se transforma em flocos que têm uma carga elétrica neutra;
- Aglomeração dos Flocos: Os flocos recém-formados tendem a se agrupar, formando aglomerados maiores;
- Adsorção de Impurezas nos Flocos de Hidróxido Férrico: As impurezas em suspensão têm uma afinidade por se ligar aos flocos de hidróxido férrico, o que leva à sua remoção eficaz do sistema.

Esse processo reduz significativamente a quantidade de materiais em suspensão, bem como a concentração de coloides no meio, resultando em uma água mais limpa e clarificada.

3.3.2. REAÇÃO DO PAC

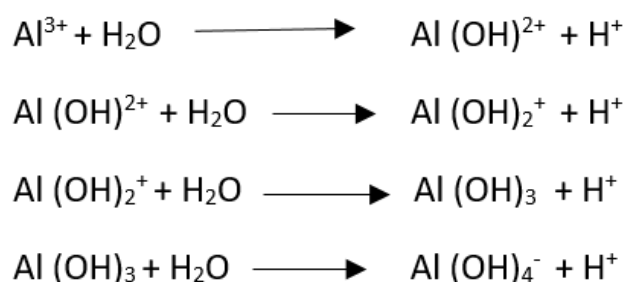
Quando o PAC é inserido na água, ocorre sua dissociação, originando vários complexos hidrolisados, podemos ver a representação desta dissociação do PAC em água, conforme a reação química a seguir:



A formação dos complexos hidrolisados:



Figura 2 – Reação de hidrólise.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

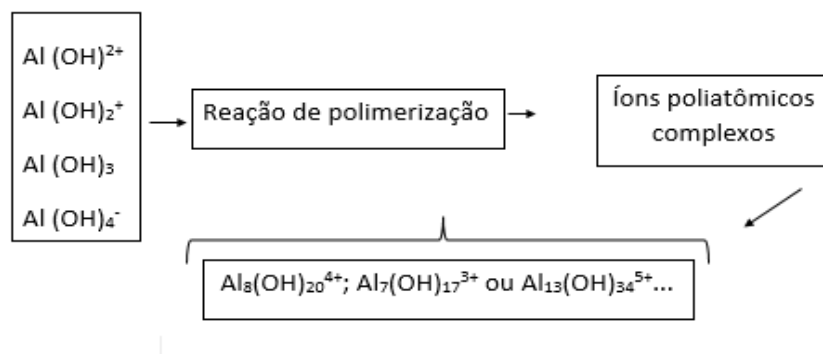
Quando adicionamos substâncias carregadas positivamente à água, elas podem se ligar às partículas carregadas negativamente, o que reduz a repulsão entre elas resultando na neutralização parcial da carga das partículas coloidais, isso permite que as partículas se aglomerem.

Esse processo ocorre devido à presença significativa de íons hidroxila (OH^-) em alta concentração, que por meio de ligações de coordenação se ligam aos átomos de alumínio nas moléculas dos coagulantes pré-polimerizados, nesse caso, o PAC. Essa interação resulta na formação de grupos de partículas, chamados flocos, que têm a capacidade de envolver e adsorver substâncias iônicas e moleculares ao longo de sua superfície. O processo ocorre da seguinte forma:

- Hidrólise e desestabilização das partículas por meio de adsorção simples;

- A formação de produtos da hidrólise que passam por reações de polimerização, resultando em cadeias tridimensionais extensas com extremidades ativas;
- A capacidade dessas cadeias de serem prontamente adsorvidas nos sítios de adsorção vazios das partículas coloidais presentes na suspensão, com as extremidades estendidas na água;
- As extremidades aderem a outras partículas coloidais que também possuem sítios de adsorção vazios, criando aglomerados esponjosos de partículas de suspensão ligadas por cadeias poliméricas;
- Quando esses aglomerados sedimentam, eles realizam uma varredura, arrastando consigo na precipitação novas partículas que se incorporam aos flocos em formação.

Figura 3 – Reação de polimerização do hidróxido de alumínio.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

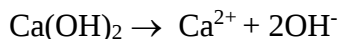
3.3.3. REAÇÕES DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

O hidróxido de cálcio, é uma base forte obtida através da calcinação do carbonato de cálcio, e a reação deste com o óxido de carbono leva à formação do carbonato de cálcio. Essas reações podem ser representadas da seguinte forma:

- Calcinação do carbonato de cálcio: $\text{CaCO}_{3(s)} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_{2(g)}$
- Hidratação do óxido de cálcio: $\text{CaO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_{2(s)}$
- Reação com o dióxido de carbono para formar carbonato de cálcio:

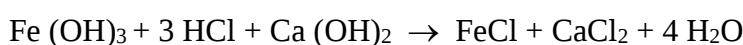
$$\text{Ca(OH)}_{2(s)} + \text{CO}_{2(g)} \rightarrow \text{CaCO}_{3(s)}$$

Quando for dissociado, terá a seguinte reação:

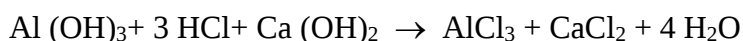


Quando há a adição do Hidróxido de Cálcio em um meio aquoso, tendo a presença dos agentes da coagulação, Cloreto Férrico ou PAC, encontramos as reações de neutralização.

Começamos examinando a reação de neutralização do Cloreto Férrico, na qual observamos que o Fe (OH)_3 reage com o HCl , resultando na formação de FeCl , enquanto o Ca (OH)_2 reage com o HCl , originando CaCl_2 e, conseqüentemente, liberando moléculas de H_2O . Abaixo está representada a equação química correspondente:



Neste momento, prosseguimos com a análise da reação de neutralização do Policloreto de Alumínio (PAC). O Al (OH)_3 reage tanto com o HCl quanto com o Ca (OH)_2 , levando à formação dos respectivos cloretos, AlCl_3 e CaCl_2 , enquanto simultaneamente ocorre a liberação de moléculas de H_2O . Portanto, essas reações de neutralização desempenham um papel crucial na regulação do pH do ambiente.



3.4 INVESTIGAÇÃO

Realizou-se uma investigação com base na historização de dados em um período de um ano, entre os meses de agosto de 2022 a agosto de 2023, para se obter valores de dosagens referente ao uso do coagulante Cloreto Férrico e ao uso do agente alcalinizante Ca(OH)_2 que vem sendo utilizado na ETA de Jaguariúna. De acordo com as informações obtidas, o valor de dosagem médio de coagulante foi de aproximadamente 118 mg/L, e de Ca(OH)_2 53,41mg/L.

3.4.1. CÁLCULO DE DOSAGEM

Para se calcular a dosagem aproximada no processo da ETA de Jaguariúna, realizou-se os seguintes cálculos relacionados abaixo:

$$\text{DOSAGEM} = (\text{C} \times \text{Q}_{\text{dos}}) / \text{Q}_{\text{ETA}}$$

Onde C representa a concentração da solução em g/L, quando tal reagente não for diluído previamente, a sua concentração é representada pela sua densidade em gramas x litros (g/mL ou g/cm³) x1000.

Q_{dos} representa a vazão da dosagem em mL/s ou L/h, e Q_{ETA} representa a vazão da ETA em L/s ou m³/h.

Dosagem de Cloreto Férrico

FeCl₃ liq. (cloreto férrico) 255mL/15s na base úmida

$$d = 1,4\text{g/mL}$$

$$Q_{\text{ETA}} = 203\text{L/s}$$

$$C = 1,4\text{g/mL} \times 1000 = 1400\text{g/L}$$

$$Q_{\text{dos}} = (255\text{mL} = 0,255\text{L}/15\text{s}) \times 3600 = 61,2 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{ETA}} = 203\text{L/s} \times 3,6 = 731\text{m}^3/\text{h}$$

$$\text{DOSAGEM (FeCl}_3) = (C \times Q_{\text{dos}}) / Q_{\text{ETA}}$$

$$(1400\text{g/L} \times 61,2\text{L/h}) / 731\text{m}^3/\text{h} = 118\text{g/m}^3 = \text{mg/L}.$$

Dosagem de Ca(OH)₂

Ca(OH)₂ em suspensão 132,3mL/15s na base úmida.

$$d = 1,22 \text{ g/mL}$$

$$Q_{\text{ETA}} = 203\text{L/s}$$

$$C = 1,22\text{g/mL} \times 1000 = 1220 \text{ g/L}$$

$$Q_{\text{dos}} = (132,3\text{mL} = 0,132\text{L}/15\text{s}) \times 3600 = 32\text{L/h}$$

$$Q_{\text{ETA}} = 203\text{L/s} \times 3,6 = 731\text{m}^3/\text{h}$$

$$\text{DOSAGEM Ca(OH)}_2 = (C \times Q_{\text{dos}}) / Q_{\text{ETA}}$$

$$\text{DOSAGEM Ca(OH)}_2 = (C \times Q_{\text{dos}}) / Q_{\text{ETA}}$$

$$(1220\text{g/L} \times 32\text{L/h}) / 731\text{m}^3/\text{h} = 53,41 \text{ g/m}^3 = \text{mg/L}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios com os dois coagulantes inorgânicos, visando a obtenção das dosagens ótimas e de maior eficiência. Inicialmente, variaram-se as concentrações na escala de 5mg.L^{-1} em cada jarro ao redor dos ensaios, baseando-se na eficiência dos coagulantes, sendo usadas várias concentrações para atingir a dosagem ideal. Ao todo, foram realizados dois ensaios de Jar-test contendo 6 jarros em cada um deles. Posteriormente, realizaram-se ensaios durante o período de 2 meses, em clima de estiagem e chuva, variando a característica da amostra, e observou-se a ação dos coagulantes individualmente, por meio de ensaios laboratoriais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA E DOSAGEM IDEAL DOS COAGULANTES INORGÂNICOS

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises físico-químicas da água bruta, visto que, a alíquota coletada e apresentada nesta tabela, é sem nenhum tipo de coagulante ou outro agente químico. Sendo assim, essa água foi utilizada nos ensaios da Estação de Tratamento para obtenção da dosagem ideal dos coagulantes inorgânicos no processo de clarificação. Conforme os dados, as condições pontuais do pH e da turbidez da água, influenciaram em uma proporção menor da dosagem, já que o pH se encontrava neutro e a turbidez baixa.

Tabela 1 - Características Físico-químicas da Água bruta.

Água bruta	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (mg Pt-Co/L)
20 L	7	4,98	47

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para a determinação da dosagem ideal dos coagulantes inorgânicos, foram realizados doze ensaios, sendo um ensaio por jarro, com dosagens pré-estabelecidas, e cada jarro contendo um litro de água.

A tabela 2 determina a dosagem do coagulante PAC 10% líquido, mediante as aplicações e análises dos parâmetros, sem a correção prévia de pH via uso de agente alcalinizante. O ensaio que obteve a melhor eficiência para o Policloreto de Alumínio se

encontra na dosagem de 40 mg/L, que após 30 minutos da aplicação do coagulante apresentou uma redução de turbidez e cor, sendo respectivamente, de 92% e 85%.

Tabela 2 – Dosagem Ideal do coagulante PAC.

PAC 10% liq.		Água Decantada			
Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente mg (Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente mg (Pt-Co/L) após 30'
30	6,83	0,60	0,40	9	8
35	6,73	0,48	0,41	11	8
40	6,75	0,57	0,39	8	7
45	6,69	0,82	0,57	10	8
50	6,69	0,94	0,82	11	10
55	6,68	1,25	1,01	12	12

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A determinação da dosagem ideal do Cloreto Férrico, fundamentou-se na eficiência do coagulante PAC, visto que, entre as dosagens pré-estabelecidas, foi possível obter efetividade. Desse modo, foram realizados ensaios com dosagens semelhantes aos testes do PAC, em função de sua dosagem ótima. Dado que, o Cloreto Férrico é um coagulante muito utilizado na Estação de Tratamento, sabe-se que há a necessidade de auxílio de um agente alcalinizante para que o pH esteja dentro de sua faixa ótima. Sendo assim, realizou-se uma prévia alcalinização da água bruta, dosando-se aproximadamente 20 mg/L de Cal hidratada Ca(OH)_2 na amostra analisada, elevando o pH que inicialmente era 7,0 para 7,5. Conforme tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Correção de alcalinidade.

Dosagem (mg/L)	pH
20	7,50

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Os ensaios para determinação da dosagem ideal de Cloreto Férrico, estão relacionados na tabela 4. Conforme os resultados, o ensaio que obteve a melhor eficiência se apresenta na dosagem de 40 mg/L, que após 30 minutos da aplicação do coagulante apresentou uma redução de turbidez e cor, sendo respectivamente, de 89% e 81%.

Tabela 4 - Dosagem Ideal do coagulante Cloreto Férrico.

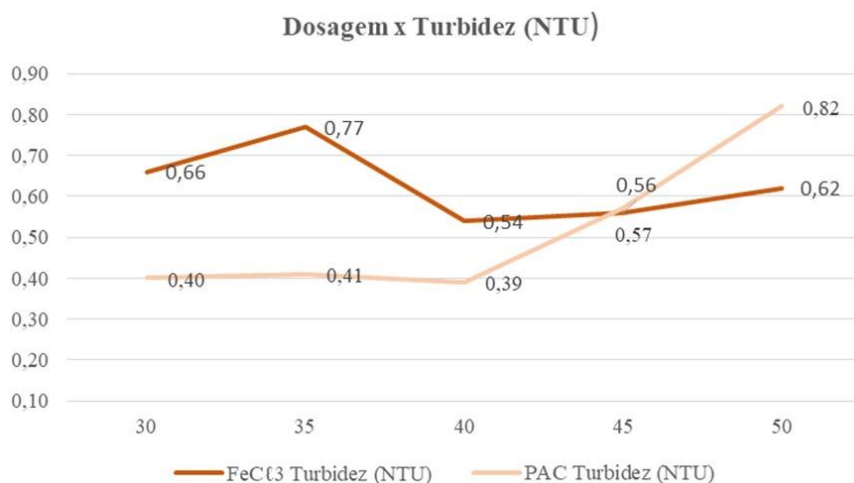
FeCl ₃ 10% liq.		Água Decantada			
Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente mg (Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente mg (Pt-Co/L) após 30'
25	6,89	1,37	1,30	33	28
30	6,87	0,74	0,66	17	12
35	6,98	0,82	0,77	16	15
40	6,79	0,73	0,54	15	9
45	6,7	0,71	0,56	10	10
50	7,1	0,90	0,62	11	7

Fonte: Elaborada pelas autoras.

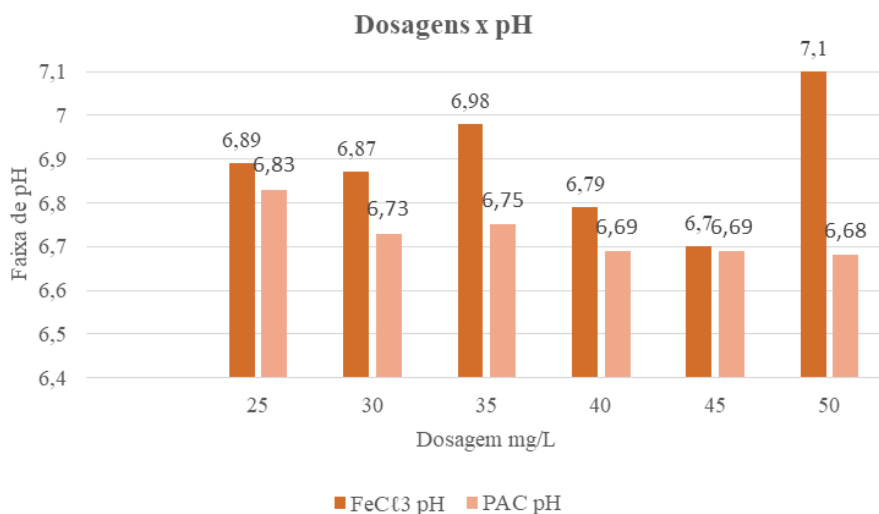
Os gráficos abaixo apresentam uma análise comparativa dos dados obtidos nos ensaios para determinar a dosagem ideal dos coagulantes Policloreto de Alumínio e Cloreto Férrico.

Na figura 4 observa-se que, na faixa de 30 a 40 mg/L, o PAC apresenta uma turbidez significativamente inferior à do Cloreto Férrico, e torna-se superior nas dosagens seguintes. Esse fenômeno ocorre devido à necessidade de controlar a dosagem do PAC dentro da faixa ótima, pois o excesso desse coagulante resulta em uma saturação que eleva a turbidez acima dos níveis do Cloreto Férrico. Ou seja, torna-se necessário empregar uma quantidade menor de PAC para alcançar uma turbidez satisfatória em comparação com a quantidade necessária de Cloreto Férrico.

Figura 4 - Comparação das dosagens e turbidez dos coagulantes.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 5 - Dosagens do Coagulante e análise do pH.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na figura 5, o gráfico apresenta a comparação da dosagem com a alteração do pH da água bruta, com a adição de coagulante inorgânico, percebe-se que o Cloreto Férrico chega mais perto do pH ótimo (pH em 7) do que o PAC, isso porque neste caso o Cloreto estava associado ao alcalinizante a Cal Hidratada (tabela 3), que regula o seu pH, já o PAC estava operando sem nenhum auxílio nesse sentido.

4.2 ESTUDOS DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DO RIO JAGUARI

Em um período de dois meses, realizou-se um estudo laboratorial das características da água, mediante as condições climáticas chuvosas e de estiagem, visando comparar as variações de turbidez e cor nas águas do Rio Jaguari. Desse modo, obtendo-se uma avaliação da ação dos agentes coagulantes com base na maior eficiência deles.

A tabela 5 exhibe os aspectos da amostra (Afluente in-natura) coletados durante o período de 2 meses, sem correção prévia de pH via cal hidratada para a avaliação do comportamento do coagulante PAC.

Tabela 5 – Características Físico-químicas da amostra Afluente in-natura.

Água bruta (Jarros de 1L)	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (mg Pt-Co/L)
1	6,50	318	2146
2	6,45	33,9	264
3	6,64	28,2	222
4	6,64	28,2	222
5	6,64	28,2	222
6	6,37	15,4	140
7	6,39	16,6	150
8	6,44	16,9	146

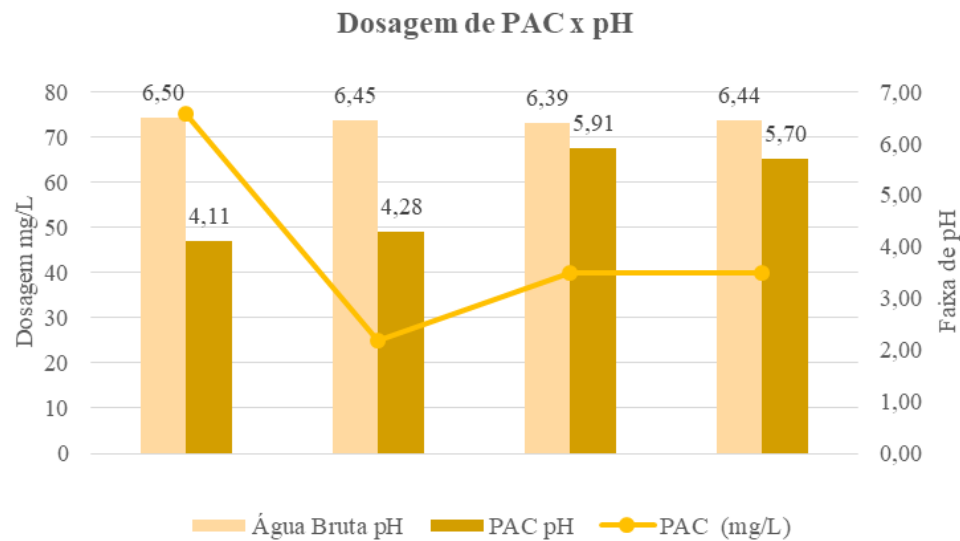
Fonte: Elaborada pelas autoras.

A tabela 6 representa os ensaios realizados para a obtenção da eficiência comportamental do coagulante PAC, com base nos aspectos físico-químicos da amostra. Para realizar uma comparação com maior propriedade, foi utilizado como parâmetros de avaliação as dosagens de 75 mg/L e 50 mg/L, visto que, essas foram trabalhadas em especial, pois fazem parte da mesma coleta da água bruta. Dessa forma, após a adição do coagulante, foi possível concluir que, a dosagem que se obteve o melhor desempenho foi a de 50 mg/L, pois apresentou o menor decréscimo de pH, especificamente, 7%.

Tabela 6 – Avaliação da ação do agente coagulante PAC em condições variadas da água.

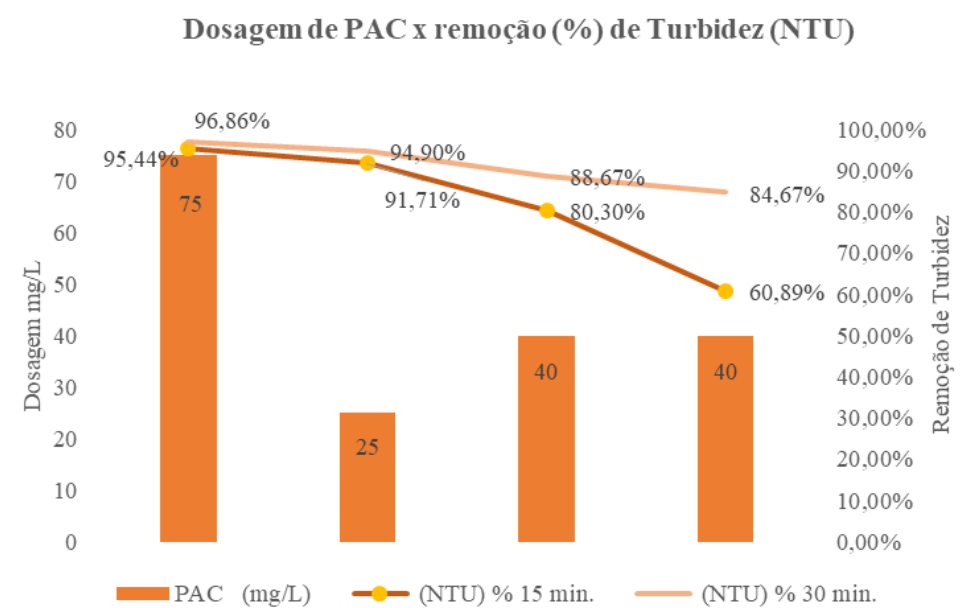
PAC 10% líq.	Coagulação	Adição de Ca(OH)₂	Floculação	Água Decantada				
Dosagem (mg/L)	pH	Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 30'	pH após 30'
75	4,11	95	7,44	14,5	9,99	104	70	7,22
25	4,28	95	6,54	2,81	1,73	31	17	6,71
125	5,54	70	8,49	4,54	2,15	40	25	8,08
75	6,13	25	7,59	4,92	1,70	43	25	7,40
50	6,15	15	6,62	6,95	2,63	52	23	6,74
30	5,76	30	6,60	4,31	2,80	39	26	6,73
40	5,91	35	8,20	3,27	1,88	34	24	8,12
40	5,70	25	6,95	6,61	2,59	56	26	7,10

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 6 - Comparação do comportamento de pH na ação das variáveis dosagens.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para avaliar o comportamento do pH, trabalhou-se com quatro dosagens de PAC. Mediante a isso, foi possível observar que ao adicionar o coagulante na água bruta (de diferentes coletas), ocorre uma redução do pH acidificando o meio. Portanto, analisando seu desempenho, conclui-se que, a dosagem de 40 mg/L apresentou o melhor resultado, pois decaiu 11% do potencial hidrogeniônico.

Figura 7 - Comparação do parâmetro de turbidez x dosagem de PAC.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

O gráfico da figura 7, evidencia a remoção da turbidez e a clarificação da água ao longo de períodos de 15 minutos e 30 minutos. Nota-se que a dosagem ótima de 40mg/L de PAC resulta em uma clarificação de 84,67%.

A tabela 7 fornece os aspectos da amostra (Afluente in-natura) coletados durante o período de 2 meses, sem correção prévia de pH. via cal hidratada para a avaliação do comportamento do coagulante Cloreto Férrico.

Tabela 7 – Características Físico-químicas da amostra Afluente in-natura.

Água Bruta (Jarros de 1L)	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (mg Pt-Co/L)
1	6,30	22	180
2	6,50	318	2146
3	6,45	33,9	264
4	6,39	16,6	150
5	6,44	16,9	146

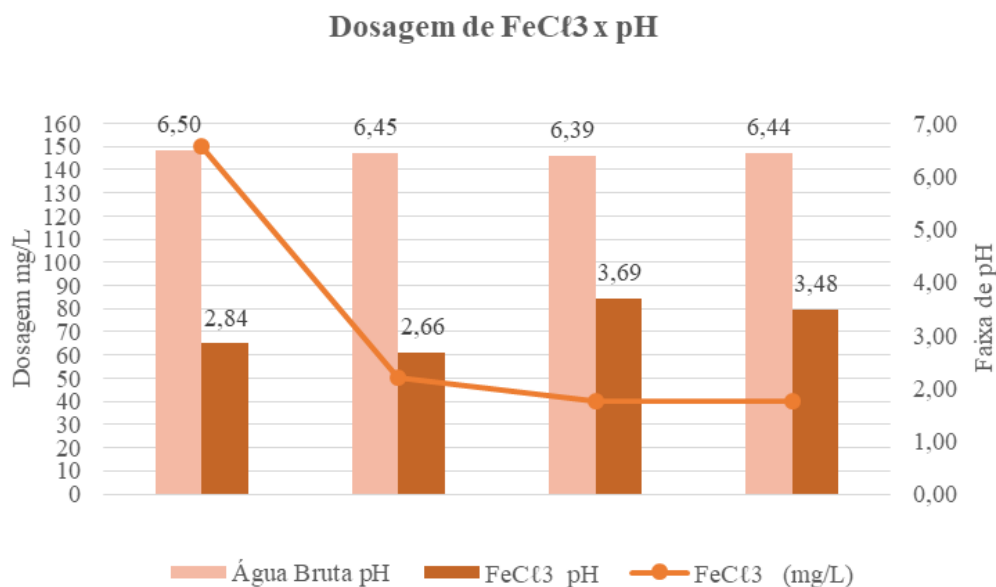
Fonte: Elaborada pelas autoras.

A tabela 8 apresenta as características da amostra após a adição do coagulante Cloreto Férrico. Através dos dados, foi possível notar que, após a adição do coagulante nos ensaios, o pH diminui drasticamente, sendo necessário adicionar as dosagens de hidróxido de cálcio para chegar no pH ideal. Além disso, identificou-se uma variação no tempo de reação do coagulante, consequentemente, modificações nos parâmetros de cor e turbidez.

Tabela 8 – Avaliação da ação do agente coagulante Cloreto Férrico em condições variadas da água.

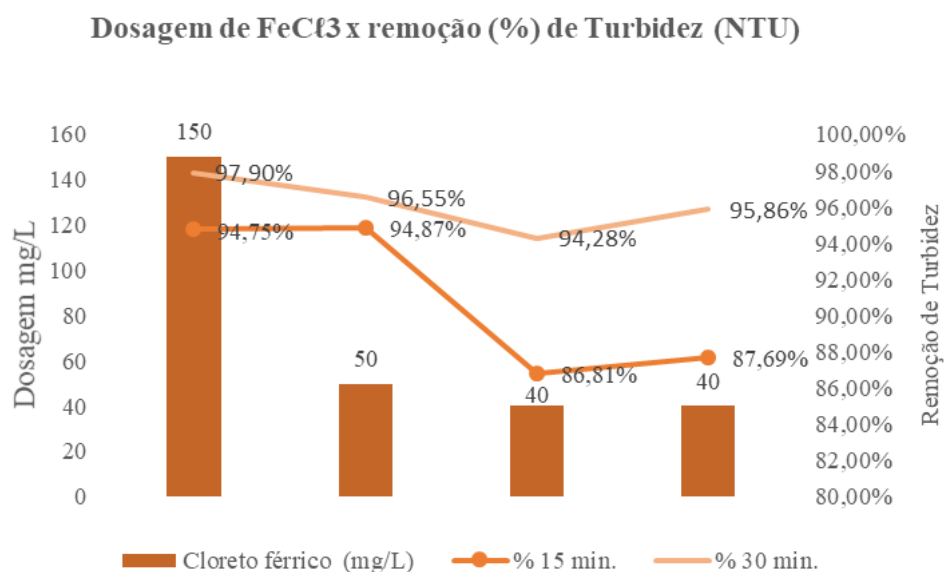
Cloreto Férrico 10% líq.	Coagulação	Adição de Ca(OH) ₂	Floculação	Água Decantada				
Dosagem (mg/L)	pH	Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 30'	pH após 30'
50	3,9	20	7	2,9	1,97	-	0,39	7,02
150	2,84	200	8,2	16,7	6,67	137	55	7,65
50	2,66	365	6,7	1,74	1,17	38	30	6,9
40	3,69	85	8,19	2,19	0,95	40	27	7,92
40	3,48	75	6,95	2,08	0,7	24	12	7,1

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 8 – Dosagem do Cloreto Férrico e pH.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na figura 8, o gráfico demonstra a mudança de comportamento do pH na água bruta, através da avaliação de dosagens do Cloreto em amostras discrepantes. Desse modo, ainda diante das circunstâncias e características diversas das águas coletadas, foi possível concluir que, mediante a aplicação do coagulante, o pH apresentou uma redução exorbitante acidificando o meio, tornando-se necessário a ação da cal hidratada.

Figura 9 - Dosagem de Cloreto Férrico e sua Turbidez.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na figura acima, o gráfico exibe o poder de redução da turbidez para a dosagem de coagulante nos respectivos tempos 15 e 30 minutos. Observa-se que, no instante 30 a remoção de turbidez foi mais eficiente com uma diferença em média de 3 a 10% entre si. Concluindo-se que, o Cloreto Férrico necessita de um tempo maior de contato para haja a remoção maior de turbidez.

Tabela 9 – Água Bruta sem Hidróxido de Cálcio.

Água bruta (Jarros de 1L)	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (mg Pt-Co/L)
1	6,25	12,40	117
2	6,3	13,70	122

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na tabela 9 temos a representação da água bruta sem correção de pH com a cal hidratada, o afluyente está in-natura. Após a coleta desses dados, foi realizado uma pré-alcalinização dessa amostra com agente Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), observando-se quanto há de alteração do pH (a amostra se encontra sem o coagulante neste momento).

Tabela 10 – Correção prévia de pH, via uso de agente alcalinizante Ca(OH)_2 .

Ensaio VII (Jarros de 1L)	(mg/L)	pH
1	40	8,2
2	64	8,3

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A tabela 11 apresenta resultados após uma correção de pH, com o agente alcalinizante o Ca(OH)_2 , essas dosagens foram usadas no ensaio do Policloreto de Alumínio, sendo possível notar que mesmo com a correção prévia de pH, o coagulante inorgânico acidificou o meio e baixou o pH da água, o que torna indispensável o reajuste após a etapa de coagulação. Portanto, esse ajuste se faz necessário na etapa de floculação, para que o pH esteja dentro da sua faixa ótima e colabore para uma boa formação de flocos.

Tabela 11 – Ajuste de pH com o hidróxido de cálcio na água com o coagulante PAC.

PAC 10% líq.	Coagulação	Adição de Ca(OH)₂	Floculação	Água Decantada				
Dosagem (mg/L)	pH	Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 30'	Ph após 30'
30	6,38	25	7,88	4,77	1,95	64	26	7,55
40	6,15	25	8,30	5,65	3,08	48	34	8,08

Fonte: Elaborada pelas autoras.

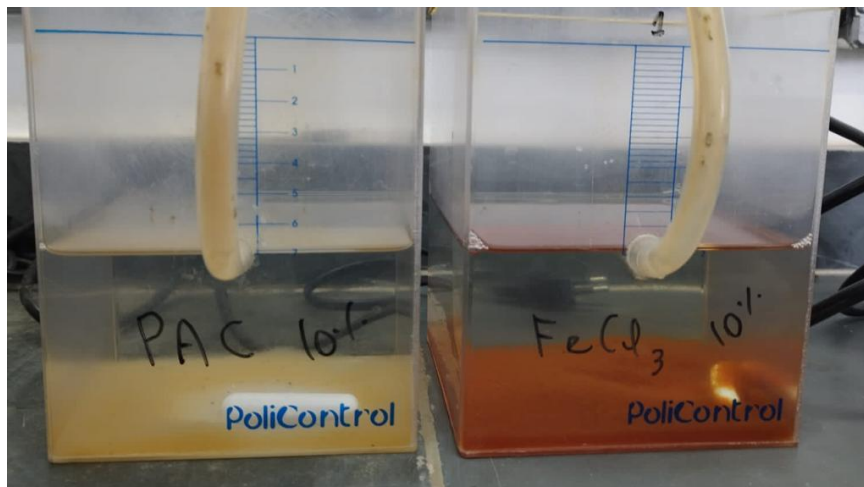
Tabela 12 – Ajuste de pH com o hidróxido de cálcio na água com o coagulante Cloreto Férrico.

Cloreto férrico 10% líq.	Coagulação	Adição de Ca(OH)₂	Floculação	Água Decantada				
Dosagem (mg/L)	pH	Dosagem (mg/L)	pH	Turbidez (NTU) após 15'	Turbidez (NTU) após 30'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 15'	Cor aparente (mg Pt-Co/L) após 30'	pH após 30'
30	5,11	35	7,88	11,6	1,07	44	23	7,45
40	3,76	65	8,3	2,98	1,41	66	32	7,99

Fonte: Elaborada pelas autoras.

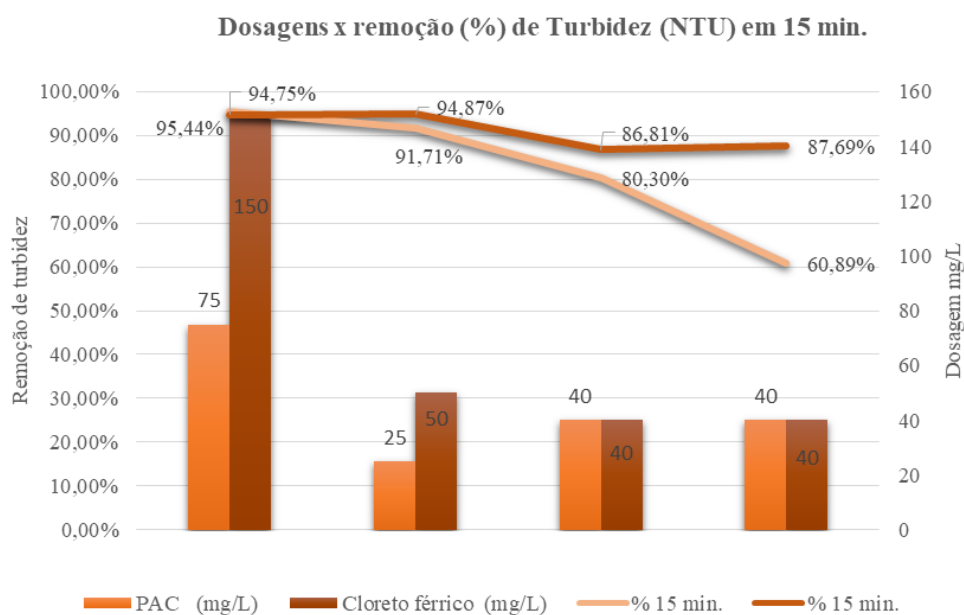
Os resultados apresentados na tabela 12, demonstram o comportamento da amostra após correção prévia do pH, como citado no item acima (Tabela 11). Nos ensaios com o coagulante Cloreto Férrico, observa-se que, é necessária uma maior quantidade do alcalinizante Ca(OH)₂, pois o Cloreto acidifica muito mais o pH da amostra comparado ao PAC. Dessa forma, sendo a adição da cal maior para se obter uma faixa de pH ótima, e conseqüentemente gerando uma maior quantidade de resíduos sólidos (lodo) no fundo de cantador conforme pode-se observar na figura a seguir.

Figura 10 – Produção de lodo em função dos coagulantes inorgânicos.



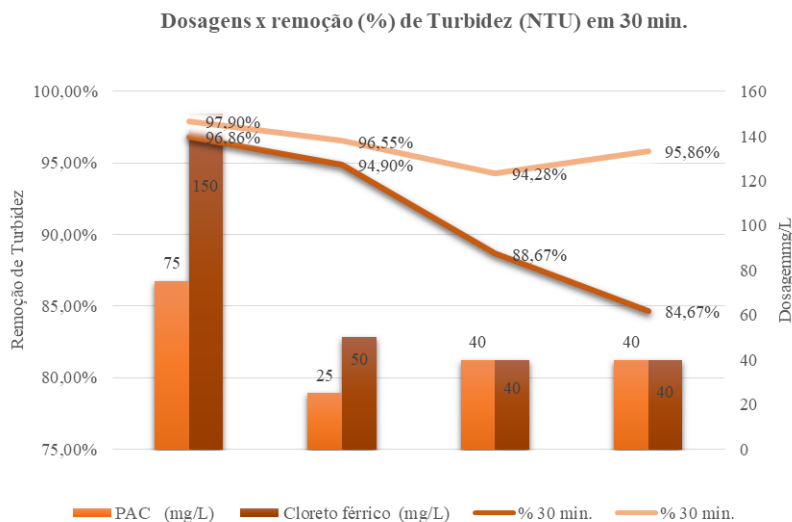
Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 11 - Comparação do PAC x Cloreto em 15 min.



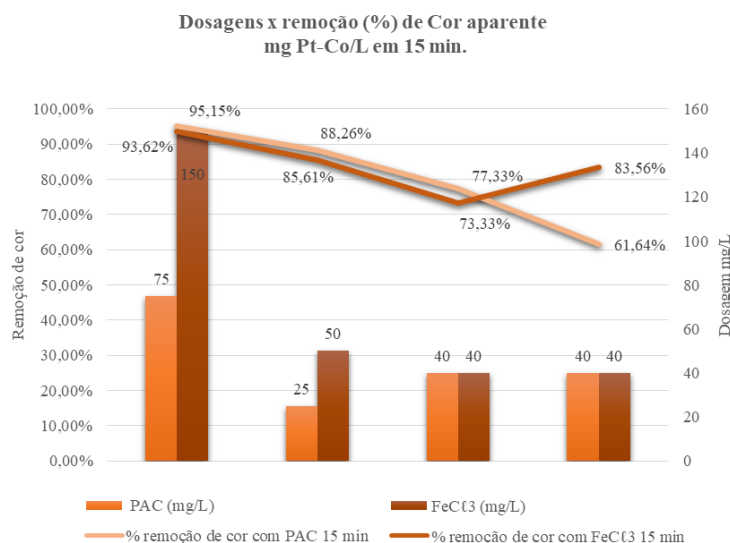
Fonte: Elaborada pelas autoras.

A representação gráfica numerada como Figura 11, traz os dados comparativos do poder de remoção da turbidez, comparando as dosagens aplicadas de cada coagulante no tempo de 15 min. A dosagem do PAC foi menor que a do cloreto em alguns casos, tendo-se a redução de turbidez quase no mesmo desempenho tendo pouca diferença entre eles. Destacando-se em um poder maior de remoção.

Figura 12 – Comparação do PAC x Cloreto em 30 min.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

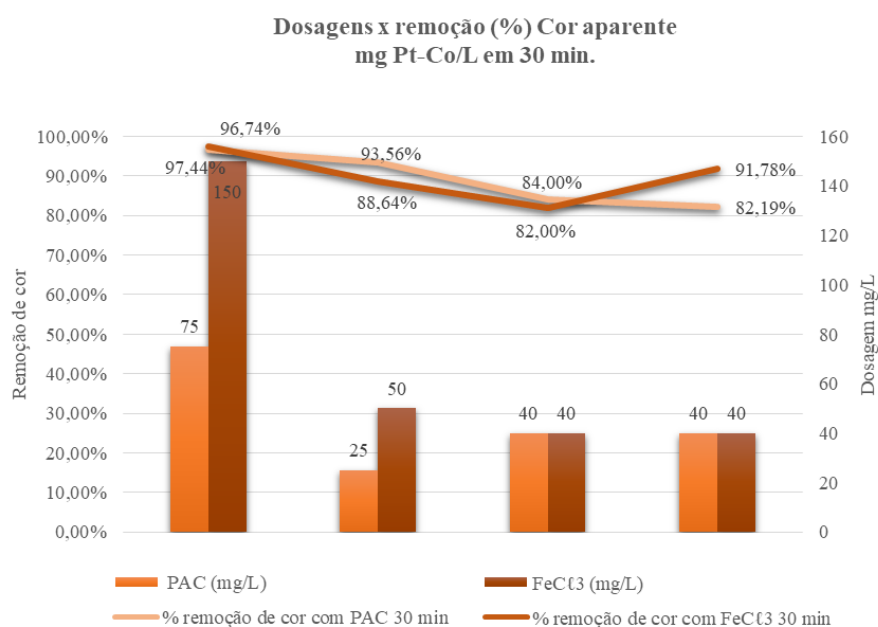
Na figura 12, temos a representação gráfica do poder de remoção de turbidez dos coagulantes no tempo de 30 min, comparando com o gráfico anterior (na figura 9), o desempenho dos dois foram parecidos, porém, o PAC necessitou de uma dosagem menor em alguns ensaios para clarificar a água. Comparando nas dosagens de 40 mg/L que foi igualmente para os dois coagulantes, o Cloreto Férrico já não teve exatamente a mesma eficiência, tendo uma redução de 88,67% e 84,67% e o PAC 94,28% e 95,86%, respectivamente.

Figura 13 – Remoção de cor com os coagulantes em 15 min.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A figura 13, apresenta o gráfico que demonstra o comparativo do poder da remoção de cor da água bruta, quanto as dosagens dos coagulantes. É possível notar que assim como na remoção de turbidez expressa nas figuras 7 e 8, o PAC atuou com 50% menor consumo de coagulante nas duas primeiras dosagens, e teve o seu poder de remoção próximo ao do Cloreto Férrico, que pode se perceber que na última dosagem se destacou com maior poder de remoção, especificamente os 83,56% na dosagem de 40 mg/L.

Figura 14 - Remoção de cor com os coagulantes em 30 min.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

O gráfico da figura 14 expressa o poder de remoção de cor quanto as dosagens dos coagulantes em 30 min, observa-se que se teve uma alteração nas duas primeiras dosagens comparado com o gráfico anterior (figura 9), já nas dosagens seguintes o Coreto Férrico deu um salto no seu poder de remoção de cor, clarificando 97,44% na dosagem de 150 mg/L, em questão de dosagem o PAC continua tendo uma boa comparação.

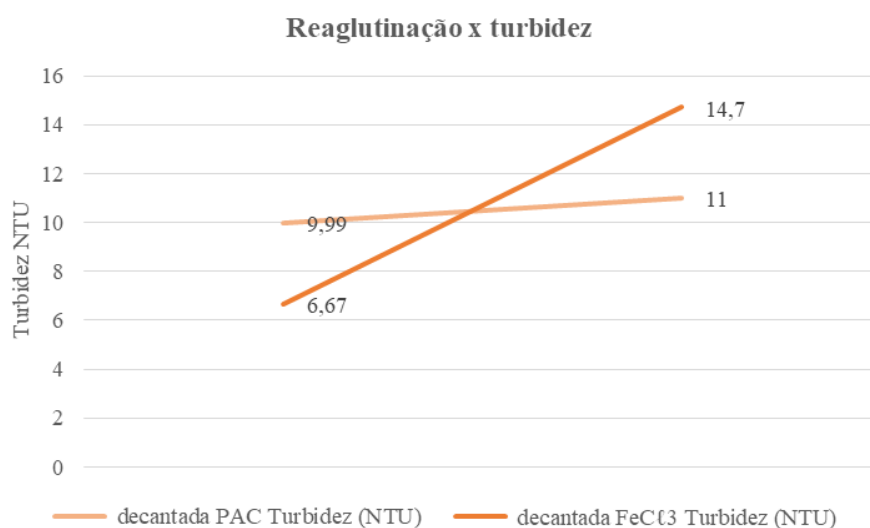
4.3 AVALIAÇÃO DO PODER DE REAGLUTINAÇÃO

Para avaliar a capacidade de reaglutinação dos coagulantes, após os flocos formados se promoveu uma agitação no gradiente de mistura rápida, (1400 RPM) por 40 segundos, para ter a quebra, após isso, diminuiu-se a velocidade a um gradiente de mistura lenta (40 RPM) por 10 min, e aguardou-se 30 min para a sedimentação. Retirou-se uma alíquota, e mediu os parâmetros físico-químicos das amostras.

A seguir, as figuras 15 e 16 representam o quanto cada coagulante foi eficiente em remover a turbidez e cor da água mesmo após uma perturbação no meio do processo. Foi realizado a quebra dos flocos depois de aglutinados, para saber como seria o processo de reaglutinação dos coagulantes, e comparação de cor e turbidez.

A figura 15, na primeira fase, tem por comparação as tabelas 7 e 8, jarro 2 e dosagem 150 mg/L para o Cloreto e 75 mg/L para o PAC, se tem a turbidez de 6,67 do Cloreto, que corresponde a formação dos flocos iniciais, e o 14,7 após, a “quebra” dos flocos e a reaglutinação deles, tendo uma recuperação de 95,38% e uma redução da eficiência de 2,53% da remoção da turbidez. Já o PAC, inicialmente a turbidez estava em 9,99 e 11 após a reaglutinação. Dessa forma, nos ensaios de PAC o poder de reaglutinação na remoção de turbidez foi de 96,54%, resultando numa redução de eficiência de 0,32%, respectivamente.

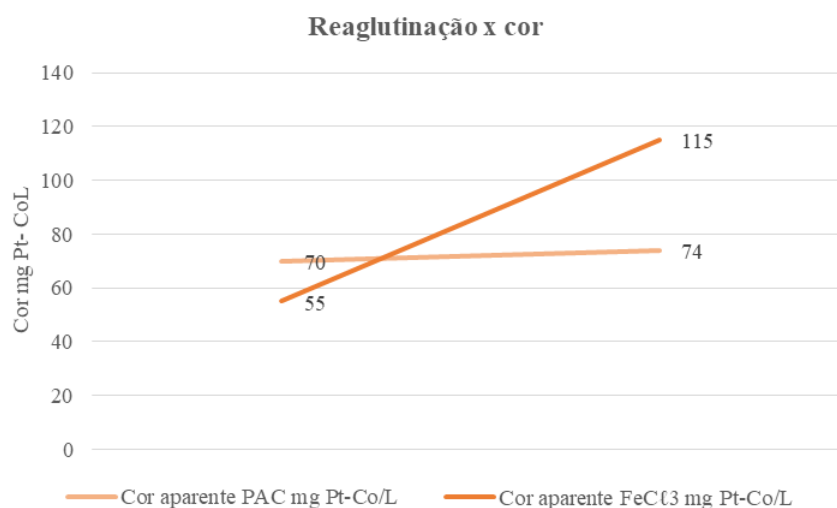
Figura 15 - Poder de reaglutinação e a turbidez.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

A figura 16, demonstra a comparação de cor da água, quando aconteceu a primeira formação dos flocos, e pós a “quebra” dos flocos. Tendo comparação com os dados iniciais das tabelas 7 e 8, jarro 2 e dosagem em 150 mg/L para o Cloreto e 75 mg/L para o PAC. O Cloreto Férrico, na primeira formação dos flocos teve a cor em resultado 55 e após fragmentar os flocos, a cor ficou em 115, comparando com a água bruta teve uma melhoria de 94,64% e uma redução da eficiência de 2,80%, respectivamente. E a comparação do PAC, inicialmente da formação teve um resultado em cor de 70 e após, 74, tendo uma melhoria de 96,55% e uma redução de eficiência de 0,19% de cor, respectivamente.

Figura 16 – Poder de reaglutinação e a cor.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

4.4 HISTORIZAÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA

Através da investigação de dados, foi possível calcular as médias dos gastos quanto ao consumo de Cloreto Férrico e Cal hidratada no processo de tratamento de Água na ETA de Jaguariúna. Como mencionado anteriormente, o Cloreto Férrico, por ser um coagulante presente no dia a dia da ETA, se tem registros conforme a representação da tabela 13, que é a média mensal de vazão e o consumo de FeCl₃, na estação (no período de um ano).

Tabela 13 - Controle de vazão e dosagens do coagulante e alcalinizante.

Meses	Vazão	Dosagem FeCl₃ mg/L	Dosagem Ca(OH)₂ mg/L
ago/22	485.004,0	118	37
set/22	512.883,0	82	25
out/22	540.550,0	131	15
nov/22	491.666,0	143	57
dez/22	519.994,0	161	63
jan/23	542.063,0	131	52
fev/23	506.459,0	111	20
mar/23	559.958,0	150	18
abr/23	538.610,0	110	69
mai/23	543.830,0	96	103
jun/23	519.365,0	101	94
jul/23	528.667,0	93	136
ago/23	535.124,0	101	101

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 14 – Média de Vazão de Água e Consumo do FeCl₃.

Vazão média ETA / mês	Média de FeCl₃ / mês
524.936 m ³	61.775 kg

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Com base no consumo e o custo do Cloreto Férrico durante o processo de tratamento de água na Estação de Jaguariúna entre os meses de agosto de 2022 e agosto de 2023, foi possível realizar uma simulação de custos do coagulante PAC caso fosse implementado na ETA de Jaguariúna. Conforme descrito nas tabelas a seguir.

Tabela 15 – Custo unitário dos produtos químicos.

Produto Químico	Preço unitário
PAC (R\$/kg)	R\$ 1,92
FeCl ₃ (R\$/kg)	R\$ 1,45
CAL (R\$/kg)	R\$ 0,80

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 16 – Média mensal do custo de processo com FeCl₃.

Parâmetro	Média Mensal
Vazão ETA m ³	524.936
Consumo FeCl ₃ (kg/mês)	61.775
Custo FeCl ₃ (R\$/mês)	R\$ 89.573,75
Consumo Ca(OH) ² (kg/mês)	31.994
Custo Ca(OH) ²	R\$ 45.491,00
Custo total em produtos	R\$ 135.064,75
Custo do Processo em m ₃	R\$ 0,26

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 17 - Média mensal do custo de processo com PAC.

Parâmetro	Média Mensal
Vazão ETA m ³	524.936
Consumo PAC (kg/mês)	20.997
Custo PAC (R\$/mês)	R\$ 40.315,08
Consumo Ca(OH) ₂ (kg/mês)	13.123
Custo Ca(OH) ₂	R\$ 10.498,72
Custo total em produtos	R\$ 50.813,80
Custo do Processo em m ³	R\$ 0,10

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Através da comparação entre as tabelas 16 e 17, foi possível evidenciar que o consumo de PAC é significativamente menor que o consumo de Cloreto Férrico. Desta forma, apesar do PAC apresentar um valor maior que o do Cloreto Férrico, a redução do custo total no processo de tratamento da água seria de aproximadamente 62%, pela menor dosagem.

5 CONCLUSÃO

A utilização de coagulantes inorgânicos, especialmente os catiônicos pré-polimerizados, destaca-se por aprimorar o processo de floculação, resultando em flocos mais robustos. Essa característica promove uma decantação mais rápida, possibilitando maior eficiência no tratamento de água e, conseqüentemente, aumentando as vazões de processamento devido à redução do tempo necessário para uma decantação eficaz. Os flocos formados, a partir da utilização de um PAC são maiores e menos gelatinosos, porém, mais densos que os flocos formados a partir do emprego de sais não pré-polimerizados, como é o caso do coagulante Cloreto Férrico. Os ensaios de Jar-test foram uma ferramenta importante para se conhecer cada coagulante individualmente, a fim de estudar os parâmetros relacionados em cada etapa: coagulação - floculação- sedimentação, permitindo avaliar a eficiência na ação das dosagens de coagulante pela remoção da turbidez da água do rio Jaguari.

A partir do uso de um sal coagulante a necessidade do emprego de um agente alcalinizante diminui de modo expressivo, logo se houver a necessidade de aumento de pH (por exemplo, da água tratada final, ou mesmo para correções prévias em dias chuvosos, após um período de estiagem prolongado, onde se tem uma redução da alcalinidade natural), certamente a dosagem será muito menor em termos comparativos quanto do uso de um Cloreto Férrico, em consequência tem-se uma redução do volume de lama (sólidos aquosos) no interior do decantador.

Observou-se que as amostras não permaneceram consistentes ao longo dos ensaios, resultando em variações significativas nas dosagens quando comparadas à amostra de dosagem ideal. Essa inconsistência foi atribuída às mudanças climáticas durante a coleta, especialmente à elevação da turbidez nas amostras durante a segunda etapa dos ensaios devido à ocorrência de chuva.

O Cloreto Férrico demonstrou eficácia na remoção de turbidez, mas seu uso exigiu altas dosagens de alcalinizantes e coagulantes, resultando em custos elevados. Por outro lado, o PAC apresentou resultados próximos ao Cloreto Férrico, destacando-se pelo consumo menor de coagulante e agente alcalinizante, resultando em uma redução significativa nos custos finais de tratamento de água.

De modo geral, os dois coagulantes inorgânicos demonstraram eficiência na remoção de turbidez das águas do rio Jaguari. O policloreto de alumínio destacou-se como mais eficiente nos processos, pois necessitou de menores dosagens de coagulante, evitando a alteração demasiada de pH. Dessa forma, resultando em uma redução significativa no consumo de agente alcalinizante, e maior potencial na remoção de turbidez e cor em menores dosagens e tempo de decantação.

Comparando, à água tratada com o coagulante Cloreto Férrico em relação a água tratada pelo PAC pôde-se constatar, através das análises laboratoriais, que na água tratada com Cloreto Férrico, ocorreu uma redução na turbidez de aproximadamente de 67,32% , e na cor de 64,17%, sendo assim inferior comparado com a água tratada pelo PAC que se obteve uma redução de turbidez em 89,12% e cor 84,86% proporcionando a água, uma melhora de aproximadamente 21% a mais na qualidade em relação ao Cloreto Férrico. Economicamente falando, a substituição de um Cloreto Férrico por um PAC torna-se viável, já que reduzirá significativamente o custo final do m³ da água tratada, aproximadamente 62%.

Observa-se que foram realizados apenas ensaios testes, podendo depender de ajustes através de estudos mais detalhados e adaptações na estação de tratamento, podendo esperar-se resultados mais favoráveis da água de abastecimento e menores custos de processo caso inserido na ETA de Jaguariúna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 12.216 – **Projeto de Estação de Tratamento de Água para abastecimento público**. p. 18, abr 1992. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, 2017.

ABNT NBR 15784, **Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano** – Efeitos a saúde – Requisitos.

Artigo **Encontro dos Rios Jaguari e Camanducaia**. Disponível em <https://municipio.jaguariuna.sp.gov.br/cm/artigo/4/encontro-dos-rios-jaguari-e-camanducaia.html> . Acesso em 30/09/2023.

Augusto Alves Pimenta, J., Wilson dos Santos Ferreira, J., Henrique Garcez Nicolau, R., Elis Garcia Furuya, D., Maria Sotocorno e Silva, L., & José da Paz Júnio, G. (2018). **AVALIAÇÃO DO SULFATO DE ALUMÍNIO, POLICLORETO DE ALUMÍNIO E CLORETO FÉRRICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA BRUTA DO RIO SANTO ANASTÁCIO**. *Colloquium Exactarum*. ISSN: 2178-8332, 9(3), 38–56. Recuperado de <https://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2225>. Acesso em 30/09/2023.

BAUMAN, E. R. **water quality and treatment: a handbook of public water supplies**. 3. Ed. New York: Mcgraw-Hill, 1971.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA GM/MS Nº 888: Artigo publicado em 4 de maio de 2021**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em 27/09/2023.

BRASIL. SÃO PAULO. JAGUARIÚNA. **Estimativa IBGE**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/jaguariuna/panorama> Acesso em 27/09/2023.

Cacheira, C. Seabra, Santos, J. P. Sousa, Faria, J. P. Neto, Varandas, M. Mendes, Silva, M. F. de C. R. P. da Silva, Costa, M. Â. Pereira. **Processo de COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO**. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/bestof/12_13/files/REL_MIEA102_02.PDF. Acesso em: 21/10/2023.

CARLOS A RICHTER –**Água métodos e tecnologias de tratamento**. 1º ed – Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo – 2009.

CETESB / BNH / ABES. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**, 2º edição, 1976.

Cheng. **“Ensaio de Tratamento Físico-Químico de Água Potável por Coagulação-Floculação e Decantação.”** 2012.

Confederação Nacional de Municípios. **Brasileiro consome, em média, 154 litros de água por dia, aponta ONU.** Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/brasileiro-consume-em-media-154-litros-de-agua-por-dia-aponta-onu>. Acesso em: 14/10/2023.

Degani Vaduz. Indústria Química EIRELI. **Conheça os tipos de coagulantes para o tratamento de água.** 21/01/2022. Disponível em: <https://www.deganivaduz.com.br/conheca-os-tipos-de-coagulantes-para-tratamento-de-agua/#:~:text=Existem%20diversas%20vantagens%20em%20utilizar,acess%C3%ADvel%2C%20reduz%20o%20custo%20operacional>. Acesso em 02/09/2023.

DI BERNARDO, Luiz e DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** São Carlos: editora Rima. 2005. Acesso em 02/09/2023.

ECKENFELDER, W. Wesley. **Industrial Water Pollution Control.** 2 ed. **McGraw-Hill** (New York), 1989

FERRARI CONSTANTINO, A.; YAMAMURA, V. **REDUÇÃO DO GASTO OPERACIONAL EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O PAC.** [s.l: s.n.]. Disponível em: http://www.dec.uem.br/eventos/ii_simpgeu/arquivos/Trabalhos/146.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE PRODUTO QUÍMICO. **Cloreto Férrico.** Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=CLORETO%20F%20C%20R%20R%20I%20C%20O. Acesso em 02/09/2023.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE PRODUTO QUÍMICO. **Cloreto de alumínio.** Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=CLORETO%20DE%20ALUM%20C%20N%20I%20O#:~:text=QUEIMAR%20A%20PELE%2C%20PREJUDICIAL%20C%20SE%20INGERIDO.&text=MANTER%20AS%20P%20L%20PEBRAS%20ABERTAS%20E%20ENXAGUAR%20COM%20MUITA%20%20GUA. Acesso em 02/09/2023.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE PRODUTO QUÍMICO. **Hidróxido de cálcio em suspensão aquosa.** Disponível em: https://www.cesama.com.br/site/uploads/arquivos_editais/1920/162444592231017074406.pdf Acesso em: 08/09/2023.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**Coagulação e Floculação**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/coagulacao-floculacao.htm>. Acesso em: 08/09/2023.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2201>. Acesso em 30/09/2023.

FUNASA, **Manual prático de análise de água.** 1ª ed. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

HAROLD E. BABBITT, JAMES J. DOLAND, JOHN L. CLEASBY. **Abastecimento e água** – Editora Edgard Blucher Ltda. Rio de Janeiro, 1967.

MARQUES Flávia. **Abastecimento de água, saneamento, tratamento de água.** Artigo disponível em: <https://acquablog.acquasolution.com/entenda-o-que-e-coagulante-e-qual-sua-funcao-no-tratamento-de-agua/>. Acesso em 02/09/2023.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JAGUARIÚNA/SP, The Nature Conservancy – TNC, Cervejaria Ambev, Embrapa Meio Ambiente, Agência das Bacias PCJ, Agência Nacional de Águas – ANA. **Projeto para conservação e recuperação de mananciais no município de Jaguariúna.** Programa Bacias Jaguariúna. Disponível em: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/POR_Jaguari%C3%BAAna_SP_-_Programa_Bacias.pdf . Acesso em 02/09/2023.

REIS, ANA CAROLINA DE ASSIS. **TRATAMENTO DE ÁGUA: GRADIENTE DE VELOCIDADE NA COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO.** Disponível em: <http://dSPACE.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/426>. Acesso em: 08/09/2023.

Rôla, A. K. K., Castro, G. M. de, Santana, H. F., Souza, J. J. L. L. de, & Silva, D. de J. (2016). **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE COAGULANTES COMERCIAIS PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.** *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 2(3), 014–033. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl2iss3pp014-033>. Acesso em: 13/10/2023.

Santos Lemos, K., Quintino de Aguiar Filho, S., & Cavallini, G. S. (2020). **AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO FERROSO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.** *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins*, 7(1), 109–119. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uftv7-7824> . Acesso em 02/09/2023.

SECKLER, Sidney. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento.** 1º ed - Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro, 2017. Conhecimento sem fronteiras.

SILVEIRA, T. N., DOS SANTOS, W. B, PEQUENO, L. A. B., BARBOSA, M. G. N.; BRASILEIRO, W. B. **Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais.** *Revista Gesta*. V. 7, n. 1, edição especial, Juazeiro, BA, 2019. Disponível em http://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA6_ID2617_30072019101220.pdf Acesso em 02/09/2023.

SIQUEIRA, MARIA EMÍLIA TRANCHES - **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS E QUÍMICOS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PILOTO (ETA-PILOTO).** Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3753/1/000178428.pdf>. Acesso: 09/09/2023.

Vaz, LG de L., Klen, MRF, Veit, MT, da Silva, EA, Barbiero, TA, & Bergamasco, R. (2010). **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluentes de galvanoplastia.** *Eclética Química*, 35 (4), 45–54. Disponível em: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v35.4.2010.p45-54>. Acesso em 13/10/2023.