



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

IRYSLENE ALVES PIMENTA

**ANÁLISE DO SILICATO DE POTÁSSIO (K_2SiO_3) OBTIDO DA CASCA
DO ARROZ COMO COAGULANTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA
PARA CONSUMO HUMANO**

Palmas/TO
2019

IRYSLENE ALVES PIMENTA

ANÁLISE DO SILICATO DE POTÁSSIO (K_2SiO_3) OBTIDO DA CASCA DO ARROZ COMO COAGULANTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Artigo avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Mestre Tatiana Ferreira Wanderley.
Coorientador: Doutor Adão Lincon Bezerra Montel.

Palmas/TO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- P644a Pimenta, Iryslene Alves.
ANÁLISE DO SILICATO DE POTÁSSIO (K₂SiO₃) OBTIDO DA CASCA DO ARROZ COMO COAGULANTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO . / Iryslene Alves Pimenta. – Palmas, TO, 2019.
33 f.
- Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019.
Orientadora : Tatiana Ferreira Wanderley
Coorientador: Adão Lincon Bezerra Montel.
1. Tratamento de água.. 2. Casca de arroz.. 3. Silicato de potássio. . 4. Coagulante natural. . I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

IRYSLENE ALVES PIMENTA

ANÁLISE DO SILICATO DE POTÁSSIO (K_2SiO_3) OBTIDO DA CASCA DO ARROZ COMO COAGULANTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Artigo avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13 / 12 / 19

Banca Examinadora

Tatiana F. Wanderley

Prof. Mestre Tatiana Ferreira Wanderley, UFT.

Adão Lincon Bezerra Montel

Prof. Doutor Adão Lincon Bezerra Montel, UFT.

SBC

Prof. Mestre Sérgio Carlos Bernardo Queiroz, UFT.

Palmas-TO, 2019.

RESUMO

A qualidade da água dos mananciais tem diminuído devido aos crescentes impactos provenientes de ações antrópicas no meio ambiente. Dessa forma, para que esta atinja padrões de potabilidade e se torne própria para consumo humano, faz-se necessário métodos e técnicas de tratamento. A coagulação é fundamental para remoção de poluentes no processo de tratamento da água, sendo que os coagulantes comercialmente utilizados são majoritariamente a base de sais de alumínio. Entretanto, pelo emprego deste gerar resíduos que comprometam o equilíbrio do meio, são ambientalmente indesejáveis. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de produção de uma alternativa natural a esses coagulantes, utilizando como matéria prima a casca de arroz (biomassa amplamente disponível) e hidróxido de potássio. Foram realizados testes de coagulação com o produto obtido (silicato de potássio) e com o coagulante comercial (sulfato de alumínio) a fim de se obter um comparativo de eficiência. O resultado revelou que o material sintetizado atenuou os níveis de turbidez, mas não o suficiente para permitir classificá-lo como coagulante.

Palavras-chave: Tratamento de água. Casca de arroz. Silicato de potássio. Coagulante natural.

ABSTRACT

Quality on sources of water has been declining due to the increase of human activities that impact the environment. Thus, to achieve drinking water quality standards, it is necessary to apply methods and technics to treat it. Coagulation is essential to remove impurity in the water treatment process, with commercially used coagulants being mostly based on aluminum salts. However, the use of these coagulants aluminum based yields residues that compromise the environmental balance what become these compound undesirable. This paper has the objective of producing a natural alternative for comum coagulants, using rice husk (widely available biomass) and potassium hydroxide as raw material. Coagulation tests (Jar Tests) were performed with the product obtained (Potassium Silicate) and the commercial coagulant (Aluminum Sulphate) in order to obtain a comparative efficiency. The results indicate that the synthetized material attenuated the raw water turbidity levels, but not enough to allow to classificate it as a coagulant.

Key words: Water treatment. Rice husk. Potassium silicate. Natural coagulant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação das tecnologias de água	4
Figura 2-Partícula coloidal e sua DCE	16
Figura 3- Forças atuantes em uma partícula sólida em sedimentação	21
Figura 4- Ponto de Coleta da Água Bruta	23
Figura 5- Casca de arroz com reagente antes da queima	24
Figura 6- Ensaio 1: Ensaio de coagulação Sulfato de Alumínio	27
Figura 7- Teste 2: Ensaio de coagulação Sulfato de Alumínio	28
Figura 8-Silicato de Potássio: Coagulante produzido	28
Figura 9- Comparativo: coagulante comercial e coagulante sintetizado na pesquisa	29

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Coagulante mais utilizada na obtenção de água tratada	18
Quadro 1-Programação Jar Test	25
Quadro 2-Characterização da Água bruta	26
Quadro 3 - Resultados – Ensaio de coagulação $Al_2(SO_4)_3$	26
Quadro 4-Resultados – Ensaio de coagulação K_2SiO_3	29

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Al	Alumínio
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Alumínio
CaO	Óxido de Cálcio (Cal)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de Cálcio
ETA	Estação de Tratamento de Água
Fe	Ferro
FeCl_3	Cloreto Férrico
FeSO_4	Sulfato Férrico
KOH	Hidróxido de Potássio
K_2SiO_3	Silicato de Potássio
PAC	Policloreto de Alumínio
V_{S1}	Velocidade de Sedimentação 1
V_{S2}	Velocidade de Sedimentação 2

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema de Pesquisa	11
1.1.1	Hipótese	11
1.1.2	Delimitação de Escopo	11
1.1.3	Justificativa	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	Definição da Metodologia	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Técnicas de Tratamento de Água Potável	13
2.2	Mecanismos de Coagulação	15
2.2.1	Compressão da Dupla Camada Elétrica (DCE)	15
2.2.2	Adsorção e Neutralização da Carga	17
2.2.3	Varredura	17
2.2.4	Adsorção e Formação de Pontes	17
2.3	Coagulantes	18
2.3.1	Coagulantes Químicos	18
2.3.2	Coagulantes Naturais	20
2.4	Processo de Sedimentação	21
2.5	Processo de Filtração	22
3	METODOLOGIA	22
3.1	Materiais	22
3.2	Métodos	23
3.2.1	Coleta e caracterização da água bruta	23
3.2.2	Síntese do Silicato de Potássio (K_2SiO_3)	24
3.2.3	Ensaio de coagulação (Jar Test)	25
4	RESULTADOS E ANÁLISE	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água com qualidade e quantidade suficiente pra suprir a demanda social é uma questão de grande preocupação para a humanidade. Desde os primórdios, comunidades eram criadas em regiões em que a oferta de água era suficiente para atender às demandas da população. Entretanto, o agrupamento social no decorrer dos tempos interferiu significativamente no meio ambiente, especialmente no meio hídrico (MARTINS, 2015). De acordo com Ferreira Filho (2017), os povos antigos tinham a certeza de que, para assegurar a melhoria dos parâmetros estéticos da água empregada para consumo, era necessário o uso de mecanismos que viabilizassem a separação de sólidos presentes na fase líquida, como por exemplo, o processo de filtração.

Ao longo dos anos, há um crescente impacto ambiental aos meios hídricos derivados de ações antrópicas, como lançamentos de efluentes industriais e agrícolas, despejos de esgoto doméstico, destinação inadequada de resíduos sólidos, aplicação de defensivos agrícolas no solo e atividade mineradora, afetando assim a qualidade do corpo receptor (SORIANI, 2015). Desse modo, “embora seja indispensável ao organismo humano, a água pode conter determinadas substâncias, elementos químicos e microrganismos que devem ser eliminados ou reduzidos a concentrações que não sejam prejudiciais à saúde humana” (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Dessa maneira, segundo Schoenhals (2006) os processos de coagulação e floculação estão como os mais importantes na remoção dos poluentes orgânicos e/ou inorgânicos, sendo os responsáveis por eliminar grande parte das impurezas da água bruta, possibilitando condições para prosseguimento das demais etapas do tratamento. Conforme Di Bernado e Dantas (2005), o processo de coagulação é compreendido como o conjunto de ações físicas e químicas, em que são utilizados usualmente como coagulantes sais de alumínio (Al) e ferro (Fe).

Todavia, devido à contaminação que geram, estes químicos são ambientalmente indesejáveis. Já Carvalho (2008) reitera que sais de Alumínio são ambientalmente indesejáveis nos métodos de tratamento de água, devido ao fato do lodo produzido nestes disponibilizar íons solúveis que podem comprometer a saúde humana, gerando vários impasses quanto à disposição deste. De acordo com Vaz et al (2010), uma solução cabível é a utilização de compostos orgânicos e naturais em substituição aos inorgânicos.

Dessa forma, por meio de testes empíricos obtidos através do Projeto de Iniciação Científica: Avaliação do potencial de produção de sílica ativa a partir da cinza da casca do

arroz em Palmas (PIMENTA E MONTEL, 2018), verificou-se que uma amostra de silicato de potássio (K_2SiO_3), obtido através da calcinação controlada da cinza da casca de arroz juntamente com hidróxido de potássio (KOH) se mostrou um composto higroscópico, com potencial alternativo aos coagulantes atualmente utilizados, podendo ser obtido de uma biomassa residual amplamente disponível. Dentro deste contexto, o presente trabalho procura analisar a eficiência do material produzido no processo de coagulação referente ao tratamento da água bruta.

1.1 Problema de pesquisa

Avaliar a viabilidade de uso do K_2SiO_3 como coagulante bem como sua eficiência em comparação aos coagulantes convencionais.

1.1.1 Hipótese

A possibilidade de uso do material sintetizado (K_2SiO_3) no processo de coagulação da água em substituição aos coagulantes convencionais.

1.1.2 Delimitação de Escopo

O trabalho produzirá silicato de potássio a partir da casca de arroz e, por meio de ensaios de Jar Test, analisará sua viabilidade como coagulante no processo de tratamento de água. Além disso, observará sua eficiência em relação aos coagulantes comercialmente utilizados.

1.1.3 Justificativa

No meio urbano, o sistema de abastecimento de água tem papel fundamental para a qualidade de vida da população. O crescimento demográfico solicita sempre uma demanda maior por água com padrões de potabilidade. Segundo Souza et al (1999), quando a indústria de abastecimento utiliza o sistema completo de tratamento (coagulação, floculação, decantação e filtração) transforma água inadequada para o consumo humano em um produto que esteja conforme tais padrões. Entretanto esse processo, quando feito de modo

convencional, gera resíduos químicos que grande parte das vezes não são dispostos de forma adequada.

Segundo Di Bernado (2003), o uso de coagulantes químicos convencionais acarreta como subproduto nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) um lodo ambientalmente indesejável (devido ao seu alto teor de químicos), tornando-se difícil sua destinação. Mediante isto, uma solução é a utilização de compostos naturais em substituição aos convencionais.

O K_2SiO_3 , obtido através da calcinação controlada da cinza da casca de arroz juntamente com KOH, se mostrou um composto higroscópico podendo ser analisada sua utilização como coagulante no tratamento de água bruta, uma vez que sólidos com propriedades higroscópicas usualmente são capazes de promover a coagulação/floculação. Além disso, o K_2SiO_3 é um produto com aplicação desejável em agriculturas, fazendo com que os resíduos do tratamento de água (lodo) possam ter destino viabilizado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência do silicato de potássio obtido pela calcinação da casca de arroz juntamente com hidróxido de potássio no processo de floculação da água bruta.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Analisar a eficácia do material produzido como coagulante;
2. Comparar a eficiência do material sintetizado em relação aos coagulantes convencionalmente utilizados.

1.3 Definição da metodologia

A metodologia da pesquisa se divide em: coleta e caracterização da água bruta, síntese do silicato de potássio e ensaios com Jar Test para o coagulante comercial e para o sintetizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Di Bernado e Dantas (2005), a água pode conter uma variedade de impurezas, dentre as quais se podem citar: partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral. Tais impurezas possuem carga superficial negativa, fazendo com que umas se impilam das outras, permanecendo assim no meio líquido como se suas características não fossem alteradas. É necessário alterar algumas características destas para o tratamento da água bruta, o qual se dá por meio da coagulação, floculação, sedimentação e filtração. O processo de coagulação consiste no conjunto de ações físicas e reações químicas entre o coagulante (usualmente um sal de alumínio ou de ferro), a água e as impurezas, com duração de poucos segundos. Já a floculação é definida como uma ação física posterior à coagulação, tendo a finalidade de aumentar o volume do material suspenso, tornando os processos de flotação e sedimentação mais eficaz.

Ainda, segundo os mesmos autores, tais impurezas em geral apresentam cargas negativas em contato com a água, assim como as partículas coloidais podem ter polímeros adsorvidos em sua superfície impedindo a aproximação de tais partículas. Tendo em vista esse aspecto, é necessário alterar a força iônica do meio. No tratamento de água bruta esse processo é realizado normalmente pela adição de sais de alumínio e ferro, polímeros sintéticos ou vegetais catiônicos, ocorrendo o fenômeno de coagulação.

2.1 Técnicas de Tratamento de Água Potável

De acordo com Ferreira Filho (2017), a partir de 1908 constituiu-se o que se conhece hoje por tratamento convencional de águas de abastecimento. Mas dependendo dos níveis de qualidade da matéria prima (água bruta) há basicamente três métodos de tratamento de água para o consumo humano:

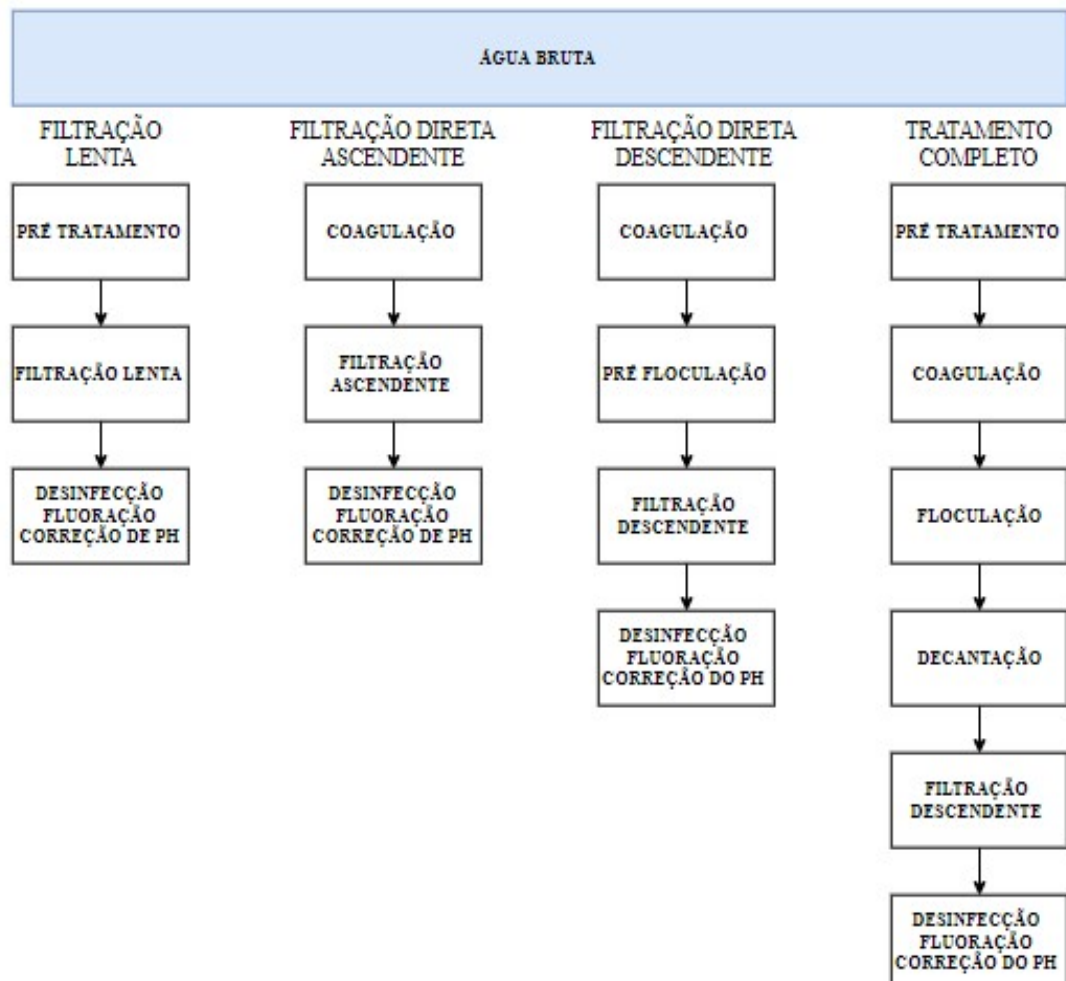
- Convencional de ciclo completo;
- Filtração em linha;
- Filtração direta.

De maneira geral, águas brutas provenientes de mananciais superficiais a serem empregadas para abastecimento público não apresentam condições adequadas para consumo humano, isto por sua qualidade microbiológica e riscos à saúde da população. Nisso, atesta-se que a principal finalidade de uma estação de tratamento de água (ETA) é o de elevar o padrão de qualidade da água bruta acima do valor de referência determinado. Tal valor é definido por

padrões de potabilidade, que no Brasil é se dá pelo Ministério da Saúde por meio da Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde.

A Figura 1 ilustra as tecnologias designadas ao tratamento de água bruta para atingir potabilidade.

Figura 1- Classificação das tecnologias de água.



Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas (2005).

O foco deste trabalho são as etapas de coagulação e floculação, sendo estas responsáveis pelo funcionamento adequado do processo de separação sólido-líquido. Assim, dependendo das características da água captada, o melhor mecanismo de coagulação pode ser escolhido, conforme Pavanelli descreve a seguir.

Normalmente em captações de alguns cursos d'água e em lagos, onde não se tenham picos nos valores de turbidez, principalmente em épocas chuvosas, a estação de tratamento poderá ser por captação direta precedida de coagulação por adsorção e neutralização de cargas. Em locais onde a qualidade da água bruta não permitir, a estação deverá ser do tipo completa; neste caso, a coagulação será no mecanismo varredura. (PAVANELLI, 2001, p. 19).

2.2 Mecanismos de Coagulação

De acordo com Ferreira Filho (2017), coagulação pode ser definida como “operação unitária responsável pela desestabilização das partículas coloidais em um sistema aquoso preparando-as para sua remoção nas etapas subsequentes do processo de tratamento”. Por conseguinte, coagulação dentro do processo de tratamento de água pode ser conceituada como a primeira operação unitária componente de uma ETA convencional, sendo de ciclo completo ou mesmo variante desta, como a de filtração direta ou filtração em linha. Assim, esse processo tem importância mediante ao fato de que um dos principais objetivos do tratamento de água bruta é o de garantir características estéticas adequadas ao consumo humano, sendo necessária a sua clarificação.

Dessa maneira, define-se a coagulação como a consequência individual ou conjunta da ação de quatro mecanismos distintos, sendo eles: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes (DI BERNADO E DANTAS, 2005).

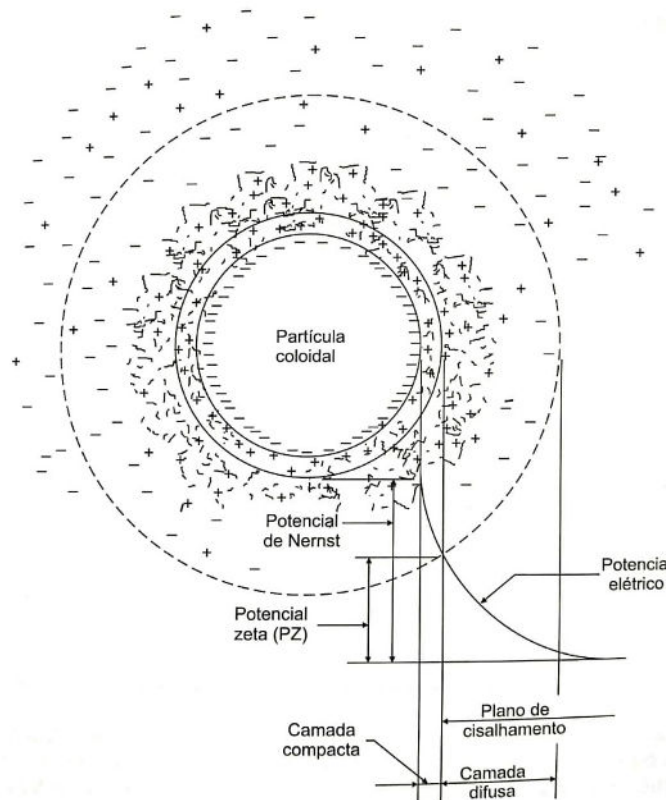
2.2.1 Compressão da Dupla Camada Elétrica (DCE)

Segundo Pavanelli (2001), a dupla camada elétrica (DCE) origina-se na superfície das partículas sólidas, local onde ocorre adsorção de íons entre as partículas sólidas e a solução. Assim, as partículas coloidais possuem majoritariamente cargas negativas, sendo que estas atraem uma grande quantidade de íons de carga oposta (positiva) presentes na solução. Entretanto, devido à limitação das dimensões da superfície das partículas, apenas um número restrito de íons positivos consegue se adsorver. Dessa forma há a formação da denominada camada compacta ou camada de Stern, a qual é originada pela adsorção rígida dos íons sobre a superfície da partícula.

O mesmo autor cita ainda que quando os íons negativos aproximam-se da camada de Stern causam atração de íons com carga elétrica oposta, resultando na formação de outra

camada chamada de difusa (a qual engloba a camada compacta), sendo mais precisamente resultado da atração de íons positivos, repulsão eletrostática de íons negativos e difusão térmica. A junção das camadas, compacta e difusa, acarreta na DCE. A Figura 2 representa uma partícula coloidal e sua dupla camada elétrica.

Figura 2-Partícula coloidal e sua DCE.



Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Conforme com Di Bernardo e Dantas (2005), o mecanismo de coagulação de compressão da DCE ocasiona na desestabilização das partículas coloidais por meio da adição de íons com carga elétrica contrária. Assim ainda em 1900, por meio da teoria desenvolvida por Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek (teoria DLVO), Schulze e Hardy definiram que a desestabilização de um coloide por um eletrólito indiferente ocorre em decorrência de interações eletrostáticas sendo que quanto maior for a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. Vale ainda salientar dois pontos sobre esse mecanismo de: o primeiro sendo que a quantidade de eletrólitos para conseguir a coagulação é, praticamente, independente da concentração de coloides na água e o segundo é que para

qualquer quantidade adicionada de eletrólitos é impossível restabilizar as partículas coloidais, ou seja, a reversão de carga das mesmas, que passa a ser positiva.

2.2.2 Adsorção e Neutralização da Carga

Pavanelli (2001) cita que na dispersão coloidal, adicionando-se o coagulante, ocorrem interações entre coagulante-solvente, coagulante-coloide e coloide-solvente.

Assim, como o coagulante se dissolve, os cátions deste neutralizam as cargas negativas do coloide, sendo que este processo ocorre antes da formação visível do floco, sendo necessária a agitação rápida nessa fase. Em se tratando de espécies hidrolisadas de alumínio ou de ferro ou de polímeros sintéticos catiônicos, se torna comum observar a adsorção específica, causada pela interação entre coagulante e colóide (ECKENFELDER, 1989).

2.2.3 Varredura

Di Bernardo e Dantas (2005) citam que o mecanismo de varredura é intensivamente utilizado nas ETAs em que se têm a floculação e flotação antecedendo a flotação rápida. Dependendo da quantidade de coagulante adicionada, do pH da mistura e da concentração de íons na água, pode ocorrer a formação de precipitados como: $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Pavanelli (2001, p. 15) afirma que nesse tipo de mecanismo “os flocos formados são maiores do que aqueles formados pela adsorção e neutralização de cargas; conseqüentemente, suas velocidades de sedimentação são maiores”.

2.2.4 Adsorção e Formação de Pontes

Para Pavanelli (2001) na dispersão coloidal, quando o coagulante é adicionado, interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente ocorrem.

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), este mecanismo configura-se por abranger o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, sendo que estes servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas. Sendo assim, este deve ser designado em Estações de Tratamento de Água cujo método, após coagulação seja a filtração direta, devido ao fato de partículas desestabilizadas ficarem confinadas no interior do meio filtrante da unidade.

2.3 Coagulantes

Segundo Carvalho (2008, p.15), “muitos agentes coagulantes são usados nos processos de tratamento de água, como coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro), polímeros orgânicos, sintéticos e naturais”.

2.3.1 Coagulantes Químicos

Carvalho (2008) cita que os sais de alumínio e ferro são os agentes mais utilizados no tratamento de água, por serem de baixo custo e terem capacidade coagulante já comprovada.

Segundo Di Bernardo (1993), quando o processo de coagulação é realizado por sais de alumínio e sais de ferro, acarreta em dois fenômenos, sendo um químico (consistindo na reação do coagulante com a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva) que depende de fatores como: concentração do metal presente, temperatura, quantidade de impurezas e pH final da mistura. Já o físico consiste no transporte dessas espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água.

Carvalho (2008) infere que o mecanismo de formação dos flocos durante o processo de coagulação acontece por meio da neutralização entre a acidez do coagulante e a alcalinidade da água, que por atração eletrostática entre as cargas positivas resultantes da ionização do coagulante e as cargas negativas das partículas, formam os flocos. A Tabela 1 contém os coagulantes mais comumente utilizados no processo de obtenção de água tratada.

Tabela 1 - Coagulantes mais utilizados na obtenção de água tratada.

Coagulante	Função
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - Sulfato de Alumínio	Cátions polivalentes (Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , etc.) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex: $\text{Al}_2(\text{OH})_3$), ao adsorverem os particulados geram uma floculação parcial.
PAC - Policloreto de Alumínio	
FeCl_3 - Cloreto Férrico	
FeSO_4 - Sulfato Férrico	
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Hidróxido de Cálcio	Usualmente utilizado como agente controlador do pH. Porém, os íons cálcio atuam também como agentes de neutralização das cargas elétricas superficiais, funcionando como um coagulante inorgânico.

Polímeros Aniônicos e Não-iônicos	Geração de "pontes" entre as partículas já coaguladas e a cadeia do polímero, gerando locos de maior diâmetro.
Polímeros Catiônicos	Neutralização das cargas elétricas superficiais que envolvem os sólidos suspensos e incremento do tamanho dos flocos formados (via formação de pontes). Usualmente utilizado no tratamento de lamas orgânicas.
Policátions	São polieletrólitos catiônicos de baixo peso molecular, os quais possuem como função principal a neutralização das cargas elétricas superficiais e aumento do tamanho dos flocos. Utilizado em substituição aos floculantes inorgânicos convencionais.

Fonte: <http://www.kurita.com.br/tecnico/tec2.htm> (Apud Carvalho 2008).

Segundo Corbitt (1998) é provável que o sulfato de alumínio seja a substância química mais utilizada para fins de coagulação de suprimentos de água. As qualidades que garantem essa preferência são: excelente formação do floco, seu baixo custo e facilidade de transporte e de manuseio.

Entretanto, há vários estudos relacionando altas concentrações de Alumínio (Al) no corpo humano com enfermidades. De acordo com Spinelli (2001), há indícios que suportam a ideia de que o Alumínio é um possível fator patogênico de mal de Alzheimer desde que o metal produza progressão clínica nos sinais neurológicos incluindo déficits na memória e alterações elétricas neuronais. Carvalho (2008, p. 22) cita que, “devido às leis cada vez mais rígidas, sais de Al são ambientalmente indesejáveis nos tratamentos de água, pois o lodo produzido pode tornar disponíveis íons solúveis que comprometem a saúde humana”. Além disto, o alumínio não é biodegradável, gerando impasses relacionados à disposição do lodo gerado.

2.3.2 Coagulantes Naturais

De acordo com Carvalho (2008), o interesse pelo estudo de coagulantes naturais para clarificar água não é uma ideia atual. Em vários países asiáticos, africanos e sul-americanos, inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais. A autora cita ainda que tais pode ser uma alternativa aos coagulantes químicos sintéticos, como sais de alumínio e ferro, que são amplamente utilizados no tratamento de água.

Segundo Choy et al. (2013), os coagulantes naturais apresentam diversas vantagens em relação aos químicos como:

- Maior segurança por não exigir a manipulação de produtos químicos;
- Ausência de toxicidade;
- Diminuição de geração de lodo;
- Maior acessibilidade;
- Ausência de efeito corrosivo em equipamentos.

Sobre o uso de polímeros como auxiliares de coagulação/floculação, Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem que estes apresentam vantagens em uma estação de tratamento (ETA), tais como: melhoria na qualidade da água decantada e filtrada, redução do consumo de coagulante primário, diminuição dos gastos com produtos químicos, diminuição de geração de lodo no decantador, maior eficiência da desinfecção, diminuição da deposição de lodo na rede e nos reservatórios de distribuição. É importante salientar que de acordo com Spinelli (2001) apenas os polieletrólitos catiônicos, ou seja, que apresentam cargas positivas, podem ser utilizados sem a aplicação do coagulante primário.

Carvalho (2008, p. 24) salienta que:

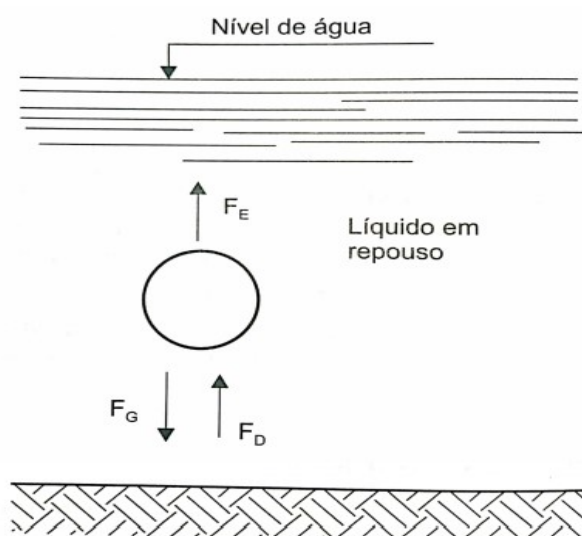
Busca-se, assim, um coagulante natural que possa ser usado de forma individual ou juntamente com outros sais coagulantes tradicionais, agindo como um auxiliar no tratamento de águas, principalmente nos casos em que as águas apresentam elevada turbidez, para as quais somente o uso de sulfato de alumínio não é indicado. Dentre os coagulantes naturais, pode-se destacar a quitosana, um polieletrólito natural proveniente da quitina, que possui uma grande cadeia polimérica que pode ser protonada em meio ácido, atuando como polieletrólito na coagulação de matéria coloidal da água.

2.4 Processo de Sedimentação

Segundo Ferreira Filho (2017, p. 115), “a definição de sedimentação se dá no processo físico no qual as partículas coloidais são removidas da fase líquida por meio de processos de sedimentação gravitacional”. O mecanismo de sedimentação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é comumente utilizado no sistema de tratamento de água. Sendo que este consiste na utilização de forças gravitacionais para separação de partículas de densidade superior à da água, depondo-se em uma zona de armazenamento. As partículas que não são removidas na sedimentação sejam por seu pequeno tamanho, ou por serem de densidade muito próxima à da água, deverão ser removidas na filtração (CARVALHO, 2008).

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem o fenômeno de sedimentação como físico, causado em decorrência da gravidade, no qual as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica. Eles alegam que a sedimentação é baseada no fato de que qualquer partícula não coloidal, suspensa em um meio líquido de menor massa específica e em repouso, sofrerá aceleração gravitacional até que as forças de resistência viscosas e de deformação do líquido sejam equivalentes à resultante do peso efetivo da mesma, a partir desse momento, a velocidade da partícula, a qual é denominada de velocidade de sedimentação, será constante como demonstrado na Figura 3 (FE: empuxo, FG: gravidade, FD: arraste ou resistência). Os autores afirmam ainda que como as partículas coloidais presentes na água possuem como característica baixa velocidade de sedimentação, sendo assim, a coagulação química é necessária nas estações de tratamento de água, visando à redução da quantidade de material suspenso e dissolvido antes da filtração.

Figura 3- Forças atuantes em uma partícula sólida em sedimentação.



Segundo Spinelli (2001), partículas com maior densidade do que a água podem se manter suspensas nas correntes líquidas pela ação de forças relativas à turbulência. Nisso, a sedimentação é definida como um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas na água. Se estas forem mais pesadas do que a água, tenderão a cair para o fundo, com certa velocidade, provocando-se a deposição das partículas.

2.5 Processo de filtração

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem que a filtração é considerada um processo físico de separação, no qual a água permeia um leito filtrante (geralmente areia e carvão), fazendo com que as partículas em suspensão sejam retidas, tornando a água mais limpa. Segundo Carvalho (2008), normalmente não é possível a obtenção de água com padrões de potabilidade apenas com o uso de coagulação/floculação, sendo necessária a filtração. A autora cita ainda que “esta consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água através de um meio granular”. Dessa maneira, a filtração rápida constitui uma barreira sanitária importante, tendo o potencial de retenção de microrganismos que são resistentes às demais partes do tratamento de água. Os filtros de areia demonstram uma boa remoção de bactérias, alta remoção de cor e turbidez, entretanto pouca remoção de odor e sabor.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Os reagentes e materiais utilizados no decorrer do trabalho estão descritos a seguir.

Reagentes:

- Água bruta;
- Água potável;
- Cinza da casca do arroz;
- Hidróxido de potássio;
- Solução de cal a 1%;
- Sulfato de alumínio- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 1%;
- Água destilada.

Equipamentos:

- Balança analítica precisão (0,000 gramas);
- Balão volumétrico.
- Balde de inox;
- Béqueres;
- Cadinho de porcelana;
- Cápsula de porcelana esmaltada (130 mL);
- Colher de plástico;
- Cronômetro;
- Equipamento Jar Test;
- Forno mufla;
- Frasco Erlenmeyer;
- pHmêtro;
- Provetas;
- Pipetas graduadas;
- Recipientes para pesagem e armazenagem;
- Tambor de 500 litros (condicionar água bruta);
- Turbidímetro.

3.2 Métodos**3.2.1 Coleta e caracterização da água bruta**

O Ribeirão Taquaruçu Grande foi escolhido como corpo hídrico em que foi realizada a captação da água bruta (procedimento executado conforme orientações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB). O local de realização da coleta foi a Estação de Tratamento 006 (ETA 006), conforme ilustrado pela Figura 4.

Figura 4- Ponto de Coleta da Água Bruta.



Fonte: Google Earth, adaptado (2019)

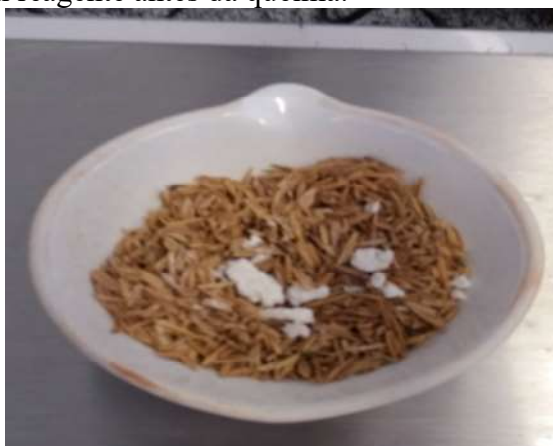
Dentre as características da água bruta analisada encontram-se: pH (alcalinidade e acidez) e turbidez. A aferição do pH foi realizada pelo aparelho pHmetro. A alcalinidade da água é de grande importância na coagulação química, porque os coagulantes normalmente têm atuação como ácidos em solução, reduzindo a alcalinidade e baixando o valor do pH, necessitando a adição de um reagente alcalinizante para correção do pH. Nas soluções aquosas as características de alcalinidade e acidez são baseadas no sistema do ácido carbônico (H_2CO_3) (PAVANELLI, 2001).

Já a determinação da turbidez das amostras foi realizada conforme a Norma Técnica Interna da SABESP – NTS 008 Turbidez: método de ensaio (1999), por meio do aparelho turbidímetro. Richter e Netto (2013, p. 26) definem que “a determinação da turbidez é fundamentada no método de Jackson”, sendo que esta se dá em Unidades de Turbidez (uT). Ainda segundo os mesmos autores, a turbidez é uma característica física da água devido a partículas suspensas no meio, as quais provocam a dispersão e a absorção da luz, propiciando à água uma aparência nebulosa e esteticamente indesejável.

3.2.2 Síntese do Silicato de Potássio (K_2SiO_3)

Para a produção do K_2SiO_3 a casca de arroz foi adicionada em um cadinho de porcelana (tendo sua massa aferida com o auxílio da balança analítica) juntamente com o reagente analítico hidróxido de potássio (KOH), na proporção de 1 parte de casca para 0,1 parte de KOH, ou seja, com 10% de adição do reagente, conforme Figura 5. Após, sofreu calcinação no forno mufla a uma temperatura de 900 °C pelo tempo de 6 horas.

Figura 5- Casca de arroz com reagente antes da queima.



Fonte: Acervo da autora (2019).

3.2.3 Ensaio de coagulação (Jar Test)

Conforme a 4ª edição do Manual Prático de Análise de Água da Funasa (2013), o ensaio de coagulação é tido como um procedimento rotineiro nas ETAs para determinação da dosagem dos produtos químicos utilizados no tratamento. Para realização do ensaio é necessário saber previamente as seguintes características da água bruta: turbidez, pH e alcalinidade. Dessa forma, o ensaio de coagulação depende de algumas variáveis, como se a alcalinidade natural da água é suficiente e se o pH está dentro da faixa ótima empregada. Os testes foram realizados tanto para o coagulante comercial escolhido (sulfato de alumínio) quanto para o produzido na pesquisa (silicato de potássio), utilizando o método descrito por Di Bernardo, Dantas e Voltan (2015), ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1-Programação Jar Test.

Gradiente de velocidade	RPM	TEMPO	
	100	0'00"	Disparar o cronômetro
1000 s ⁻¹	436	0'60"	-
		1'10"	Início da mistura rápida
		1'20"	Fim da mistura rápida
Desacelerar : 0'01"			
25 s ⁻¹	35	1'21"	Início da floculação
		21'21"	Fim da floculação
V _{S1} : 3 $\frac{\text{cm}}{\text{min}}$		21'21"	Início da sedimentação
		23'33"	Descarte
		23'36"	Coleta
		23'41"	Coleta
		23'46"	Coleta
V _{S2} : 1,5 $\frac{\text{cm}}{\text{min}}$		25'53"	Início da sedimentação
		25'56"	Descarte
		26'01"	Coleta
		26'06"	Coleta

Fonte: Di Bernardo, Dantas e Voltan, adaptado (2015).

Para produzir a solução de sulfato de alumínio-Al₂(SO₄)₃ a 1%, 5 gramas do coagulante puro foi adicionado em um balão volumétrico contendo 500 ml de água destilada. O mesmo procedimento foi realizado para a solução de cal. Após, adicionou-se água bruta nos jarros (de forma homogênea), as concentrações das soluções de coagulante e de cal utilizadas em cada jarro diferiu de teste para teste. O Jar test foi programado segundo método do Quadro 1. Mediu-se o pH de cada amostra, assim como os níveis de turbidez para as V_{S1} e V_{S2}.

Para produzir a solução de silicato de potássio a 1%, 4 gramas do coagulante puro foi adicionado em um balão volumétrico contendo 400 ml de água destilada. Após, adicionou-se água bruta nos jarros (de forma homogênea), a concentração da solução de coagulante utilizada em cada jarro diferiu de teste para teste, sendo que se optou por não alterar o pH da água. O Jar test foi programado segundo método do Quadro 1. Mediu-se o pH de cada amostra, assim como os níveis de turbidez para as velocidades V_{S1} e V_{S2} .

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Constam no Quadro 2 as informações referentes ao pH e turbidez da água bruta.

Quadro 2 -Caracterização da Água bruta.

Turbidez (UT)	47,3
pH	7,6

Fonte: Acervo da autora (2019).

Acerca dos testes de coagulação do sulfato de alumínio, foram realizados 3 ensaios com 6 jarros por ensaio, totalizando 18 testes, variando concentrações de coagulante e pH. No Quadro 3 estão determinadas as quantidades de coagulante e CaO (cal) utilizadas, assim como os resultados de turbidez obtidos para as duas velocidades de sedimentação.

Quadro 3 - Resultados – Ensaio de coagulação $Al_2(SO_4)_3$.

	JARRO	COAGULANTE		CaO		pH	TURBIDEZ (UT)	
		mg/L	mL	mg/L	mL		V_{S1} (3cm/min)	V_{S2} (1,5 cm/min)
ENSAIO 1	1	25	5	0	0,0	6,65	7,89	5,31
	2	25	5	3	0,6	6,89	14,60	12,10
	3	25	5	6	1,2	6,96	24,20	21,80
	4	25	5	9	1,8	7,21	30,20	29,40
	5	25	5	12	2,4	7,42	28,60	30,60
	6	25	5	15	3,0	7,57	24,20	24,10
ENSAIO 2	1	50	10	0	0,0	6,09	46,20	40,40
	2	50	10	5	1,0	6,19	36,40	34,70
	3	50	10	10	2,0	6,73	6,06	2,93
	4	50	10	15	3,0	6,85	3,32	3,74
	5	50	10	20	4,0	7,16	3,93	5,07
	6	50	10	25	5,0	7,30	9,77	7,28

ENSAIO 3	1	75	15	0	0,0	5,86	40,00	41,50
	2	75	15	6	1,2	5,91	42,00	39,90
	3	75	15	12	2,4	6,09	40,40	40,40
	4	75	15	18	3,6	6,55	2,74	2,33
	5	75	15	24	4,8	6,83	4,18	2,40
	6	75	15	34	6,8	7,34	6,44	7,49

Fonte: Acervo da autora (2019).

O Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5 do Ministério da Saúde define como 5 uT o valor máximo de turbidez que águas para consumo humano podem apresentar. Dessa forma, percebe-se que o sulfato de alumínio consegue atingir níveis de coagulação abaixo deste valor, e que o mesmo é altamente influenciado pelo nível de alcalinidade da água bruta, sendo que o pH ótimo de coagulação variou entre 6,65 e 7,00 (pH neutro). Além disso, o aumento na quantidade de sulfato de alumínio acidifica as amostras. A figura 6 representa os 6 jarros descritos no ensaio 1 durante a fase de floculação (dispostos da esquerda para direita em ordem crescente). É perceptível a formação dos flocos no jarro 1 (sendo este o que apresentou menor turbidez do ensaio).

Figura 6- Ensaio 1: Ensaio de coagulação Sulfato de Alumínio.

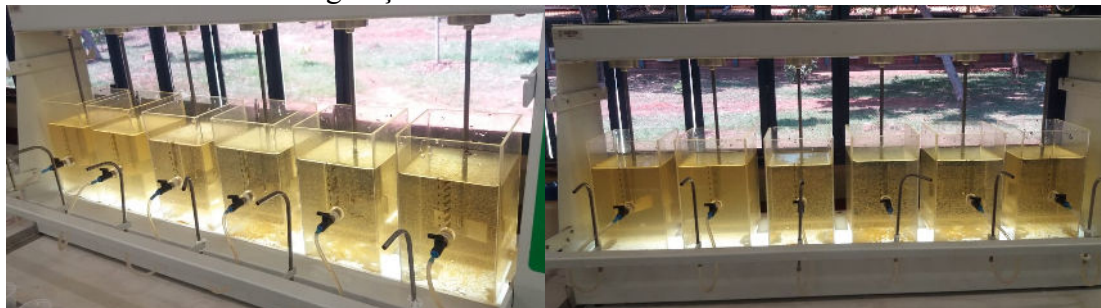


Fonte: Acervo da autora (2019).

A Figura 7 ilustra a fase de floculação apresentado no ensaio 2. No presente teste a formação dos flocos acontece de modo mais acentuado nos jarros 3, 4 e 5, sendo que os níveis

de turbidez nestes, de modo geral, apresentam resultados com turbidez menor que 5 uT. O aumento na quantidade de sulfato de alumínio acidifica as amostras.

Figura 7- Teste 2: Ensaio de coagulação Sulfato de Alumínio.



Fonte: Acervo da autora (2019).

Já o coagulante desenvolvido apresentou aspecto polimérico (conforme Figura 8), sendo que este foi dissolvido em água destilada a fim de obter-se uma solução de 1% .

Figura 8-Silicato de Potássio: Coagulante produzido.



Fonte: Acervo da autora (2019).

Por se tratar de um material cujo comportamento é desconhecido e por este apresentar pH básico, optou-se por não variar a alcalinidade da água, modificando-se somente as quantidades de coagulante utilizado em cada teste. Dessa forma, foram realizados 6 testes, com adição de 50mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L e 600 mg/L. Os resultados de pH e turbidez para as velocidades de sedimentação V_{S1} e V_{S2} constam no Quadro 4.

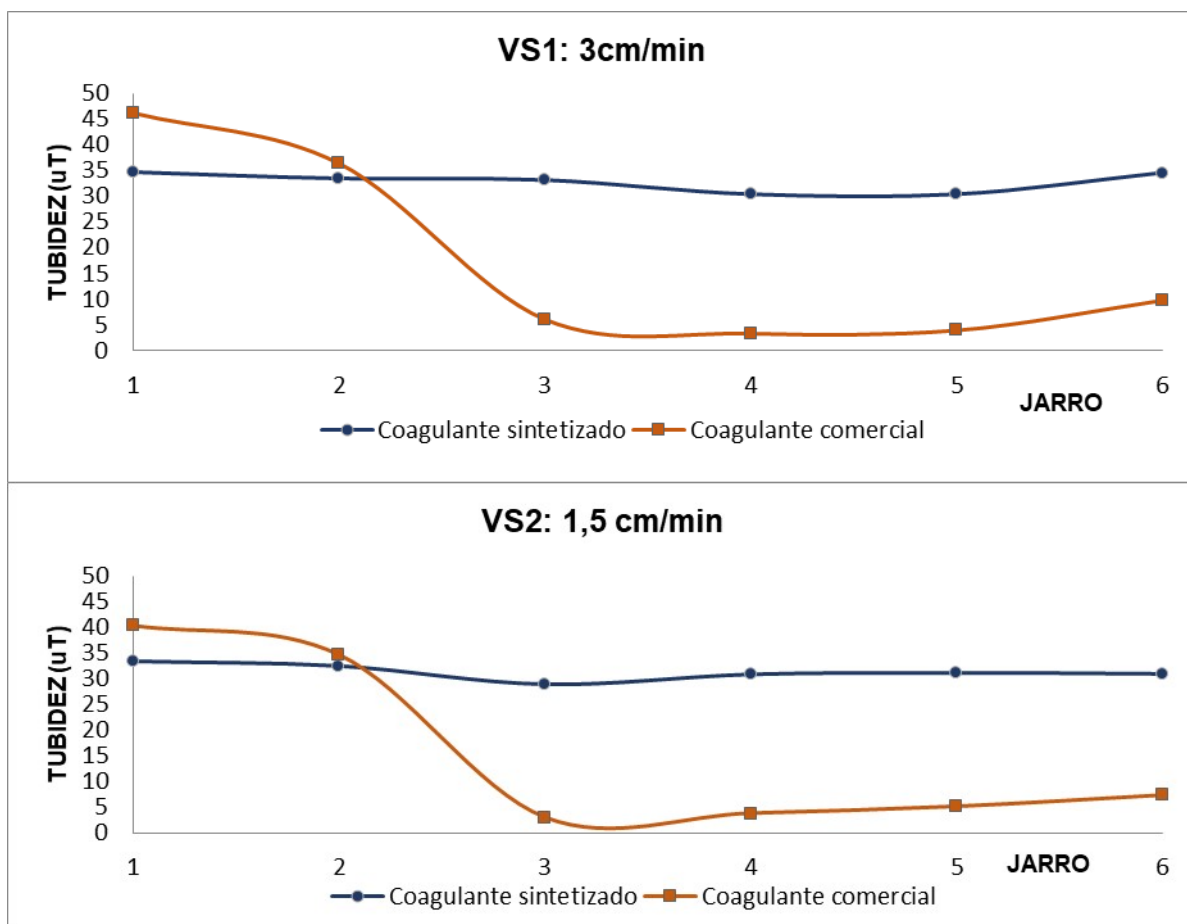
Quadro 4-Resultados: Ensaio de coagulação K_2SiO_3 .

JARRO	COAGULANTE		CaO		pH	TURBIDEZ (uT)	
	mg/L	mL	mg/L	mL		VS ₁ (3cm/min)	VS ₂ (1,5 cm/min)
1	50	10	0	0,0	6,98	34,60	33,30
2	100	20	0	0,0	7,01	33,40	32,40
3	200	40	0	0,0	6,96	33,10	28,90
4	400	80	0	0,0	7,02	30,40	30,80
5	500	100	0	0,0	7,00	30,40	31,10
6	600	120	0	0,0	7,00	34,50	30,90

Fonte: Acervo da autora (2019).

Apesar da redução dos níveis de turbidez relativo ao apresentado pela água bruta (47,3 uT), os valores obtidos não atendem aos padrões da Portaria N° 5/MS. A Figura 9 relaciona os índices do coagulante comercial (sulfato de alumínio) a uma concentração de 50mg/L com o natural (silicato de potássio). Pode-se verificar que os testes com utilização de silicato apresentaram resultados mais lineares em relação ao coagulante comercial. Além disso, em todos os testes o pH permaneceu estável, próximo ao neutro.

Figura 9- Comparativo: coagulante comercial e coagulante sintetizado na pesquisa.



Fonte: Acervo da autora (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O material sintetizado atenuou os níveis de turbidez da água testada, mas não o suficiente para atendimento dos parâmetros de tratamento de água. Além disso, sua adição não acidificou a amostra, situação apresentada na utilização de silicato de potássio. Mesmo assim, tendo como enfoque o processo de coagulação, o material produzido não se comportou de modo eficiente frente aos coagulantes convencionalmente utilizados nas ETAs. Entretanto, por se tratar de um produto com aspecto polimérico e por atenuar os níveis de turbidez da água bruta, é sugerido o estudo deste como auxiliador no processo de floculação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Leis Decretos, etc. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 5. 03** de outubro de 2017, Brasília, Brasil.

CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. 2008.

CHOY, S. Y.; PRASAD K. M. N.; WU, T. Y.; RAMANAN, R. N. **A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification**. Islamic Azad University (IAU). 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 008-Turbidez: Método de ensaio**. São Paulo: SABESP, 1999.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 013-Sólidos: Método de ensaio**. São Paulo: SABESP, 1999.

CORBITT, R. A. **Standard handbook of environmental engineering**. 2 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.

DI BERNADO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. V.1. Rio de Janeiro: ABES. 1993.

DI BERNADO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. RiMa, Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, Brasil. 2003.

DI BERNADO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. V. 1. São Carlos: RiMa. 2005.

DIBERNADO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2015.

ECKENFELDER JR, W.W. **Industrial Water Pollution Control**. McGraw-Hill. Singapore. 1989.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. Brasília: FUNASA, 2013.

GOOGLE EARTH PRO. **Localização ETA 006, Palmas-TO**. Acesso em: 21 de junho de 2019.

MARTINS, Álvaro Alves. **Aplicação e eficiência de gel de quitosana como coagulante no tratamento de efluentes em frigorífico bovino**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO. 2015.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2001.

PIMENTA, I. A.; MONTEL, A. L. B. **Avaliação do potencial de produção de sílica ativa a partir da cinza da casca do arroz em Palmas**. Projeto de Pesquisa e Extensão. Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO. 2018.

RICHTER, C. A.; NETTO, J.M.A.; **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 2013.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro Avícola**. Tese de Mestrado, Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. 2006.

SORIANI, Marcela. **Eficiência da Moringa oleifera como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**. Monografia de conclusão de curso. Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina-PR. 2015.

SOUZA, A.A. de; ESPINDOLA, G. B. **Effect of supplementation with *Leucaena leucocephala* hay during the dry season on the ponderal development sheep.** Rev. Bras. Zootec. 1999.

SPINELLI, V. A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável.** Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC. 2001.

VAZ, L. G. L., KLEN, M. R. F., VEIT, M. T., SILVA, E. A., BARBIERO, T. A., BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluentes de galvanoplastia.** Eclética Química, Vol. 35, nº 4. 2010.