



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE PLANTAS NO  
PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO  
HUMANO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**Gustavo Santos Madeira**

**Belo Horizonte**

**2021**

**Gustavo Santos Madeira**

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE PLANTAS NO  
PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO  
HUMANO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso II, apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. M.Sc. Túlio Cesar Floripes Gonçalves

Belo Horizonte

2021

**GUSTAVO SANTOS MADEIRA**

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE PLANTAS NO  
PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO  
HUMANO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

**GUSTAVO SANTOS MADEIRA**

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE PLANTAS NO  
PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO  
HUMANO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 30 de agosto de 2021

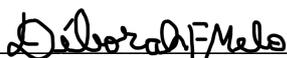
Banca examinadora:



Túlio Cesar Floripes Gonçalves – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, CEFET-MG – Orientador



Clarisse de Oliveira Carmo  
Mestra em Engenharia Civil



Déborah de Freitas Melo  
Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

## RESUMO

MADEIRA, GUSTAVO. **UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE PLANTAS NO PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** 2021. 52 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A queda de qualidade da água disponível nos mananciais superficiais e o desabastecimento às comunidades no interior do país e periferias das grandes cidades, motivam a busca por métodos que proporcionem melhorias referentes à qualidade da água tratada e a universalização de seu acesso. Sabendo que a coagulação é uma das etapas mais importantes no processo de potabilização da água, estando presente na maioria das tecnologias de tratamento, tem-se buscado novos coagulantes que tenham como características a não toxicidade, a facilidade de manuseio e o acesso, e que sejam biodegradáveis. Nesse cenário, os diversos biopolímeros surgem como alternativas. Estudos envolvendo biopolímeros como o tanino, *Moringa Oleífera*, quiabo e cactos como coagulantes primários ou auxiliares de coagulação e floculação, apresentaram bons resultados de remoção de cor e turbidez, sem alteração do pH. A *Moringa oleífera* foi o principal destaque deste estudo, por ser uma planta facilmente encontrada no território brasileiro, ter um método simples de aplicação e apresentar alta eficiência na remoção de cor e turbidez, entorno de 94% e 92%, respectivamente.

**Palavras-Chaves: Coagulação. Coagulante Natural. Tratamento de Água. Biopolímero.**

## ABSTRACT

MADEIRA, GUSTAVO. **USE OF NATURAL PLANT-BASED COAGULANTS IN THE PROCESS OF POTABILIZATION OF WATER FOR HUMAN SUPPLY: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW**. 2021. 52 pages. Monograph (Graduation in Environmental and Sanitary Engineering) – Scienc and Enviromental Technology Departement Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

The drop in the quality of water available in surface springs and the shortage of supplies for communities in the interior of the country and outskirts of large cities, motivate the search for methods that provide improvements in the quality of treated water and universal access to it. Knowing that coagulation is one of the most important steps in the process of potabilization of water, being present in most treatment technologies, new coagulants that are non-toxic, easy to handle and accessible, have been sought. Are biodegradable. In this scenario, the various biopolymers appear as alternatives. Studies involving biopolymers such as tannin, Moringa Oleifera, okra and cacti as primary coagulants or aids to coagulation and flocculation, showed good results in removing color and turbidity, without changing the pH. Moringa oleifera was the main highlight of this study, as it is a plant easily found in the Brazilian territory, has a simple method of application and presents high efficiency in removing color and turbidity, around 94% and 92%, respectively.

**Keywords: Coagulation. Natural Coagulant. Water Treatment. Biopolymer.**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivo Geral:.....	11
2.2. Objetivos Específicos:.....	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1. Características da Água.....	12
3.1.1. <i>Parâmetros físicos</i> .....	12
3.1.1.1. <i>Cor</i> .....	12
3.1.1.2. <i>Turbidez</i> .....	13
3.1.2. <i>Parâmetros Químicos</i> .....	13
3.1.2.1. <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	13
3.1.2.2. <i>Alcalinidade e Acidez</i> .....	13
3.1.2.3. <i>Dureza</i> .....	14
3.1.3. <i>Características Microbiológicas</i> .....	14
3.1.4. <i>Características Radiológicas</i> .....	15
3.2. Tecnologias de Tratamento de Água.....	15
3.2.1. <i>Filtração Lenta</i> .....	17
3.2.2. <i>Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)</i> .....	17
3.2.3. <i>Filtração Direta</i> .....	17
3.2.4. <i>Tratamento Convencional e Flotação</i> .....	18
3.2.5. <i>Potabilidade da Água para Consumo Humano</i> .....	19
3.3. Tratamento de Água por Coagulação e Flocculação .....	21
3.3.1. <i>Compressão da Camada Difusa</i> .....	23
3.3.2. <i>Adsorção e Neutralização</i> .....	23
3.3.3. <i>Varredura</i> .....	24
3.3.4. <i>Formação de Pontes Químicas</i> .....	24
3.3.5. <i>Coagulantes Químicos</i> .....	27
3.3.6. <i>Coagulantes Naturais</i> .....	28
3.3.7. <i>Vantagens e Desvantagens dos Coagulantes</i> .....	29
<b>4. METODOLOGIA DE TRABALHO .....</b>	<b>31</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>

	8
5.1. <i>Moringa Oleifera</i> .....	34
5.2. Quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ) .....	36
5.3. Cactos.....	39
5.4. Tanino .....	41
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente adensamento populacional, despejo inadequado de esgoto sanitário e águas residuárias da indústria e da agricultura, são fatores que prejudicam a qualidade das águas superficiais, que são as principais fontes para o abastecimento público (BONGIOVANI et al., 2010; LIMA, 2007). Segundo Coral, Bergamasco e Bassetti (2009), esse mau uso, aliado à crescente demanda, vem preocupando especialistas e autoridades no assunto, pelo evidente decréscimo da disponibilidade de água passível de uso para o abastecimento humano em todo o planeta.

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana, devendo estar disponível em quantidade e qualidade adequada ao consumo. Os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, assim como seu padrão de potabilidade, são estabelecidos pela portaria nº 888 de maio de 2021, do Ministério da Saúde.

No Brasil, os investimentos em saneamento básico ainda não são suficientes para proporcionar água de qualidade para toda a população, sendo que comunidades no interior do país e periferias das grandes cidades ainda sofrem com a escassez desse recurso sob condições adequadas para o consumo. Geralmente os habitantes dessas localidades são abastecidos com água contaminada com germes patogênicos e/ou dotadas de substâncias químicas tóxicas com teores inadequados para ingestão humana (DA SILVA, 2005).

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) cerca de 16,3% da população brasileira não tem acesso ao abastecimento de água tratada, isso representa aproximadamente 34 milhões de brasileiros. Nas regiões Nordeste e Norte este percentual aumenta, com valores de 26,1% e 42,5%, respectivamente. Este estudo ainda aponta um grande índice de desperdício na distribuição de água, com mais de 39,2% de água potável perdida (SNIS, 2019).

Tendo em vista as dificuldades que várias comunidades brasileiras têm em relação ao acesso à água potável e as preocupações com o meio ambiente, nos últimos anos tem-se buscado diferentes vegetais que possam ser utilizados como coagulantes naturais, para a clarificação de águas turvas. Estes produtos devem apresentar baixa toxicidade, ser de uso simples, barato, de fácil obtenção e aplicação (DA SILVA, 2005; FERRARI, 2015). Esses coagulantes tem sua utilização favorável em sistemas descentralizados de abastecimento de água, que consiste na

prática de localizar plantas de tratamento de água no local da demanda. É uma alternativa flexível e sustentável para substituir grandes plantas de tratamento que exigem quilômetros de infraestrutura de fornecimento e entrega cara (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2019).

Outra vertente que motiva essa busca por novas alternativas para o tratamento de água se refere aos danos ambientais e à saúde humana que a utilização dos coagulantes químicos pode causar, sendo que a possibilidade de danos ao organismo, principalmente ao sistema nervoso, é fato cientificamente comprovado (CLAYTON, 1989 e KAWAMURA, 1991 apud BONGIOVANI et al., 2010).

A coagulação é de suma importância no processo de potabilização da água, estando presente na grande maioria das tecnologias de tratamento, sendo responsável por remover turbidez, matéria orgânica coloidal, substâncias tóxicas e outros elementos passíveis de conferir cor e odor à água. Ela pode ser realizada utilizando-se coagulantes químicos, naturais ou uma associação entre eles (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Carvalho (2008), o interesse pelo estudo de coagulantes naturais (biopolímeros) para tratar água não é uma ideia atual. Em vários países asiáticos, africanos e sul-americanos, inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais. Elas apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, por serem biodegradáveis, não tóxicas, produzirem lodo em menor quantidade, com menores teores de metais e existe a possibilidade de produção local, fator que diminui os custos de implantação nos sistemas (CARVALHO, 2008; KAWAMURA, 1991 apud BONGIOVANI et al., 2010; POUMAYE et al., 2012).

O presente trabalho, busca realizar uma revisão bibliográfica narrativa sobre os coagulantes naturais confeccionados à base de plantas e que apresentem relevância no cenário nacional, tanto em utilização nas estações de tratamento de água (ETAs) e estudos, quanto em disponibilidade natural e viabilidade econômica. Os coagulantes selecionados para constituírem este trabalho foram: *Moringa Oleifera*, Quiabo, Cactos e o Tanino. Nesse cenário, estes biopolímeros surgem como uma alternativa de tratamento de água para comunidades que não têm acesso pleno à água tratada, além de promover o desenvolvimento sustentável e a universalização do saneamento básico no país.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral:**

Avaliar a aplicação de coagulantes naturais confeccionados a base de plantas e que possam ser utilizados no tratamento de água para abastecimento humano.

### **2.2. Objetivos Específicos:**

- Avaliar o método de preparo e aplicação que apresenta a maior eficiência no tratamento para cada biopolímero estudado;
- Avaliar e comparar a eficiência na remoção de cor e turbidez dos coagulantes naturais a base de plantas que foram abordados neste trabalho.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Características da Água**

É impossível encontrar água em absoluto estado de pureza na natureza. Ela adquire diversas características físicas, químicas, microbiológicas e radiológicas, devido aos processos que sofre até chegar à estação de tratamento de água (ETA). Por ser um ótimo solvente natural tem facilidade em solubilizar substâncias que são carregadas pelo escoamento superficial e subterrâneo. Ao solubilizar esses elementos a água adquire características que podem influenciar no seu tratamento e em sua qualidade (CAPANEMA, 2004; LIBÂNIO 2010; PAZ, 2007). De acordo com Dos Santos (2004), essas impurezas são constituídas de partículas sólidas, finamente divididas e geralmente indistinguíveis a olho nu. A maioria delas, apresentam cargas superficiais negativas, o que gera uma espécie de repulsão, mantendo-as em suspensão por muito tempo (PAVANELLI, 2001).

A avaliação de parâmetros como turbidez, cor, pH, alcalinidade, acidez, dureza, microbiológicos e radiológicos ajudam a identificar a origem dessas impurezas, além disso, o conhecimento das características da água pode indicar qual a melhor técnica de tratamento a ser utilizada (LIBÂNIO, 2010; PAVANELLI, 2001).

##### *3.1.1. Parâmetros físicos*

Os parâmetros físicos da água influenciam diretamente na aceitabilidade do consumidor, sendo que a percepção do consumidor ocorre pelos sentidos da visão (cor e turbidez), paladar e olfato (sabor e odor) (LIBÂNIO, 2010). Esses parâmetros não geram risco direto à saúde humana, mas a sua presença pode criar condições para o aparecimento de microrganismos patogênicos e de compostos químicos de interesse sanitário (SOLANO, 2000 apud PAZ 2007; VIEIRA, 2004). Esses parâmetros serão descritos a seguir:

##### **3.1.1.1. Cor**

É produzida pela reflexão da luz em coloides dispersos ou pela presença de íons metálicos e resíduos de atividades antrópicas, como descarga de efluentes e lixiviação de vias urbanas e solos agricultáveis (LIBÂNIO, 2010; PAVANELLI, 2001). É diferenciada em aparente e verdadeira, a cor aparente considera a turbidez presente na água, enquanto a verdadeira desconsidera essa turbidez, que é removida por centrifugação ou filtração (CAPANEMA, 2004; DOS SANTOS, 2004).

A matéria orgânica natural é o principal contribuinte para a coloração da água, com a sua decomposição ocorre a formação de substâncias húmicas (PAVANELLI, 2001). Estas substâncias têm elevado peso molecular, sua origem é predominantemente vegetal e possui dimensões coloidais, caracterizando-se por conferir uma cor amarelada à água (LIBÂNIO, 2010).

### **3.1.1.2. Turbidez**

A turbidez pode ser definida como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma certa quantidade de água, devido à presença de partículas em suspensão, tais como argila, detritos sílico argilosos, partículas orgânicas e inorgânicas finamente divididas, compostos orgânicos solúveis coloridos e outros microrganismos (CAPANEMA, 2004; PAVANELLI, 2001). Quanto menor a turbidez da água produzida na ETA, mais eficiente será o processo de desinfecção, já que ao se remover a turbidez também se removem microrganismos patogênicos (DA SILVA, 2005).

### **3.1.2. Parâmetros Químicos**

A presença de matéria dissolvida atribui características químicas à água (CARVALHO, 2008). As matérias podem ser metais pesados, substâncias orgânicas e inorgânicas, agrotóxicos e cianotoxinas, que dependendo da sua toxicidade pode causar efeitos agudos ou crônicos à saúde do consumidor (PAZ, 2007). Abaixo são apresentadas algumas dessas características importantes para o presente estudo:

#### **3.1.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)**

É a concentração dos íons  $H^+$  nas águas e representa a intensidade das condições ácidas e alcalinas de um determinado meio. O monitoramento do pH é uma atividade comum nas ETAs, pois esse parâmetro intervém na coagulação química, controle da corrosão, desinfecção e remoção de dureza (CAPANEMA, 2004; DOS SANTOS, 2004). Esse monitoramento é feito por meio do método potenciométrico em um equipamento chamado potenciômetro ou pHmetro (LIBÂNIO, 2010).

#### **3.1.2.2. Alcalinidade e Acidez**

Alcalinidade é a capacidade de neutralizar ácidos (íons  $H^+$ ) ou minimizar as variações significativas de pH (tamponamento), oriunda dos carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. É importante no processo de coagulação, minimizando reduções significativas do pH após a

dispersão do coagulante. A decomposição de matéria orgânica, atividade respiratória de microrganismos (na respiração é liberado o  $\text{CO}_2$ , que tem caráter ácido) e o lançamento de efluentes industriais, podem elevar os valores de alcalinidade da água (LIBÂNIO, 2010; DOS SANTOS, 2004). Este é um importante parâmetro a ser avaliado para se realizar a coagulação química, já que os principais coagulantes utilizados no Brasil, sulfato de alumínio e cloreto férrico, têm caráter ácido (SPINELLI, 2001).

A acidez é a capacidade de neutralizar bases e também evitar variações bruscas de pH. Pode ter origem natural pela absorção da atmosfera e decomposição da matéria orgânica, ou antrópica, pelo lançamento de despejos industriais e lixiviação do solo de áreas de mineração (LIBÂNIO, 2010). É importante o conhecimento dessa característica para evitar problemas relacionados à corrosão no sistema de armazenamento e distribuição de água tratada (SPINELLI, 2001).

### 3.1.2.3. *Dureza*

Indica a concentração de cátions multivalentes na solução aquosa, como o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) e estrôncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ). Essa propriedade se manifesta pela resistência à reação de saponificação, atribui sabor a água e pode provocar incrustações nas tubulações de água quente, em virtude da precipitação do carbonato a temperaturas elevadas, porém não causa danos à saúde humana. (LIBÂNIO, 2010). Um exemplo de cidade em que a água tem essas características é Sete Lagoas – MG, na cidade existem regiões que são abastecidas com água que contém alta concentração de cálcio e magnésio, ou seja, água dura (SAAE, 2021).

### 3.1.3. *Características Microbiológicas*

Se refere à presença de patógenos como bactérias, vírus e protozoários, que podem gerar efeitos graves à saúde dos indivíduos expostos. A maioria desses organismos vem da água bruta e são removidos ou inativados nas estações de tratamento de água (PAZ, 2007). Para manter o controle da qualidade da água que sai das ETAs, são utilizados organismos indicadores, que quando presentes em quantidade significativa indicam uma má qualidade da água e, quando ausentes, uma boa qualidade. No Brasil, usualmente utiliza-se a *Escherichia coli* como indicador da contaminação fecal (LIBÂNIO, 2010; PAZ, 2007).

### *3.1.4. Características Radiológicas*

O contato das águas superficiais ou subterrâneas com solos e rochas radioativas, pode ocasionar características radioativas à água, sendo mais significativas em aquíferos profundos e nascentes (LIBÂNIO, 2010). A radioatividade das águas pode gerar efeitos agudos ou crônicos à população (PAZ, 2007).

Um exemplo de contaminação com substâncias radioativas é o caso do acidente radiológico com Césio 137, que aconteceu em 1987, no estado de Goiás, que acabou contaminando o ar, a água e o solo. O acidente provocou a contaminação e morte de várias pessoas, muitas até hoje convivem com os efeitos da exposição excessiva à radiação (PORTAL G1, 2017).

## **3.2. Tecnologias de Tratamento de Água**

A água captada de diversas fontes é denominada de água bruta nas Estações de Tratamento (CAPANEMA, 2004). O tratamento dessa água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana, a fim de atender aos padrões de potabilidade. As tecnologias de tratamento apresentam basicamente três fases, são elas: clarificação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010; PAVANELLI, 2001).

A presença dos contaminantes transportados pela água representam riscos, os quais podem causar doenças no homem ou alterar o desempenho normal das tarefas da comunidade (LLOYD et al. 1991 apud PAZ, 2007). De acordo com Paz (2007), o conhecimento desses riscos aumentaram a necessidade de buscar novas metodologias para o controle da qualidade da água, com o objetivo de tornar o abastecimento mais seguro para a população.

Existem diferentes processos para o tratamento da água, a escolha varia de acordo com as características da água e de sua fonte; custos de implantação, manutenção e operação; flexibilidade operacional; localização geográfica e características da comunidade; disposição final do lodo; e aos padrões que se deseja alcançar (LIBÂNIO, 2010; DA SILVA, 2005). A realização de um estudo prévio é fundamental para evitar problemas como, aumento no custo da construção e operação, má qualidade da água produzida e o consumo excessivo de produtos químicos. Além disso, estudos de tratabilidade podem contribuir na redução de custos e proporcionar maior eficiência no tratamento. Esses estudos podem abordar, por exemplo: ensaios para seleção de dosagem e tipos de coagulantes mais adequados; estudos em instalação

piloto para definição do tipo de tratamento e os parâmetros hidráulicos adequados (DOS SANTOS, 2004).

Na Figura 3.1, estão representados alguns processos utilizados no tratamento de água para abastecimento humano e sua descrição.

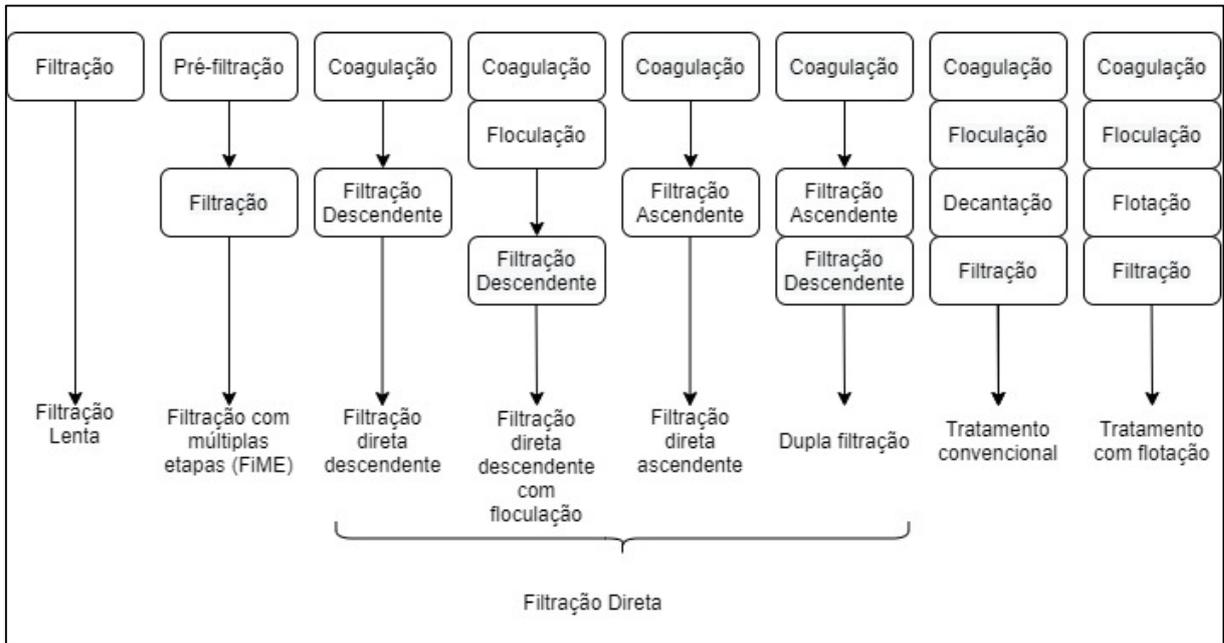
**Figura 3.1** - Principais processos utilizados no tratamento de água e suas respectivas descrições.

<b>Processo</b>	<b>Descrição</b>
Micropeneiramento	Passagem da água por peneiras com malhas de pequena abertura, visando à remoção de material particulado.
Coagulação	Adição de coagulante, visando desestabilizar impurezas presentes na água e facilitar o aumento no tamanho dos flocos gerados na etapa de floculação.
Floculação	Agitação da água realizada após a coagulação, com o objetivo de promover o contato entre as impurezas e, assim, aumentar o tamanho dos flocos.
Decantação	Passagem da água por tanques, no fundo dos quais as impurezas ficam depositadas.
Flotação	Arraste das impurezas para a superfície do tanque, por meio da ação de microbolhas.
Filtração	Pode ser realizada em meio granular ou em membranas. Em meio granular para remoção de material particulado e em membranas para remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo material dissolvido.
Desinfecção	Processo destinado a inativar microrganismos patogênicos presentes na água.
Fluoração	Adição de compostos contendo o íon fluoreto, com a finalidade de combater a cárie infantil.
Estabilização química	Acondicionamento da água, com a finalidade de atenuar os efeitos corrosivos ou incrustantes no sistema de abastecimento e nas instalações domiciliares.

Fonte - Adaptado de Heller (2010).

A Figura 3.2 apresenta as principais tecnologias que podem ser adotadas pelas ETAs e indica os processos e operações comumente utilizadas.

**Figura 3.2 - Principais tecnologias de tratamento de água.**



Fonte – Adaptado de Heller (2010).

### 3.2.1. Filtração Lenta

O tratamento é realizado por processos biológicos, não há necessidade do emprego de coagulantes químicos e demanda uma menor frequência na limpeza dos filtros, essas características facilitam a operação. Apresenta como desvantagem a demanda por grandes espaços físicos para ser implementada (HELLER, 2010).

### 3.2.2. Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)

Nessa tecnologia, ocorre a separação gradual do material em suspensão presente na água bruta, passando por diferentes filtros (pré-filtros) até chegar ao filtro lento, no qual a água será potabilizada, de forma a atender os padrões estabelecidos pela legislação. Cada unidade deve condicionar o efluente para ser submetido ao tratamento posterior, sem sobrecarregá-lo. A FiME pode ser adotada no tratamento de águas com elevados valores de microrganismos e valores médios de turbidez e densidade de algas. Não sendo adequada para águas que contenham cor verdadeira elevada. (HELLER, 2010; PAZ, 2007; SAKAMOTO, 2013).

### 3.2.3. Filtração Direta

É uma tecnologia destinada às águas brutas de melhor qualidade, apresentando sistemas simplificados, onde se pode, em alguns casos, dispensar as etapas de sedimentação, flotação e floculação (SAKAMOTO, 2013). Contempla a filtração direta descendente, descendente com

floculação, ascendente e a dupla filtração. Nesta tecnologia, os filtros rápidos são as únicas unidades destinadas à remoção de sólidos presentes na água e nas quais a água bruta é coagulada antes de ser encaminhada às unidades de filtração (HELLER, 2010). A utilização de polímeros naturais ou sintéticos como auxiliares de coagulação eleva a velocidade de sedimentação e resistência ao cisalhamento dos flocos, com isso retarda a ocorrência de transpasse, fenômeno no qual microrganismos atravessam os interstícios do meio filtrante, conseqüentemente prolongando a vida útil dos filtros (LIBÂNIO, 2010).

Na filtração direta descendente, a água coagulada percorre a camada filtrante de cima para baixo, saindo filtrada na parte inferior do filtro. Na descendente com floculação, a água é floculada antes de entrar no filtro, esse processo é necessário caso as partículas presentes na água tenham tamanho na ordem de 1µm, pois ele promove o aumento no tamanho das partículas, possibilitando uma melhor remoção. Na filtração ascendente, a água coagulada percorre o meio filtrante de baixo para cima. Enquanto na dupla filtração, a água passa por filtros ascendentes e depois descendentes, isso possibilita o tratamento de águas de pior qualidade, que tem uma maior quantidade de material dissolvido e em suspensão. (HELLER, 2010).

#### 3.2.4. *Tratamento Convencional e Flotação*

Também denominado como Ciclo Completo, é a tecnologia mais utilizada nas ETAs do Brasil e do mundo, utilizando todas as etapas tradicionais de tratamento (LIBÂNIO, 2010; PAZ, 2007; SAKAMOTO, 2013).

Nessa tecnologia, após a coagulação a água passa pelos processos de floculação e decantação ou flotação antes de ser encaminhada às unidades de filtração rápida. Os filtros têm a função de reter a partículas em suspensão não removidas nos decantadores. Sabendo que esses processos ocorrem em série, qualquer resultado insatisfatório em uma das unidades interfere no desempenho do ETA. Essa tecnologia é indicada para tratar águas com altas concentrações de material dissolvido e em suspensão (HELLER, 2010).

A Figura 3.3, apresenta um fluxograma do tratamento em ciclo completo. Pode-se observar o emprego de diferentes tecnologias, com flexibilização do *layout* de tratamento para decantação ou flotação, sendo que a decantação é uma tecnologia mais antiga e comum. Quando os flocos formados na etapa anterior apresentam baixa velocidade de sedimentação, pode ocorrer

diminuição da eficiência dos decantadores, acarretando sobrecarga dos filtros. Nessas situações é indicado projetar ETAs que utilizam flotores. A flotação por ar dissolvido é uma tecnologia mais recente e utilizada em águas com a presença de algas e elevados valores de cor verdadeira (HELLER, 2010; LIBÂNIO, 2010; SAKAMOTO, 2013).

**Figura 3.3** - Fluxograma típico da tecnologia de tratamento convencional.



Fonte – Libânio (2010).

### 3.2.5. Potabilidade da Água para Consumo Humano

A Portaria nº 888 de 2021, do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, sendo aplicada a águas provenientes de sistemas convencionais e soluções alternativas de abastecimento. Ela discorre sobre as responsabilidades dos operadores da ETA, Município, Estado e União, além de procedimentos, diversos parâmetros de qualidade, metodologia de análise e penalidades. Para os fins da portaria são adotadas algumas definições:

- Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;
- Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;
- Padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;
- Padrão organoléptico: conjunto de valores permitidos para os parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde;
- Água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade;

- Sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;
- Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição;

A Figura 3.4 apresenta os padrões microbiológicos da água para consumo humano, destacando a análise de *Escherichia coli* e coliformes fecais, por serem indicadores de contaminação fecal e eficiência do tratamento, respectivamente.

**Figura 3.4 - Padrão bacteriológico da água para consumo**

Formas de abastecimento		Parâmetro		Valor máximo permitido
SAI		<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 ml
SAA e SAC	Na saída do tratamento	Coliformes totais		Ausência em 100 ml
	No sistema de distribuição e pontos de consumo	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 ml
		Coliformes totais	Sistemas ou soluções alternativas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.
			Sistemas ou soluções alternativas que abastecem a partir de 20.000 habitantes.	Ausência em 100 ml em 95% das amostras examinadas no mês.
Notas: SAI: solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano; SAA: sistema de abastecimento de água para consumo humano; SAC: solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano.				

Fonte – Ministério da Saúde (2021).

A Figura 3.5 mostra os padrões organolépticos de potabilidade da água para o consumo humano.

**Figura 3.5 – Padrão organoléptico de potabilidade**

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia	7664-41-7	mg/L	1,2
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente	-	uH	15
1,2 diclorobenzeno	90-50-1	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,0003
Dureza total	-	mg/L	300
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor	-	Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,02
Parâmetro	CAS	Unidade	VMP
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	-	mg/L	500
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,05
Turbidez	-	uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5
Notas: CAS: é o número de referência de compostos e substâncias químicas adotado pelo Chemical Abstract Service; VMP: Valor máximo permitido; uH: Unidade Hazen (mgPt-Co/L); uT: Unidade de turbidez.			

Fonte - Ministério da Saúde (2021).

### 3.3. Tratamento de Água por Coagulação e Floculação

A coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água por processos físico-químicos, com duração de poucos segundos entre o coagulante, a água e as impurezas, enquanto a floculação é a aglutinação dessas partículas. Na prática, esses fenômenos acontecem quase simultaneamente, por isso muitas vezes trata-se do processo como coagulação/floculação. A coagulação ocorre na unidade de mistura rápida e a formação de flocos na mistura lenta. Estes são processos de suma importância na potabilização da água, estando presente na grande maioria das tecnologias de tratamento, como demonstrado na Figura 3.2, sendo responsável por remover turbidez, matéria orgânica coloidal e natural, substâncias tóxicas, microrganismos patogênicos e outros passíveis de conferir cor e odor à água (BORBA, 2001; DA SILVA, 2005; HELLER, 2010; LIBÂNIO, 2010).

Esses agentes presentes na água apresentam, em sua grande maioria, carga elétrica superficial negativa, que pode ser justificado pela presença de argilas e substâncias húmicas, que apresentam uma variedade de compostos ionizáveis. Ao realizar a dispersão do coagulante químico em meio aquoso, imediatamente antes do ponto de maior dissipação de energia do misturador rápido, são geradas espécies hidrolisadas (carga positiva) que reagem com as impurezas (carga predominantemente negativa) promovendo a sua desestabilização, que é a redução nas forças de repulsão entre as partículas, facilitando a agregação das mesmas e conseqüentemente a sua sedimentação, que em condições naturais demoraria dias ou até semanas para ocorrer (BORBA, 2001; CAPANEMA, 2004; HELLER, 2010; DOS SANTOS, 2004; DA SILVA, 2005;).

De acordo com Borba (2001) e Da Silva (2005) quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, acredita-se que o processo pode ocorrer sem reações de neutralização entre o coagulante e a água, para formar complexos gelatinosos. Isso porque eles são constituídos de complexos dotados de grandes cadeias moleculares, que apresentam sítios com cargas positivas ou negativas, com grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Esse método pode ser realizado em uma ampla faixa de pH, entre 4 e 12. O mesmo processo ocorre quando são utilizados biopolímeros.

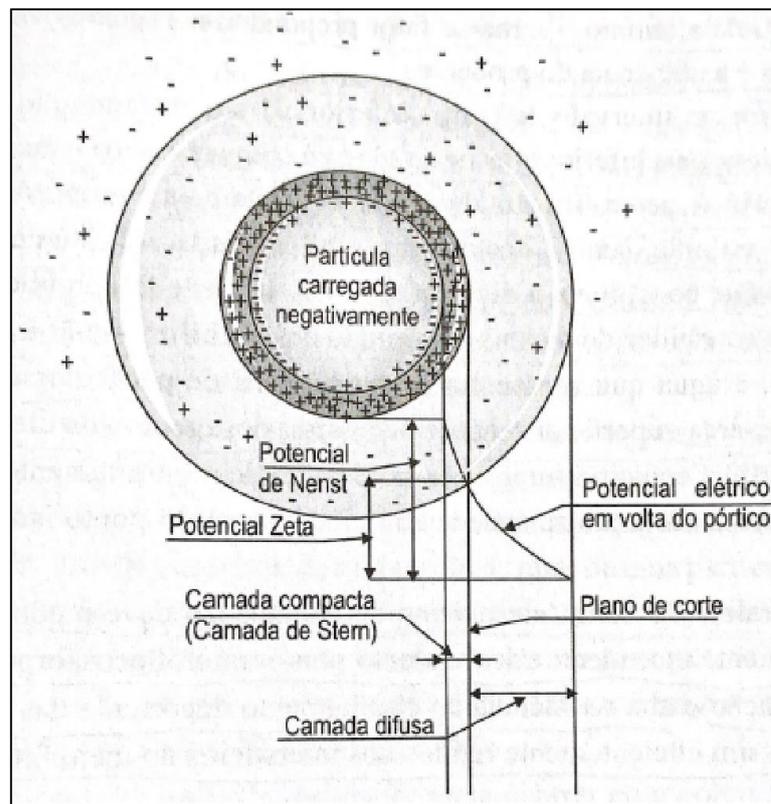
O mecanismo no qual ocorre a coagulação/floculação varia de acordo com o tipo de coagulante utilizado no tratamento da água (DA SILVA, 2005). Esse processo é fruto da atuação de quatro mecanismos distintos, podendo ser realizados juntos ou separados, sendo eles, compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e a formação de pontes químicas (CAPANEMA, 2004; LIBÂNIO 2010; PAVANELLI 2001; SANTOS et al., 2007).

É importante fazer o correto dimensionamento da quantidade de coagulantes que deve ser utilizado no processo de desestabilização da matéria, já que o excesso pode promover a sua restabilização. Esse fenômeno pode ser observado pelo aumento da turbidez, acompanhada pela reversão de cargas das partículas, que é revertida de negativa para positiva por uma adsorção do excesso de íons de cargas contrárias, impossibilitando a desestabilização da matéria (DOS SANTOS, 2004).

### 3.3.1. Compressão da Camada Difusa

Acontece quando sais simples, como cloreto de sódio, são adicionados a um sistema coloidal aumentando a densidade de cargas na camada difusa e diminuindo a esfera de influência das partículas (DA SILVA, 2005). O excesso de íons na água provoca o aumento de íons na camada difusa, os íons com carga positiva atravessam a camada compacta, reduzindo o potencial zeta e a espessura da dupla camada, isso facilita a aproximação das partículas (LIBÂNIO, 2010). O potencial zeta é um parâmetro para medir a magnitude das interações repulsivas entre as partículas, definido como a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e o meio líquido (BORBA, 2001; PAVANELLI, 2001). A Figura 3.6 representa esquematicamente o processo de compressão da dupla camada difusa.

**Figura 3.6** - Dupla camada e potenciais elétricos desenvolvidos ao redor da partícula.



Fonte – Libânio (2010).

### 3.3.2. Adsorção e Neutralização

Ocorre imediatamente após a dispersão do coagulante na massa líquida. As partículas dispersas na massa líquida são desestabilizadas devido às interações entre coagulante-colóide,

coagulante-solvente e colóide-solvente. Assim criam microflocos, que apresentam baixa velocidade de sedimentação e alta resistência ao cisalhamento, fato que facilita a retenção nos interstícios do meio filtrante. Esse mecanismo é importante quando se aplicam tecnologias de filtração direta (CAPANEMA, 2004; LIBÂNIO 2010; PAVANELLI, 2001; SANTOS et al., 2007).

### 3.3.3. *Varredura*

De acordo com Capanema (2014), neste caso não há a preocupação de se eliminar a estabilidade eletrostática do sistema coloidal. Promove-se a saturação da água com o coagulante, controlando-se o pH da mistura, o que poderá provocar a formação de precipitados do tipo  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , que envolvem as partículas coloidais, que adquirem maior volume, facilitando sua sedimentação. Esses flocos podem ser removidos por sedimentação, floculação ou pelo arraste até o meio filtrante. Este mecanismo é muito usado nas ETAs em que se têm floculação e sedimentação antecedendo a filtração. Esse mecanismo de coagulação também é adotado quando a clarificação é feita por flotação (DA SILVA, 2005).

### 3.3.4. *Formação de Pontes Químicas*

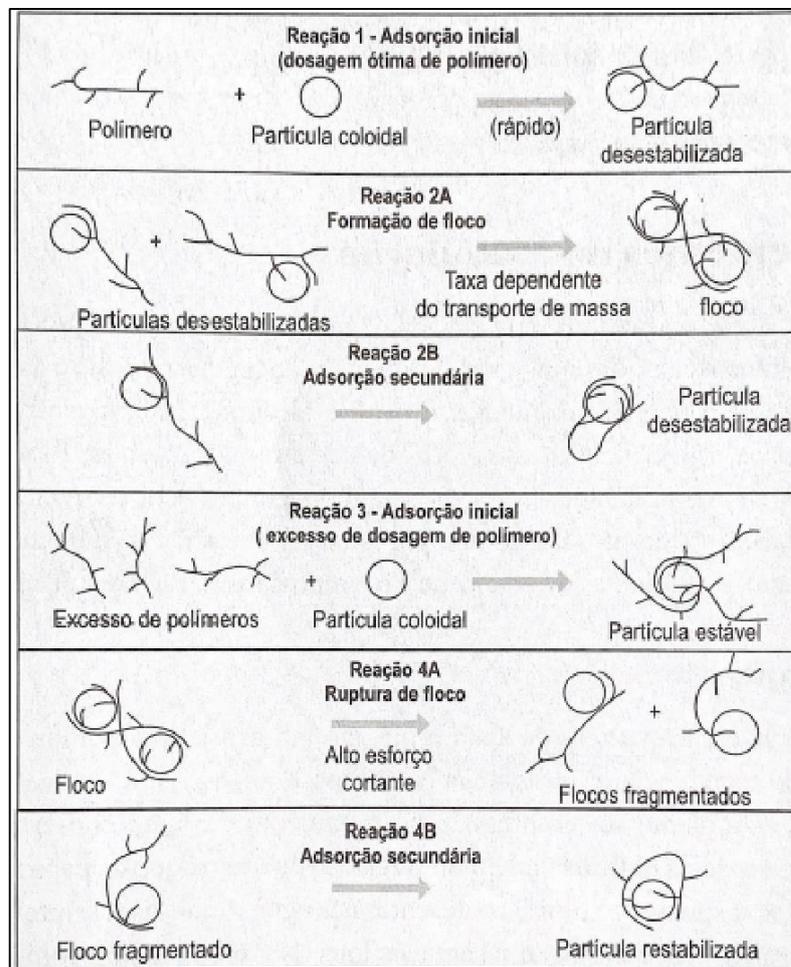
É utilizada com o objetivo de reduzir as dosagens de coagulantes e conferir maior densidade ao floco. São utilizados polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, que possuem sítios com cargas positivas ou negativas que possibilitam a formação de pontes químicas, quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das cadeias dos polímeros (DA SILVA, 2005; LIBÂNIO, 2010).

Segundo Libânio (2010), os polímeros podem ser utilizados como coagulantes primários para águas naturais de baixa cor verdadeira, sobretudo em estações de filtração direta. Nestes casos predomina a utilização de polímero catiônicos de menor peso molecular, em que seu uso apresenta algumas vantagens, como:

- Formação de microflocos mais resistentes à erosão;
- Redução no volume de lodo gerado;
- Redução nos gastos com alcalinizantes para a correção de pH final;
- Maior facilidade de desidratação do lodo gerado.

Por esse mecanismo se caracterizar por ligações interpartículas, sendo um fenômeno de adsorção, a dosagem ótima do polímero é proporcional à concentração de colóides na solução. Em dosagem apropriada os polímeros têm a capacidade de desestabilizar as partículas coloidais, em caso contrário, com dosagem inferior ou superior à adequada, o polímero poderá “enroscar-se” no colóide e não produzir a desestabilização (LIMA, 2007). A Figura 3.7 apresenta esquematicamente a formação das pontes químicas, destacando as reações com concentrações ótimas e em excesso de polímeros.

**Figura 3.7** -Representação esquemática da formação de pontes químicas com o emprego de polímeros



Fonte – Libânio (2010).

A Figura 3.8 apresenta a reação de cada processo de desestabilização frente a alguns fenômenos.

**Figura 3.8** - Características dos processos de desestabilização das partículas.

<b>Fenômeno</b>	<b>Compressão da dupla camada</b>	<b>Adsorção</b>	<b>Varredura</b>	<b>Formação de Pontes</b>
<b>Interação química</b>	Ausente	Predominante	Secundária	Predominante
<b>Alta dosagem de coagulante (ou polímero)</b>	Sem efeito	Restabilização	Favorável	Restabilização
<b>Relação entre concentração de partículas e dosagem de coagulante</b>	Nenhuma	Parcialmente proporcional	Nenhuma	Parcialmente proporcional
<b>Fração da superfície da partícula coberta para adequada agregação</b>	Desprezível	Em geral 50%	Total	Variável

Fonte - Masschelein (1992), apud Libânio (2010).

Fatores como, o tipo de coagulante, pH e alcalinidade da água bruta, condutividade, força iônica, distribuição e tamanho das partículas das impurezas e a homogeneização do coagulante na massa líquida, influenciam no mecanismo de coagulação (CAPANEMA, 2001; DA SILVA, 2005; LIBÂNIO, 2010). Nas ETAs convencionais, a eficiência deste mecanismo influencia diretamente no desempenho das demais etapas do tratamento, favorecendo a qualidade microbiológica do efluente, aumentando a vida útil dos filtros e reduzindo o custo do metro cúbico de água tratada (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Santos et al. (2007), a escolha do coagulante depende dos seguintes critérios: sua adequabilidade à água bruta, a tecnologia de tratamento empregada, o custo do coagulante e dos produtos químicos porventura associados, como alcalinizantes, ácidos ou auxiliares de coagulação, e o custo e manutenção dos tanques e dosadores. Além disso, outro aspecto a ser observado deve ser as características do lodo gerado no tratamento, que pode variar de acordo com a qualidade da água bruta e do tratamento realizado.

A maioria das ETAs utilizam coagulantes inorgânicos, como, o sulfato de alumínio, sulfato férrico e o cloreto férrico, sendo que nesse cenário, o sulfato de alumínio se destaca pela

eficiência e menor custo. Essa prática vem sendo discutida devido à presença de alumínio remanescente na água tratada e no lodo gerado pelo processo, que em concentrações elevadas dificulta a disposição no solo, podendo causar a contaminação do mesmo (CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009).

### 3.3.5. Coagulantes Químicos

Os sais de alumínio, cloreto ferroso e cloreto férrico são os agentes mais utilizados no tratamento de água, por serem de baixo custo e terem capacidade coagulante já comprovada. Devido a sua grande eletropositividade, quando dissolvido em água, geralmente formam compostos gelatinosos de cargas positivas (BORBA, 2001; CARVALHO, 2008). Esses coagulantes só são eficientes se a água bruta tiver alcalinidade natural ou adicionada, devido ao excesso de prótons liberados por eles (BORBA, 2001). A Figura 3.9 apresenta os principais coagulantes utilizados e suas respectivas funções.

**Figura 3.9** – Coagulantes mais utilizados na obtenção de água potável.

Coagulante	Função
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> - Sulfato de Alumínio PAC - Policloreto de Alumínio FeCl <sub>3</sub> - Cloreto Férrico FeSO <sub>4</sub> - Sulfato Ferroso	Cátions polivalentes (Al <sup>+3</sup> , Fe <sup>+3</sup> , etc) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex: Al <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> ), ao adsorverem os particulados, geram uma floculação parcial.
Ca(OH) <sub>2</sub> - Hidróxido de Cálcio	Usualmente utilizado como agente controlador de pH. Porém, os íons cálcio atuam também como agentes de neutralização das cargas elétricas superficiais, funcionando como um coagulante inorgânico.
Continua. Polímeros Aniônicos e Não Iônicos	Geração de “pontes” entre as partículas já coaguladas e a cadeia de polímeros, gerando flocos de maior diâmetro.

Continua.

Polímeros Catiônicos	Neutralização de 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. Utilizando em substituição aos floculantes inorgânicos convencionais.

Fonte – SNatural (2021).

### 3.3.6. *Coagulantes Naturais*

A utilização de coagulantes naturais surge como uma alternativa às localidades que não têm acesso à água potável, geralmente são pequenas comunidades no interior do país e periferias de grandes cidades (DA SILVA, 2005). Essa não é uma ideia atual, vários países asiáticos, africanos e sul-americanos estão utilizando diversas plantas como coagulantes (CARVALHO, 2008). O polímero natural tem menor custo, sendo que muitos destes produtos fazem parte da alimentação humana, portanto não apresentam risco de danos à saúde dos consumidores a longo prazo (LIMA, 2007).

Os estudos referentes aos coagulantes naturais, geralmente são direcionados aos mais comuns, sendo eles: as sementes de *Moringa Oleifera*, tanino, cactos e as sementes de Nirmali (CHOY et al., 2014). Neste trabalho o estudo da Nirmali foi substituído pelo Quiabo, que é um produto amplamente consumido e comercializado em todo o Brasil. Os resíduos de algumas frutas também podem ser utilizados como coagulantes naturais a base plantas, como as sementes de mamão papaia, sementes de damasco e cascas de laranja (CHOY et al., 2014).

A presença de agentes ativos, como carboidratos, ácidos e proteínas, tem sido ligada aos efeitos de purificação observados em várias plantas, mas a determinação exata desses agentes presentes em cada tipo de coagulante ainda é uma lacuna a ser preenchida (CHOY et al., 2014). O mecanismo de coagulação/floculação dos biopolímeros é semelhante ao dos polieletrólitos, ou seja, pela formação de pontes químicas, já que são polímeros naturais com grandes cadeias de carbono ou silício e dotados de sítios com cargas positivas e negativas (BORBA, 2001; DA

SILVA, 2005). Porém, apenas os biopolímeros catiônicos podem ser utilizados como coagulante primário (SPINELLI, 2001). O polímero é adsorvido na superfície da partícula coloidal, seguido da redução de carga entre as partículas coloidais e o polieletrólito, apresentando-se como um processo físico-químico. As cadeias poliméricas podem reagir entre si e com outras partículas, ao interagir com partículas de carga oposta ocorre a neutralização de cargas, permitindo a aproximação através das forças de Van der Waals, que pode ocorrer entre as partículas coloidais, coloide e polímero ou entre polímeros. Essas interações promovem a agregação das partículas e desestabilização dos coloides, e conseqüentemente a sua sedimentação (PACHECO, 1970).

Polímeros sintéticos e naturais, têm sido utilizados como auxiliares de coagulação/floculação, com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação e resistência ao cisalhamento dos flocos, preservar os filtros e propiciar a diminuição da dosagem de coagulantes químicos (BORBA,2001; DA SILVA,2005; LIBÂNIO, 2010). Esses polímeros devem possuir cadeia longa, de modo que a carga negativa dos coloides possam ser superadas e assim permitir a adsorção das partículas em sua superfície, isso ocorre geralmente pelo mecanismo de formação de pontes químicas (FERREIRA, 2015).

O potencial dos biopolímeros no tratamento de água para o abastecimento humano é indiscutível, mas a sua popularização e comercialização enfrentam diversos problemas financeiros, de pesquisa e desenvolvimento, consciência de mercado, apoio e reconhecimento das industriais sobre a necessidade de se adaptar a essa nova tecnologia, além da aprovação e regulamentação dessas técnicas (CHOY et al., 2014).

### *3.3.7. Vantagens e Desvantagens dos Coagulantes*

A Figura 3.10 apresenta as vantagens e desvantagens associadas ao uso dos coagulantes naturais e químicos.

**Figura 3.10** - Vantagens e desvantagens dos coagulantes naturais e químicos

<b>Coagulantes Naturais</b>		<b>Coagulantes Químicos</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiente no processo de coagulação;</li> <li>Biodegradável;</li> <li>- Não tóxico;</li> <li>- Produz lodo em menor quantidade e com menores teores de metais em comparação aos coagulantes químicos;</li> <li>Adsorção de metais dissolvidos na água;</li> <li>- Possibilidade de produção local;</li> <li>- Redução da toxidez oriunda de fontes contendo cianofíceas ou bactérias clorofiladas.</li> <li>- Não consome alcalinidade do meio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode provocar sabor e odor à água;</li> <li>- Pode permitir o crescimento excessivo de microrganismos presentes na ETA, já que os coagulantes naturais são matéria orgânica e podem ser consumidos por esses microrganismo, facilitando a sua reprodução. Esse crescimento excessivo resulta na colmatação dos diferentes compartimentos, com isso aumenta a necessidade de manutenção e os custos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiente no processo de coagulação;</li> <li>- Amplamente utilizado e comercializado;</li> <li>- Diversos estudos dão suporte a sua utilização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode provocar danos à saúde humana, principalmente ao sistema nervoso, devido a neurotoxicidade de substâncias como o sulfato de alumínio;</li> <li>- Grande quantidade de lodo produzido no final do tratamento;</li> <li>- O lodo contém substâncias tóxicas que dificultam a sua disposição.</li> </ul>

Fonte – Adaptado de Carvalho (2008), Choy et al. (2014), Coral, Bergamasco e Bassetti (2009), Da Silva (2005), Lima (2007) e Poumaye et al. (2012).

#### 4. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia adotada no presente trabalho, tendo em vista as dificuldades de uso dos laboratórios do CEFET – MG, campus I, devido à pandemia, se baseou em um levantamento e fundamentação teórica, nas línguas portuguesa e inglesa, de livros, artigos, sites e trabalhos acadêmicos que abordem a temática de tratamento de água utilizando coagulantes naturais.

Este trabalho é uma revisão bibliográfica narrativa, que possibilita a aquisição e atualização de conhecimentos sobre determinado assunto em um curto espaço de tempo, sem busca de fontes predeterminadas e específicas (ROTHER, 2007). Para isso foram realizadas pesquisas exploratórias com o objetivo de proporcionar um maior conhecimento acerca do tema, em plataformas digitais como, Google Acadêmico, Scielo, Periódicos CAPES e outros sites que disponibilizam material científico, utilizando palavras chave, como: tratamento de água; coagulantes; coagulantes naturais; biopolímeros; Quiabo; *Moringa Oleifera*; Cactos. Além disso, foram utilizados livros dedicados ao tratamento de água.

Cerca de 80 trabalhos foram pesquisados, sendo que 47 foram utilizados. Para a seleção dos materiais a serem utilizados na confecção do presente trabalho foi realizada uma análise qualitativa dos dados. Primeiro realizou-se uma leitura dos resumos dos trabalhos e artigos encontrados, separando os mais relevantes e que estavam mais relacionados com o tema do trabalho, de acordo com a perspectiva do autor. Após essa pré-seleção, foi necessário realizar uma leitura detalhada de todos os trabalhos, destacando os pontos mais importantes e que deveriam ser discutidos, apresentados e explicados neste trabalho. A consulta aos livros foi guiada pelo sumário dos mesmos, sempre com uma busca mais direcionada a sanar dúvidas referentes aos trabalhos que estavam sendo consultados e na busca por definições de processos. Buscas por artigos específicos foram necessárias quando os mesmos foram citados por outros autores.

Com base no material consultado foi possível entender os processos de tratamento de água e discutir a possibilidade de utilização dos biopolímeros nestes processos. As informações obtidas durante a leitura dos trabalhos foram destacadas e organizadas em quadros e tabelas, de maneira a facilitar a avaliação e comparação dos resultados dos estudos. Com isso, foi possível verificar a eficiência na remoção de cor e turbidez, dos diferentes coagulantes naturais.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Diversas plantas apresentam propriedades que podem ser utilizadas como coagulantes e floculantes naturais, utilizadas sozinhas ou como auxiliares de produtos químicos. Neste estudo, optou-se por destacar as que apresentam relativa importância no cenário nacional, considerando sua utilização, estudos existentes, disponibilidade e produtividade.

A Figura 5.1 apresenta uma síntese dos coagulantes naturais a base de planta que foram abordados no presente trabalho, destacando suas características físicas e químicas, além de sua aplicabilidade.

Figura 5.1 – Quadro de Resultados.

Coagulante Natural	Agente Ativo	Modo de preparo/aplicação	Eficiência de Remoção		Mecanismo de Remoção	Fonte
			Cor	Turbidez		
<i>Moringa Oleifera</i>	Proteínas catiônicas	Sementes secas e trituradas aplicadas diretamente na água superficial a ser tratada com coagulação/floculação, sedimentação e em alguns casos filtração.	94% a 97,5%	92% a 99%	Adsorção e Neutralização de cargas	Arantes et al. (2014), Borba (2001), Cardoso et al. (2008), Lo Monaco et al. (2010), Paterniani, Mantovani e Sant'Anna (2009).
Tanino	Polieletrólito catiônico	Produto industrializado aplicado diretamente na água superficial que vai ser tratada por coagulação/floculação, seguida de sedimentação ou filtração	0% a 20%, com casos de acréscimo de cor	79% a 99%	Neutralização de cargas e formação de pontes	Arantes et al. (2014), Gomes, De Souza e Bruzze (2017), Nepomuceno et al. (2018), Rôla et al. (2016) e Zolett e Jabur (2013).
Quiabo	Polímero aniônico	Auxiliar de Coagulação	Acima de 74%	69% a 91,2%	Adsorção, Neutralização de cargas e Varredura	Bathista et al. (2001), Lima (2007) e West (2016).
		Auxiliar de Floculação	87%	92% a 100%		
		Auxiliar de Filtração	-	90%		
Cactos	Ácidos Galactorônicos	Pode ser utilizado como coagulante primário ou auxiliar de coagulação de algum coagulante químico. Aplicado na forma de mucilagem ou sementes pulverizadas para tratar águas superficiais. O tratamento contendo a etapa de filtração apresenta eficiência mais elevada	67% a 97%	72% a 96%	Formação de Pontes	Ferreira (2015), Goes et al. (2017), Ostrowski (2014), Silva (2016) e Zara, Thomazini e Lenz (2012).

Fonte – Autores (2021).

### 5.1.1. *Moringa Oleifera*

A *Moringa Oleifera* é a espécie mais conhecida da família *Moringaceae*, originária da Índia, mas presente em todo o mundo, principalmente nos países de clima tropical. No Brasil, os seus nomes populares são Lírio Branco e Quiabo de Quina. A espécie é caracterizada pelo seu rápido crescimento e pode dar frutos no seu primeiro ano de vida. O seu plantio pode ocorrer através de mudas, sementes ou estacas. Tem diversas utilidades para o ser humano, o óleo obtido de suas sementes pode ser utilizado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos e como combustível para lamparinas, as folhas podem ser aproveitadas como verduras cruas, as vagens como verduras cozidas e as sementes maduras podem ser torradas para a fabricação de farinha (CORRÊA, 1984 E GERDES, 1996 apud DA SILVA, 2005; DA SILVA, 2005). A Figura 5.2 apresenta essa árvore, podendo se identificar as vagens com as sementes.

**Figura 5.2 - *Moringa Oleifera*.**



Fonte – NATUREZA BELA (2011).

Diversos estudos apresentam a *Moringa* como uma alternativa para o tratamento de água destinada ao abastecimento humano, por ser econômica e ecologicamente correta, além de ser um material abundante, biodegradável, não tóxico e com baixo índice de formação de lodo (MARTINS, DE OLIVEIRA e GUARDA, 2014).

Para a confecção do biopolímero, normalmente são extraídas as sementes, colocadas para secar e depois são trituradas, em alguns casos, o material triturado é posteriormente peneirado. As sementes trituradas são colocadas em contato com a água que deve ser tratada, em aparelho de Jar Test, variando as concentrações do coagulante, velocidade de rotação, tempo de mistura rápida, tempo de mistura lenta e sedimentação, com o objetivo de se encontrar os parâmetros ótimos para o processo (ARANTES et al., 2014; BORBA, 2001; PATERNIANI, MANTOVANI e SANT'ANNA, 2009; STROHER et al., 2013).

A utilização deste tipo de coagulante se mostrou muito eficiente tanto no tratamento por sedimentação, quanto no tratamento por filtração, apresentando uma eficiência de remoção de turbidez acima de 92% e de cor acima de 94%, sem alterações significativas no pH da água (ARANTES et al., 2014; BORBA, 2001; CARDOSO et al., 2008; DA SILVA, 2005; LO MONACO et al., 2010; PATERNIANI, MANTOVANI e SANT'ANNA, 2009). Essa capacidade de coagular e flocular colóides em águas naturais que apresentam cor e turbidez, se atribui a proteínas catiônicas encontradas na semente da Moringa (DA SILVA, 2005).

O artigo apresentado por Pereira et al. (2015) realiza uma análise comparativa entre a eficiência na remoção de cor e turbidez proporcionada pelo tratamento com a *Moringa oleífera* e o sulfato de alumínio. Em relação a remoção de ambos apresentaram resultados satisfatórios, porem na remoção de turbidez a moringa apresentou uma eficiência bem mais elevada, aproximadamente três vezes o valor que o coagulante químico proporcionou.

De acordo com Da Silva (2005), no uso de sementes da *Moringa Oleífera* além do tratamento físico de remoção de cor e turbidez, existe também um tratamento biológico eliminando microrganismos patogênicos presentes na água. Isso ocorre devido ao fato de grande parte dos microrganismos estarem ligados fisicamente às partículas em suspensão na água, que quando são removidas eliminam estes agentes patogênicos.

Por ser um produto natural, pode-se observar uma variação na eficiência do tratamento, devido às características das sementes, armazenamento e preparo (ARANTES et al., 2014). É importante observar o estado de conservação das sementes, caracterizado pela cor branca da polpa, boa textura e consistência, ausência de umidade, fungos e bactérias. O bom rendimento da moringa como coagulante está diretamente relacionado a estas características (DA SILVA, 2005).

O aumento na concentração do coagulante melhora a remoção de cor e turbidez, porém o excesso pode prejudicar essa remoção, logo, é necessário realizar estudos para se determinar a concentração ótima do coagulante. Um aspecto negativo do uso deste material é o fato de as sementes de *Moringa Oleifera* aumentarem a concentração de matéria orgânica no efluente tratado, podendo provocar cor e odor à água, através da fermentação anaeróbica dessa matéria. Essa matéria orgânica, deve ser eliminada durante as fases de coagulação/floculação, sedimentação e desinfecção com cloro gasoso ou algum produto similar. (BORBA, 2001; DA SILVA, 2005; PATERNIANI, MANTOVANI e SANT'ANNA, 2009; STROHER et al., 2013).

As sementes de *Moringa* podem ser consideradas uma alternativa viável para o tratamento simplificado de águas (CARDOSO et al., 2008; DA SILVA 2005). O estudo de Da Silva (2005) evidencia que a polpa da semente de *Moringa* tem a mesma eficiência que o sulfato de alumínio, um dos principais coagulantes químicos utilizados nas ETAs. A *Moringa* satisfaz as características exigidas para um bom coagulante, ou seja, oferece uma redução em termos de turbidez maior que 90,0 %. No entanto, para fins potáveis é importante acrescentar as etapas de filtração e desinfecção da água, com o objetivo de atender aos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, citados pela portaria nº 888 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (CARDOSO et al., 2008).

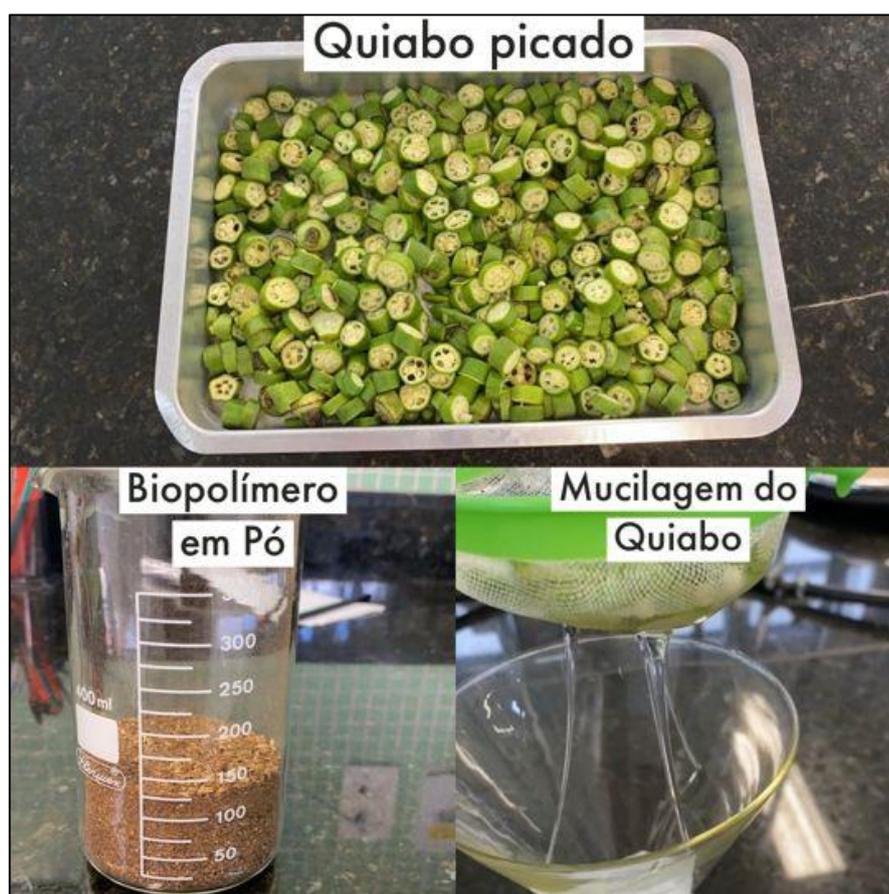
O seu uso para o tratamento coletivo em pequenas comunidades pode estar associado a um elevado custo de implantação e operação, devido a necessidade de grandes áreas para o cultivo da planta, manutenção e mão de obra na produção, fatores que inviabilizam a sua utilização (BORBA, 2001; DA SILVA, 2005). Uma alternativa seria a utilização voltada para o tratamento individual ou de poucas residências, de maneira a minimizar os custos com o cultivo da planta. De maneira geral, a utilização da *Moringa* no tratamento de água para abastecimento humano se mostrou eficiente e é uma alternativa ao tratamento simplificado para a população que não dispõe de água tratada (DA SILVA, 2005).

## **5.2. Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)**

O quiabo é uma hortaliça amplamente cultivada em regiões tropicais. Seus frutos, normalmente, são consumidos imaturos como salada, refogado, cozido ou assado e os frutos com elevado grau de amadurecimento geralmente são descartados pelo consumidor. Estes frutos descartados são uma ótima opção para a confecção do biopolímero, já que tem baixo custo de aquisição e suas

sementes são ricas em óleos e proteínas. A maneira mais simples de se aplicar o polímero natural obtido do quiabo é através da pulverização após a moagem (LIMA, 2007). A Figura 5.3 apresenta o quiabo picado e suas duas formas de utilização como biopolímeros, em pó e a mucilagem.

**Figura 5.3** - Quiabo e suas formas de utilização como biopolímero.



Fonte – Autor..

Em sua composição química estão presentes mono, di e polissacarídeos, e éster ou amidas de cadeia longa, com grande quantidade de íons  $H^+$  na sua estrutura e  $OH^-$  disponíveis ao longo da cadeia, isso favorece a interação entre o quiabo e as partículas instáveis dispersas na solução (BATHISTA et al., 2001). De acordo com Tomoda et al. (1985) apud Lima (2007), as propriedades coloidais do pó das sementes, permitem a retenção de impurezas, com substituição do sulfato de alumínio na purificação de águas. Na forma de pó, o quiabo é considerado um polímero aniônico, em que sua longa cadeia facilita a agregação de flocos e o ganho de peso para melhorar o processo de sedimentação (LIMA, 2007).

Outra maneira de utilização do quiabo é na forma de mucilagem, que é classificada como um polissacarídeo aniônico que pode ser utilizado como floculante, por não apresentar sítios ionizáveis ao longo de sua cadeia, além de poder ser utilizado como coagulante (BATHISTA et al., 2001; NOGUEIRA, 2012).

Lima (2007) e West (2016), em seus trabalhos, testaram a utilização do quiabo como auxiliar de um coagulante químico, nas etapas de coagulação, floculação e filtração, na forma de pó e mucilagem. Os resultados demonstraram uma melhora considerável na eficiência do sistema, principalmente na remoção de cor e turbidez, com valores de remoção sempre acima de 74%, chegando próximo de 100% para esses parâmetros. Essa boa eficiência na remoção de turbidez indica que o quiabo promove a agregação do material suspenso e a formação de flocos mais pesados, isso facilita a remoção pelo processo de decantação. Nos testes, foi possível identificar que na utilização do coagulante químico, sem auxílio do biopolímero, a redução do pH da água foi maior.

Em seu trabalho, West (2016) testou a eficiência na remoção de cor e turbidez do sulfato de alumínio como coagulante e comparou os resultados com os que foram obtidos ao se utilizar o quiabo em pó e mucilagem como auxiliares de coagulação e floculação desse coagulante químico. É possível observar um aumento na eficiência para a remoção de turbidez de 61,77%, quando se utiliza o coagulante químico sozinho, para 100% quando se utiliza o sulfato de alumínio associado com a mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação. Se tratando de cor, a remoção promovida pelo coagulante químico individualmente é de 73,97%, quando associado com o pó de quiabo ou com a mucilagem, ambos como auxiliares de coagulação, os resultados são 69,73% e 75,30%, respectivamente. Quando a associação é realizada com a mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação, a remoção de cor se eleva para 87,01%.

No processo de tratamento da água, é necessário determinar a concentração ótima do coagulante e do biopolímero, já que o excesso na dosagem de quiabo pode aumentar a cor da água. Na forma de pó, este biopolímero se mostrou ineficiente para remover a cor (WEST, 2016).

O quiabo como auxiliar de filtração é interessante para melhorar a qualidade das águas decantadas e filtradas, principalmente em estações que operam com sobrecarga. A utilização do auxiliar permite a redução na dosagem do coagulante químico, fortalece a agricultura familiar, tem menores custos associados quando comparados aos custos dos demais polímeros

naturais e sintéticos utilizados como auxiliares no processo de tratamento de água e esgoto, além de ser um produto biodegradável e não tóxico. (LIMA, 2007; WEST, 2016).

### 5.3. Cactos

Os cactos pertencem a uma família de plantas chamada de *Cactaceae*, nativa do continente americano. No Brasil, estão presentes principalmente no bioma da Caatinga, devido as características climáticas da região, que favorecem o seu desenvolvimento (CAVALCANTE, TELES e MACHADO, 2013). Essas plantas apresentam estruturas chamadas de cladódios, também chamadas de raquetes, essas são as partes utilizadas para a confecção do biopolímeros na forma de mucilagem e suas sementes para produzir o biopolímeros em pó (FERREIRA, 2015). Os modos de preparo que apresentam maior eficiência são a secagem da semente seguida da pulverização, e a produção da mucilagem (FERREIRA, 2015; GOES et al., 2017). A Figura 5.4 apresenta o cacto *Opuntia cochenillifera*, também conhecido como Palma, essa espécie é facilmente encontrada no Nordeste brasileiro.

**Figura 5.4 - *Opuntia cochenillifera*.**



Fonte – NATUREZA BELA (2016).

Várias espécies de cactos são utilizadas como coagulantes naturais, alguns exemplos são: *Opuntia cochenillifera*, *Cereus jamacaru* e a *Opuntia ficus-indica* (CACHINO et al., 2021; FERREIRA, 2015; OSTROWSKI, 2014). Sua utilização como coagulante natural no tratamento de água para abastecimento humano é considerada recente, quando comparada a

outras plantas utilizadas para este fim, como a *Moringa Oleifera* e a Nirmali (YIN, 2010). Ela pode ser utilizada como um coagulante primário ou como um auxiliar de coagulação e floculação de coagulantes químicos, como o Policloreto de Alumínio (PAC), Cloreto Férrico e o Sulfato de Alumínio (SILVA, 2016; FERREIRA, 2015; OSTROWSKI, 2014; ZARA, THOMAZINI e LENZ, 2012)

*Opuntia* é um gênero da família cactácea e seu principal mecanismo de coagulação é a formação de pontes, em que as partículas presentes na solução ficam ligadas a uma espécie de polímero produzida pelas espécies de cactos. Vários estudos apontam o ácido galacturônico como um dos principais agentes coagulantes ativos dos cactos, este ácido está presente na mucilagem do cacto (CHOY et al., 2014; YIN, 2010). Cachino (2021), afirma que alguns estudos testam a extração da pectina, um polímero presente nas cactáceas responsável por induzir os processos de coagulação e floculação.

No trabalho desenvolvido por Zara, Thomazini e Lenz (2012) é possível observar que o sulfato de alumínio utilizado sozinho promove uma remoção de 88% da turbidez presente na água. Quando se utiliza polímero de cacto em conjunto com diferentes auxiliares de coagulação e floculação é possível verificar o aumento da remoção de turbidez, com valores acima do obtido pela aplicação do coagulante metálico sem os extratos.

A qualidade da água natural e a metodologia utilizada no tratamento influenciam diretamente no desempenho do coagulante, uma etapa do tratamento que eleva de maneira considerável a sua eficiência é a filtração (FERREIRA, 2015; GOES et al., 2017). Os flocos ficam maiores devido a atuação do biopolímero, isso facilita a sua retenção nos filtros e a clarificação da água.

Para comunidades mais simples, sem muitos recursos financeiros e tecnológicos, a utilização do Cacto Madacaru associado a exposição à radiação solar, como método simplificado para o tratamento de água para o abastecimento humano, é uma alternativa possível e com resultados favoráveis. Ela apresenta uma remoção de turbidez acima de 65% e uma remoção de coliformes acima de 98% (CACHINO et al., 2021). Além disso, a utilização do cacto como auxiliar de coagulação e floculação de coagulantes metálicos, diminui os custos do processo de tratamento de água, reduz o lançamento de lodo com resíduos de alumínio, substituindo-o por um lodo biodegradável e aumenta a eficiência do processo de clarificação nas ETAs (OSTROWSKI, 2014).

#### 5.4. Tanino

Os taninos são compostos polifenólicos, extraídos da casca de vegetais, como a Acácia Negra (Figura 5,4), que tem diversas aplicações, como agentes de ligação proteica, antioxidantes, prooxidante, como agente bronzeador, na produção de materiais compósitos, adsorventes na remoção de íons metálicos e também como coagulantes. É um clarificador natural de água e existem relatos de que funciona em todos os tipos de águas residuárias. A coagulação acontece por meio da neutralização de cargas e formação de pontes entre as partículas dos colóides. Este é o primeiro coagulante natural industrializado e comercializado por diversas empresas em todo o mundo, embora no Brasil ainda poucas empresas sejam conhecidas por utilizarem taninos na fabricação de produtos voltados para o tratamento de água. (CHOY et al., 2014; CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009; MARTINEZ, 1996 e MARTINEZ et al., 1997, apud CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009; MARTINS, DE OLIVEIRA e GUARDA, 2014).

**Figura 5.5 - Acácia Negra.**



Fonte – CIÊNCIA E CLIMA (2019)

A extração dos taninos é relativamente simples, quando comparado aos outros tipos de coagulantes naturais, além de não necessitar de processos de purificação e isolamento de seus componentes (CHOY et al., 2014). Para os ensaios de tratabilidade, é utilizado o coagulante industrializado, estes ensaios são realizados em aparelho de Jar Test, no qual é possível

conhecer, estudar e otimizar os processos de coagulação, floculação e sedimentação (RÔLA et al., 2016). Por ser um produto industrializado e padronizado, apresentou um comportamento homogêneo ao longo dos ensaios (ARANTES et al., 2014). Alguns ensaios utilizam a filtração, posterior à este processo.

Alguns estudos avaliam a eficiência da utilização de taninos no tratamento de água para o abastecimento público, com baixa e também com alta turbidez. Este coagulante se mostrou eficiente nos dois casos, com remoção acima de 90% para águas com elevada turbidez e acima de 79% para águas com baixa turbidez (ARANTES et al., 2015; GOMES, DE SOUZA e BRUZZE, 2017; NEPOMUCENO et al., 2018; RÔLA et al., 2016). Essa diferença, pode ser explicada pelo método de avaliação do tratamento, segundo Libânio (2010), para águas muito turvas, é interessante avaliar o valor remanescente da turbidez, pois a remoção percentual tende a ser da mesma ordem de grandeza. Já para águas com baixa turbidez, a avaliação deve ser feita por porcentagem.

Ao comparar a utilização do sulfato de alumínio com o Tanfloc para o tratamento de água, é possível observar um aumento no teor de sólidos sedimentáveis, uma menor variação do pH da solução e necessita de uma menor quantidade de coagulante, comparada ao sulfato de alumínio, para promover uma maior remoção de turbidez. Concentrações mais elevadas de coagulante não promovem benefícios em termos de redução efetiva da turbidez (CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009).

O principal mecanismo de remoção identificado na utilização dos taninos é a formação de pontes, um indício desse mecanismo é o fato de vários flocos ficarem aderidos às paredes e nas hélices dos jarros. As longas cadeias poliméricas conseguem adsorver grande parte das impurezas presentes na solução, proporcionando uma água de melhor qualidade, com menores valores de cor e turbidez (NEPOMUCENO et al., 2018; RÔLA et al., 2016).

O tratamento com taninos não provoca grandes alterações no pH da água, já que ele não consome a alcalinidade do meio, ao contrário do sulfato de alumínio, que reduz consideravelmente o pH da solução (CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009). No estudo de Rôla et al. (2016), o autor identifica a faixa ótima do pH de coagulação do tanino entre 6,6 e 7,0, essa faixa pode ser um pouco mais ampla, chegando ao intervalo de 6,0 a 9,0 (BONGIOVANI et al., 2010).

Uma vantagem dos coagulantes orgânicos, como o tanino, é o fato de serem moléculas biodegradáveis, podendo ser destruídas no próprio tratamento. É importante manter atenção aos níveis de microrganismos presentes na ETA, já que a biodegradabilidade dos coagulantes orgânicos favorecem o crescimento de microrganismos, podendo acarretar na colmatação dos diferentes compartimentos da estação, necessitando de operações de manutenção mais frequentes e aumentar o custo do tratamento (DA SILVA, 2004).

Os trabalhos de Nepomuceno et al. (2018) e Zolett e Jabur (2013), mostram que a eficiência do tanino comparada à dos coagulantes químicos é semelhante e atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação, com isso, o tanino se mostra mais vantajoso na questão econômica, já que é necessária uma menor dosagem para se obter a mesma eficiência, além de produzir menos lodo.

## 6. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível verificar a eficiência dos coagulantes naturais a base de plantas no processo de tratamento de água para o abastecimento humano, com destaque para a *Moringa oleífera*, que apresentou os melhores valores de remoção de cor e turbidez, tem um modo simples de aplicação e é uma planta comum no território brasileiro.

Estes coagulantes atuam na etapa de clarificação da água, sendo essa uma das mais importantes de todo o processo tratamento. A remoção de turbidez proporcionada por esses biopolímeros, utilizados sozinhos ou como auxiliares de coagulantes metálicos como, sulfato de alumínio e cloreto férrico, foram satisfatórias e produziram águas que se enquadram nos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

Os coagulantes naturais não consomem alcalinidade do meio e quando associados aos coagulantes químicos, a variação da pH é minimizada. A filtração melhora a qualidade da água tratada com o biopolímeros, isso pode ser justificado pelo fato dele aumentar o tamanho dos flocos e facilitar a retenção dos mesmos nos interstícios do meio filtrante. A dosagem dos coagulantes é um importante fator a ser analisado, já que o excesso de coagulantes naturais eleva a concentração de matéria orgânica na água a ser tratada, podendo atribuir características organolépticas indesejáveis à água.

De modo geral a falta de metodologias consolidadas, o conhecimento de quais são os princípios ativos de cada coagulante, como extrair e as dosagens corretas para se aplicar, dificultam a utilização desses biopolímeros em larga escala. Novos estudos são necessários para consolidar essas plantas como alternativas para o tratamento de águas para o abastecimento humano. Feito isso, é possível reduzir a utilização de coagulantes químicos e fornecer uma alternativa eficiente, de fácil utilização e baixo custo às populações carentes, e dessa forma ajudar a sanar os problemas associados ao abastecimento de água no Brasil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANTES, C. C.; RIBEIRA, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; TATEOKA M. S. S.; SILVA, G. K. E. Uso de coagulantes naturais à base de *Moringa Oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 780-788, 2014.
- BATHISTA, A. L. B. S.; TAVARES, M. I. B.; SILVA, E. O.; NOGUEIRA, J. S. **Aplicações do polímero natural no tratamento de águas: baba do quiabo**. Departamento de Física da Universidade Federal do Mato Grosso, 2001.
- BONGIOVANI, M. C.; MORAES, L.C.K.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010.
- BORBA, Luís Ramos. **Viabilidade do uso da *Moringa Oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba–UFPB, Paraíba, 2001.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2019**. Brasília: SNIS, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em: 30 de junho de 2021.
- CACHINO, A. M. FIGUEIREDO, S. A.; ALMEIDA, E. C.; LOPES, R. M. B. P.; ABRAHÃO, R. Utilização do Cacto Madacaru (*Cereus jamacaru* DC) Combinado à Radiação Solar Como Alternativa Para Tratamento de Água. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, Paraíba, v. 14, n. 1, p. 354-364, 2021.
- CAPANEMA, Selma Pereira. **Instrumentação e controle em uma estação de tratamento de água**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- CAVALCANTE, Arnóbio; TELES, Marcelo; MACHADO, Marlon. Cactos do semiárido do Brasil: guia ilustrado. **Campina Grande: INSA**, 2013.
- CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa Oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.
- CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N. P.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. **Journal of environmental sciences**, v. 26, n. 11, p. 2178-2189, 2014.

CIÊNCIA E CLIMA. **Potencial da acácia-negra para sequestro de carbono.** 2019. Disponível em: <https://cienciaclima.com.br/potencial-da-acacia-negra-para-sequestro-de-carbono/>. Acesso em: 08 de Setembro de 2021.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R. B.; BASSETTI, F. J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. **Key Elements for a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change**, São Paulo, 2009.

DA SILVA, Cleuza Aparecida. **Estudos aplicados ao uso da *Moringa Oleífera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas.** 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

DOS SANTOS, Eliana Prado Cunha. **Coagulação da água da represa Vargem das Flores visando tratamento por filtração direta.** 2004. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

FERRARI, Crislaine Trevisan da Rocha Ribeiro. **Uso de coagulantes naturais no tratamento de efluente da indústria de alimentos.** 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimento) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2015.

FERREIRA, Thayse Guilherme. **Avaliação do desempenho do cacto da espécie *Opuntia Ficus-Indica* como coagulante no tratamento de água.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Processos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GOES, H. H. D.; DE SOUZA, R. C. P.; DE MELO, J. M.; THEODORO, J. D. P. Estudo da Aplicação do Cacto *Opuntia cochenillifera* no Tratamento de Água. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 554-563, 2017.

GOMES, T. V. B.; DE SOUZA, T. D.; BRUZZE, P. F. B. Tratabilidade de Água Superficial Utilizando Coagulantes Naturais à Base de Tanino e Extratos de Sementes de *Moringa oleífera*. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 21, n. 3, p. 152-155, 2017.

HELLER, Léo. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2º volume. Belo Horizonte – MG. Editora UFMG. 2010.

JACOB. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do cacto (*Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa oleífera* no tratamento de água.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, Londrina, 2018.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 ed. Campinas - SP: Editora Átomo. 2010.

LIMA, Guilherme Julio de Abreu. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LO MONACO, P. A. V.; DE MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MARTINS, A. A.; DE OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, p. 166-183, 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, 2021, ed. 85, p. 127, 7 de maio de 2021.

NATUREZA BELA. **Moringa – *Moringa oleífera Lam.*** 2011. Disponível em: <https://www.naturezabela.com.br/2010/12/moringa.html>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

NATUREZA BELA. **Caatinga – Palma.** 2016. Disponível em: <https://www.naturezabela.com.br/2016/12/palma-opuntia-cochenillifera.html>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

NEPOMUCENO, T. C.; FERREIRA, W. B.; PAIVA, W.; DINIZ, T. R.; SANTOS, W. B. Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 110-123, 2018. Disponível em: <http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2018.007.0011>. Acesso em: 10 jul. 2021.

NOGUEIRA, Fabíola Cristina Barros. **Sementes de Moringa e pó de Quiabo no Tratamento de Efluente Sanitário**, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, 2012.

OSTROWSKI, Juliana. **Utilização de extrato de cacto *Cereus jamacaru* como coagulantes auxiliares para a diminuição de turbidez da água de turbidez sintética.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Processos Químicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

PACHECO, L. A. M. Polieletrólitos como auxiliares de coagulação. **Revista DAE**, São Paulo, v. 102, p. 46-60, 1970.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleífera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Tese (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PAZ, Lyda Patricia Sabogal. **Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIDELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleífera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 3010, 2015.

PORTAL G1. Césio 30 anos. **Portal G1**, 19 set. 2017, 10:44. Disponível em: <https://g1.globo.com/goias/cesio30anos/noticia/apos-30-anos-vitimas-do-acidente-com-cesio-137-dizem-sofrer-com-a-falta-de-apoios-medico-e-financeiro-em-goiania.ghtml>. Acesso em: 04 set. 2021.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **O que é o tratamento descentralizado**. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/tratamento-descentralizado/>. Acesso em: 04 set. 2021.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleífera*: Case M’Poko River to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, França, v. 90, n. 12, p. 2346-2352, 2012.

RÔLA, A. K. K.; DE CASTRO, G. M.; SANTANA, H. F.; DE SOUZA, J. J. L. L.; SILVA, D. J. Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. **Journal of Chemical Engineering and Chemistry – JCEC, Revista de Engenharia Química – REQ<sup>2</sup>**, v. 2, n. 3, p. 14-33, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/14025>. Acesso em: 10 jun. 2021.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**. São Paulo, v. 20, n. 2, p. 5 e 6, jun. 2007.

SAKAMOTO, Jaqueline Akiko. **Seleção de tecnologias de tratamento de água para pequenas e médias comunidades brasileiras considerando aspectos ambientais**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **Água Calcária**. 2021. Sete Lagoas – MG. Disponível em: <<http://www.saaesetelagoas.com.br/agua/agua-calcaria>>. Acesso em: 04 set. 2021.

SILVA, K. J. S., **Estudo da aplicação de *Opuntia cochenillifera* como auxiliar de floculação em água de alta turbidez**. 2016. 64f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SNATURAL AMBIENTE; **Produtos Químicos para Tratamento de Água**; Grupo Síntese Natural Ambiente SNatural Ambiente; 2021. Disponível em: <https://www.snatural.com.br/produtos-quimicos-tratamento-agua/>; Acesso em 26 de julho de 2021.

SPINELLI, Viviane Aparecida. **Quitossana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

STROHER, A. P.; DE MENEZES, M. L.; PEREIRA, N. C.; BERGAMASCO, R. Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **Engevista**, Niterói, v. 15, n. 3, p. 255-260, 2013.

WEST, Luís Gustavo Macedo. **Uso do quiabo (*abelmoschus esculentus* l. moench) no processo de tratamento de água para abastecimento humano: ensaios preliminares**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2016

YIN, C. Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 75-83, 2012.

ZOLETT, E. R.; JABUR, A. S. Uso de polímero natural a base de tanino (TANFLOC) para o tratamento de água para o consumo humano. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, UTFPR–Campus Pato Branco**, p. 1-8, 2013.

**APÊNDICE I**

**(Obtenção do Biopolímero do Quiabo)**

- Mucilagem:

Para a extração da mucilagem do quiabo, foram utilizados 50 gramas deste vegetal, que foram picados e adicionados a 500 ml de água destilada, sob agitação constante durante 2 horas. A Figura 1 apresenta esta solução.

**Figura 1** - Preparação do quiabo para o processo de secagem.



Fonte: Autor.

Após as duas horas de agitação, a solução é armazenada na geladeira até que se realize a etapa da filtração. Na filtração, é possível extrair a mucilagem do quiabo através do peneiramento da solução, na peneira fica retido o quiabo e passa uma espécie de “baba”, que é a mucilagem, com um aspecto incolor e pegajoso, demonstrado na Figura 2.

**Figura 2** – Extração da mucilagem do quiabo.



Fonte: Autor.

- Coagulante em pó:

Para a produção do coagulante em pó, 500 gramas de quiabo picado serão secos durante 2 horas a uma temperatura de 180 ° C. A Figura 3 demonstra o quiabo picado antes de ser seco e a Figura 4 apresenta o material após a secagem.

**Figuras 2 e 3 – Quiabo picado pré e pós secagem.**



Fonte – Autor.

Com o material seco é possível fazer a sua pulverização, este material deve ser peneirado, sendo que o passante nesta peneira pode ser utilizado como biopolímero natural (SILVA, 2014). As Figuras 5 e 6 apresentam o biopolímeros do quiabo em forma de pó.

**Figuras 5 e 6 – Biopolímero do quiabo em forma de pó.**



Fonte – Autor.