

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS**

**JULIANA OSTROWSKI**

**UTILIZAÇÃO DE EXTRATO DE CACTO *CEREUS JAMACARU* COMO  
COAGULANTES AUXILIARES PARA A DIMINUIÇÃO DE TURBIDEZ DA ÁGUA  
DE TURBIDEZ SINTÉTICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TOLEDO  
2014**

**JULIANA OSTROWSKI**

**UTILIZAÇÃO DE EXTRATO DE CACTO *CEREUS JAMACARU* COMO  
COAGULANTES AUXILIARES PARA A DIMINUIÇÃO DE TURBIDEZ DA ÁGUA  
DE TURBIDEZ SINTÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos – COPEQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Câmpus Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Fiori Zara

**TOLEDO  
2014**

**TERMO DE APROVAÇÃO  
DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

***JULIANA OSTROWSKI***

**UTILIZAÇÃO DE EXTRATOS DE CACTO *CEREUS JAMACARU* COMO  
COAGULANTES AUXILIARES PARA A DIMINUIÇÃO DE TURBIDEZ DA ÁGUA  
DE TURBIDEZ SINTÉTICA**

Trabalho apresentado como forma de avaliação para o Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Tecnologia em Processos Químicos da UTFPR, Câmpus Toledo, e aprovado pela banca examinadora abaixo. A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

---

Prof. Dr. Ricardo Fiori Zara  
Orientador

---

Prof. Me. Michele Maria Detoni Zanette

---

Prof. Dra. Ana Maria Vélez Escallon

Toledo  
2014

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Pai Celestial, por me permitir realizar esta conquista.

À minha família pelo apoio, carinho, confiança.

Ao professor Dr. Ricardo Fiori Zara, pela paciência, persistência, confiança, credibilidade, ensinamentos e amizade que forneceu a mim. Pela dedicação à realização deste trabalho.

Ao Guilherme Felipe Lenz, meu parceiro de projeto, pelo auxílio e amizade.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada de Universidade.

Ao Álvaro Ramos Junior, que esteve presente nos momentos em que precisei de alguém dizendo que tudo iria dar certo, por estar sempre ao meu lado me apoiando e auxiliando na realização desta pesquisa.

*“Here we are now, entertain us.”*

*Smells like teen spirit - Nirvana.*

## RESUMO

**OSTROWSKI, Juliana. Utilização de Extrato de Cacto *Cereus jamacaru* como coagulante auxiliar para a diminuição de turbidez da água de turbidez sintética.** 2014. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Químicos) – Coordenação do curso de Tecnologia em Processos Químicos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

O objetivo da pesquisa foi extrair com soluções ácida, básica e salina um complexo viscoso (polímero natural) do cacto *Cereus jamacaru*, aplicando-os como coagulantes auxiliares e auxílio na floculação, utilizando-se como coagulante primário o sulfato de alumínio, a fim de determinar a eficiência dos auxiliares na redução de turbidez de água com turbidez sintética. Os testes foram realizados com reator estático *Jar-test*, com turbidez inicial de 50 UNT (unidades nefelométricas de turbidez). Os parâmetros medidos antes, durante e após os ensaios foram turbidez, alcalinidade total e pH. A partir dos resultados avaliou-se a viabilidade da inserção dos auxiliares em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Os extratos ácido, básico e salino obtiveram redução de turbidez na ordem de 2,27; 2,01 e 1,6 vezes mais quando comparados ao teste do branco (sem adição de extrato, somente com coagulante metálico), respectivamente. A velocidade de decantação aumentou em todos os testes, devido à formação de flocos maiores e mais pesados, o que diminui a permanência da água coagulada nas ETAs, aumentando o volume de água tratada e vida útil dos filtros. Em relação às características físico-químicas, houve pouca influência dos extratos nos parâmetros pH e alcalinidade. Contudo, o estudo revelou que os extratos são coagulantes auxiliares eficazes, tendo-se matéria-prima abundante, custo reduzido, e lodo gerado com menor impacto ambiental, visto que há a redução de alumínio.

**Palavras-chave:** Coagulação. Polímero Natural. Redução de Turbidez. Turbidez Sintética.

## ABSTRACT

**OSTROWSKI, Juliana. Using Extract Cactus *Cereus jamacaru* as a coagulant aid for the reduction of turbidity in water with turbidity synthetic.**2014. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Químicos) – Coordenação do curso de Tecnologia em Processos Químicos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

This study addresses the topic of water treatment using natural polymers due to the reduction of the use of metal coagulants. The research objective was to extract acidic, basic and saline solutions a viscous complex (natural polymer) cactus *Cereus jamacaru*, applying them as helpers and improved flocculation coagulants, using as primary coagulant aluminum sulfate, to determine the efficiency of the auxiliary turbidity reduction of water turbidity synthetic. The tests were performed with static reactor *Jar Test* with starting turbidity of 50 NTU (nephelometric turbidity units). The parameters measured before, during and after the tests were turbidity, total alkalinity and pH. From the results we evaluated the feasibility of insertion of auxiliary in Water Treatment Stations (WTSs). Extracts acidic, basic and saline obtained turbidity reduction in the order of 2.27; 2.01 and 1.6 times more compared to the blank test (without added extract, with only metallic coagulant), respectively. The increased settling speed in all the tests due to the formation of larger and heavier flocs, which reduces the permanence of water coagulated in water treatment plants by increasing the volume of treated water and useful life of filters. Regarding the physical-chemical characteristics there was little effect of the extracts on the parameters pH and alkalinity. However, the study revealed that the extracts are eficases coagulant aids, having abundant raw materials, low cost, and sludge generated with less environmental impact, since there is a reduction of aluminum

**Keywords:** Coagulation, Natural Polymer. Removal of Turbidity. Sintethic Turbidity.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –CACTO <i>CEREUS JAMACARU</i> .....	25
FIGURA 2 – FILTRAÇÃO DE EXTRATOS.....	28
FIGURA 3 – COMPARATIVO DE PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ .....	32
FIGURA 3 – FLOCOS FORMADOS COM ADIÇÃO DE EXTRATO ÁCIDO.....	34
FIGURA 4 – FLOCOS FORMADOS COM ADIÇÃO DE EXTRATO SALINO.....	35
FIGURA 5 – FLOCOS FORMADOS COM ADIÇÃO DE EXTRATO BÁSICO.....	36
FIGURA 6 – FLOCOS FORMADOS SEM ADIÇÃO DE EXTRATO DE CACTO.....	37



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVO.....	12
1.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivo Específico.....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 A ÁGUA.....	13
2.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA.....	13
2.2.1 Características Físicas.....	14
2.2.1.1 Turbidez.....	14
2.2.1.2 Cor.....	15
2.2.1.3 Sabor e Odor.....	16
2.2.2 Características Químicas.....	17
2.2.2.1 pH.....	17
2.2.2.2 Alcalinidade.....	17
2.2.2.3 Dureza.....	18
2.3 TRATAMENTO.....	19
2.3.1 Coagulação .....	19
2.3.2 Floculação .....	22
2.3.3 Sedimentação e Flotação ....	22
2.4 COAGULANTES METÁLICOS.....	23
2.5 COAGULANTES NATURAIS.....	22
2.5.1 Cacto Mandacaru .....	25
2.5.2 Moringa Oleífera.....	26
2.5.3 Quitosana ... ..	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
3.1 PREPARO DE EXTRATOS.....	27
3.2 PREPARO DE ÁGUA COM TURBIDEZ SINTÉTICA.....	28
3.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO EM “JAR TEST”.....	29
3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA.....	29
3.4.1 Determinação de Alcalinidade.....	29
3.4.2 Determinação de pH e Turbidez.....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
4.1 ASPECTOS DOS EXTRATOS.....	31
4.2 COMPARAÇÃO DE PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ, ALTERAÇÃO DE pH E ALCALINIDADE.....	32
4.3 NATUREZA DA FORMAÇÃO DOS FLOCOS COM APLICAÇÃO DOS EXTRATOS.....	33

<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>
	<b>APÊNDICE A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXECUÇÃO DO ESTUDO .....</b>	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE PREPARO DE EXTRATOS.....</b>	<b>44</b>
	<b>APÊNDICE C – ASPECTOS DOS EXTRATOS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um solvente universal, uma vez que dissolve substâncias sólidas, líquidas e gasosas, especialmente ácidos e sólidos iônicos. A mesma não é encontrada em estado de absoluta pureza (RICHTER, NETTO, 2003, p 65-67).

Sendo o constituinte inorgânico mais abundante na superfície da Terra (75%), a água sofre influência do meio e vice versa, a qual pode ser alterada pelo lançamento de poluentes ou naturalmente pela fauna aquática (LIBÂNIO, 2008, p. 11).

Essencial para a sobrevivência dos seres humanos com inúmeras funções, a disponibilidade da água em forma potável não é tamanha quanto de sua totalidade, o que define a estrutura e variabilidade de ecossistemas (TELLES, 2007, p.13).

A qualidade da água é classificada conforme sua utilização. Destinando-se ao consumo humano, os parâmetros necessários são ditados pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), delimitando concentrações para substâncias prejudiciais, fornecendo informações sobre a utilização de alguns microrganismos, reagentes, compostos, visando o controle de prevenção de doenças, qualidade de vida da população, incentivo à produtividade e desenvolvimento socioeconômico (LIBANIO, 2008, p. 11, TELLES, 2007, p. 25-29).

Doenças que são provindas do consumo de água contaminada estão entre as causas mais comuns de morte no mundo. Salieta-se o estudo e desenvolvimento de tratamentos alternativos em virtude do crescimento populacional, aumentando assim o consumo, e pela imprudência ao utilizá-la, visto que a água era considerada um bem infinito (DI BERNARDO, 2002, p. 32).

O tratamento da água para consumo humano é feito por um sequencial de operações unitárias e processos físico-químicos que tem por finalidade remover partículas coloidais e suspensas, matéria orgânica, microrganismos, ou seja, substâncias patogênicas, e deve ter o mínimo custo, tanto de implantação quanto manutenção, máxima praticidade em relação a tempo, maquinário, eficiência, e menor impacto ambiental (LIBÂNIO, 2008, p. 98).

A coagulação é uma parte do processo de tratamento de água que necessita atenção. A utilização de coagulantes metálicos (em especial sais de alumínio) acarreta um aumento de resíduos e tem relação com a doença de Alzheimer (RICHTER, 2009, p. 96).

O coagulante metálico pode reduzir o pH abaixo da faixa em que o mesmo é eficaz, conduzindo uma coagulação inadequada ou promovendo a não coagulação (RICHTER, 2009, p. 96).

Segundo Richter (2009), com a utilização de coagulantes químicos, compostos e partículas que originam a turbidez (quantidade de partículas suspensas) e cor diferenciada da natural perdem sua estabilidade, formando aglomerados, os quais são eliminados por sedimentação (processo de separação a base de repouso) (RICHTER, 2009, p.91).

Como alternativa para diminuição de resíduos causados pelos coagulantes químicos, há mais de 30 anos polímeros sintéticos são estudados e utilizados em estações de tratamento de água para servirem como auxiliares ou substituintes dos mesmos, não produzindo flocos volumosos e gelatinosos como os produzidos por coagulantes metálicos, mas sim, flocos maiores, mais resistentes e densos, permitindo reduzir as dimensões dos tanques de floculação e decantação, idealizando os processos de filtração direta e flotação (RICHTER, 2009 p.320).

A adição de polímeros como coagulantes é defendida por Richter (2009, p. 320), o qual alega que, com polímeros, é obtido a otimização do processo de tratamento, diminuição de resíduos gerados, e melhoria da qualidade da água. O autor salienta que a adição dos mesmos serve como solução para falta de recursos financeiros, estimula pesquisas nessa área e aumenta a produção sem alterar fisicamente as ETAs.

No caso da utilização de espécies de cactos, referências de Zhang *et al.* (2005), com cacto *opuntia*, atingiram turbidez abaixo de 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), sendo o polímero ditado como auxiliar do coagulante cloreto de alumínio. Diaz *et al.* com cacto *litifariae* obteve valores de turbidez abaixo de 10 UNT.

Outras fontes de polímeros naturais são explicitadas por Di Bernardo (2002), demonstrando preparação de soluções com mandioca, batata, araruta e milho.

Este trabalho se embasou no desenvolvimento polímeros naturais como auxiliar de coagulante químico, diminuindo-se o custo de tratamento de água e

resíduos de alumínio, visto que o sulfato de alumínio é o coagulante predominante atualmente no Brasil.

Justifica-se a utilização do cacto pela disponibilidade de plantas para extração, não necessidade de cuidados específicos para o cultivo dos mesmos e viabilidade demonstrada em estudos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliou-se a redução ou remoção de turbidez em água de turbidez sintética utilizando-se como coagulante auxiliar extrato de Cacto *Cereus jamacaru*.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Preparar água de turbidez sintética.
- Encontrar a quantidade necessária de extrato para redução de uso do coagulante metálico.
- Extrair o polímero do Cacto *Cereus jamacaru* utilizando soluções de hidróxido de sódio, cloreto de sódio e ácido clorídrico.
- Analisar água em parâmetros de turbidez, pH e alcalinidade antes, durante e após o processo.
- Realizar testes com reator estático “*Jar-test*”, adicionando-se um jarro por cada extrato.
- Determinar eficiência do processo em diminuição de turbidez da água sintética com todos os extratos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A ÁGUA

Predominante nos seres vivos, a água consiste em 70% do corpo. É responsável pelo transporte e assimilação de muitas substâncias pelos organismos, além de manter estável a temperatura corporal. Não obstante em satisfazer necessidades biológicas, ela tem funções específicas no meio ambiente, a geração de energia, saneamento básico, navegação, agricultura, entre outros (TELLES, 2007, p. 11).

A obtenção de água é feita por ingestão direta, através de alimentos ou reações metabólicas. É um alicerce imprescindível para a continuidade de certos ecossistemas. Renova-se com a transformação de seus estados físicos, depende das condições climáticas, geográficas e meteorológicas, sendo um recurso móvel graças à ação do sol e da força da gravidade, presente em oceanos, mares, continentes e ilhas (TELLES, 2007, p. 1-13).

Em seu estado natural, é um líquido transparente, sem sabor e odor, possuindo massa específica máxima de  $1\text{g/cm}^3$  a  $4^\circ\text{C}$  e calor específico de  $1\text{ cal/g}^\circ\text{C}$ . Temperatura de fusão e ebulição a pressão de 1 atm são 0 e  $100^\circ\text{C}$ , respectivamente. Por ser um composto polar, aproxima-se de íons que formam um composto iônico (sólido) pelo pólo de sinal contrário à carga do íon, conseguindo assim anular sua carga e desprendê-lo do resto do sólido. Contudo, o íon é rodeado pela água, o que evita que ele regresse ao sólido (DI BERNARDO, 2002, p. 29-30).

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

Pode-se dizer que as características da água dividem-se em três especificidades: físicas (definem o método que será aplicado para processo de

tratamento), químicas (importância sanitária, explicitam a presença de substâncias que possam exigir tratamento específico) e biológicas (microbiota) (DI BERNARDO, 2002, p. 33).

A poluição é proveniente de alterações físicas, químicas e biológicas que produzem desequilíbrios no meio. Lançamento de águas residuais de atividades industriais, agrícolas ou humanas é considerado poluição para sanitaristas (DI BERNARDO, 2002, p. 27-32).

A avaliação da qualidade de uma água para consumo humano ou industrial, tratada ou *in natura*, é feita pela determinação de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os padrões de potabilidade fixam valores para parâmetros mais representativos da qualidade de uma água para que seja considerada adequada ao consumo humano (RICHTER, 2009, p. 65-81).

Tendo-se como base a portaria do Ministério da Saúde 2914/11, os parâmetros de potabilidade da água estabelecem turbidez máxima de 5,0 unidades de turbidez e pH entre 6,0 e 9,5. Esta portaria não mantém como parâmetro de qualidade para água potável alcalinidade e dureza.

## 2.1.1 Características físicas

### 2.1.1.1 Turbidez

A turbidez decorre da presença de partículas em suspensão variando em tamanho desde grosseiras até coloidais. A natureza e tamanho das partículas facilitam a escolha do processo adequado para sua remoção (RICHTER, 2009, p. 69-70).

Esse parâmetro limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio (PINTO, 2003).

As substâncias suspensas são componentes que dão origem à turbidez da água, medida em UNT (unidades nefelométricas de turbidez) baseada na luz que se dispersa num ângulo (geralmente) de 90° em relação a um feixe de luz incidente.

Para se medir a turbidez usa-se um Nefelômetro que é um instrumento que possui uma fonte luminosa, uma cubeta de amostra e um fotodetector instalado em ângulo (em geral) de 90° em relação à fonte de luz (COLOMBO, 2013).

Com a adição de coagulante químico, a estabilidade das cargas é desfeita, ou seja, ocorre a neutralização das forças elétricas superficiais e a anulação das forças repulsivas, formando, assim, aglomerados maiores (NUNES, 2001).

A relação entre a eficiência do tratamento e turbidez da água é inversamente proporcional, assim como o custo de aparelhos que medem esse parâmetro (turbidímetros, através de emissão de luz) e o custo dos que determinam o tamanho e a distribuição de tamanho das partículas (DI BERNARDO, 2002, p. 33-34).

Águas naturais têm como turbidez superficial, geralmente, na faixa de 3 a 500 UNT. No Brasil, grande parte das águas são naturalmente turvas devido às características geológicas das bacias de drenagem, de altos índices pluviométricos e do uso de práticas agrícolas muitas vezes inadequadas (LIBÂNIO, 2008, p. 22-26).

#### 2.1.1.2 Cor

A quantificação da cor passou a ser importante a partir da descoberta de que substâncias húmicas (compostos orgânicos naturais nas águas, provindas da degradação de plantas e animais) são alicerces na formação de trihalometanos e organo-halogenados, os quais são nocivos à saúde humana, revelando-se principais causadores de câncer de bexiga e no baixo trato intestinal (DI BERNARDO, 2002, p. 35-36).

A cor é decorrente da capacidade da água em absorver certas radiações do espectro visível. Quando devida exclusivamente a substâncias dissolvidas e em estado coloidal, recebe o nome de cor verdadeira, ou seja, a cor apresentada após



ser filtrada. Já quando a matéria em suspensão está presente, a cor é aparente, ou seja, com a água em seu estado natural (RICHTER, 2009, p.67-69).

A determinação da cor nas ETAs é feita por métodos de comparação visual ou através de espectrofotometria. Pode ser removida por coagulação e filtração, ou por oxidação química (RICHTER, 2009, p.67-69).

### 2.1.1.3 Sabor e Odor

Influenciados e sujeitos a intuítos individuais, o sabor e odor são causados pela matéria excretada por algumas espécies de algas e de substâncias dissolvidas (como gases). Esses parâmetros têm sua importância estética, tendo como base a possibilidade de rejeição de água adequada ao consumo e uso de outra fonte de qualidade duvidosa, mas sem odor ou sabor (LIBÂNIO, 2008, p. 27-29).

Por serem sensações organolépticas de avaliações subjetivas, os parâmetros sabor e odor não podem ser medidos diretamente por instrumentos. Um exemplo de método ainda utilizado é o do Limiar de Percepção de Odor (LPO), no qual são feitas diluições sucessivas de uma amostra de água, da qual determina-se a intensidade do odor, em água destilada, de modo a completar misturas de 200 mL. A partir da mistura onde o odor é quase imperceptível, o LPO é determinado pela equação 1:

$$LPO = (A+B)/A \quad (1)$$

Onde *A* é o volume da amostra de água com odor diluído na mistura (em mL) e *B*, o volume de água destilada adicionado para completar 200 mL (em mL) (RICHTER, 2009, p. 73).

## 2.1.2 Características químicas

### 2.1.2.1 pH

O pH mede a concentração do íon hidrogênio ou a atividade desse, sendo um parâmetro relevante e medido frequentemente e periodicamente na coagulação, floculação, desinfecção e no controle de corrosão (RICHTER, NETTO, 2003, p. 28).

Nos sistemas de abastecimento, águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos materiais e paredes de concreto, enquanto águas com valor elevado de pH tendem a formar incrustações (DI BERNARDO, 2002, p. 37).

O padrão de potabilidade nacional estabelece um intervalo de 6-9,5 para o pH de água tratada, objetivando minimizar possíveis corrosões ou incrustações. Alterações podem provir de atividade algal, dissolução de rochas e lançamento de dejetos domésticos e/ou industriais (LIBÂNIO, 2008, p. 30).

### 2.1.2.2 Alcalinidade

Alcalinidade é a capacidade de neutralizar ácidos, enquanto a acidez, em contrapartida, é a capacidade de neutralizar bases (RICHTER, 2009, p.76-78).

A medida de alcalinidade e acidez é feita por titulação, com um indicador ácido-base (normalmente fenolftaleína), sendo a primeira utilizando-se de ácido padronizado e a segunda, de base padronizada, ambas com resultado expresso em quantidade de carbonato de cálcio (DI BERNARDO, 2002, p. 37-38).

A alcalinidade influencia significativamente na coagulação química, redução de dureza e controle de corrosão (RICHTER, 2009, p.77).

Sais de alumínio e ferro são mais utilizados como coagulantes no Brasil. Esses atuam como ácidos dipróticos em solução (liberam dois íons  $H^+$ ) o que abaixa

a alcalinidade. Nesse caso, se faz necessária a adição de um alcalinizante para ajuste de pH de coagulação. (DI BERNARDO, 2002, p. 38).

A adição de coagulante metálico pode reduzir a alcalinidade até uma faixa de pH não eficiente à este, portanto, é necessário a adição de uma dosagem de alcalinizante (RICHTER, 2009, p.96-99).

### 2.1.2.3 Dureza

A dureza ocorre pela presença de íons metálicos bivalentes, principalmente de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Também influenciada em menor escala por ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), estrôncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) (LIBÂNIO, 2008, p. 31).

Esse parâmetro está associado a incrustações em sistemas de água quente, podendo causar problemas sérios nos aquecedores em geral. Na maioria dos casos, é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, transformando-o em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação do pH (DI BERNARDO, 2002, p. 38).

Há uma classificação, que subdivide a dureza em três distintas formas (RICHTER, 2009, p. 78-79):

*Dureza total* – Mede total dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , distinguindo-se parcelas de dureza de cálcio e de magnésio.

*Dureza permanente* – quantidade de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  após ebulição por 30 minutos e recuperação do volume evaporado com água destilada.

*Dureza temporária* – devido a bicarbonatos de cálcio e magnésio.

Com dureza inferior a 50 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , a água é classificada como mole; 50 a 150, moderada; 150 a 300 ppm, dura; acima de 300 ppm, muito dura. Para diminuir o valor deste parâmetro, a água passa por processos de abrandamento por precipitação ou desmineralização por troca iônica (DI BERNARDO, 2002, p. 78-79).

## 2.3 TRATAMENTO

A tecnologia empregada depende das características da água, custos de implantação, manutenção e operação do suposto tratamento, manuseio e confiabilidade de equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica e características da comunidade e disposição do lodo (LIBÂNIO, 2008, p. 99).

Tendo isso analisado, deve-se empregar o melhor sequencial de operações consultando os padrões de potabilidade segundo a portaria do Ministério da Saúde 2914, do ano de 2011 (RICHTER, NETTO, 2003, p.6-9).

Para que o tratamento não se faça necessário, a água deve ter baixa dureza, pouco colorida, apresentar pouca turbidez, baixos teores de ferro e de outras substâncias prejudiciais, de boa qualidade bacteriológica (DI BERNARDO, 2002, p.8).

Segundo a Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2013) o tratamento convencional deve conter as seguintes etapas, respectivamente: coagulação, pré-cloração, pré-alkalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alkalinização, desinfecção, e, por fim, fluoretação.

### 2.3.1 Coagulação

Através do tratamento convencional, a etapa inicial a ser seguida pela água é a coagulação, a qual tem como objetivo reduzir a concentração de partículas suspensas e dissolvidas presentes (LIBÂNIO, 2008, p.117).

Nos primórdios do histórico de tratamento de água, acredita-se que a coagulação surgiu na Índia (400 d.C.), sendo usadas nozes como agente coagulante, tendo-se em vista a necessidade de melhorar o aspecto da água para consumo humano. No Egito, utilizava-se de amêndoas maceradas, enquanto no Sudão, feijões, no entanto, sem satisfação nos resultados. Os sais de alumínio

apenas foram empregados no século XVIII, na Inglaterra, Holanda e Bélgica (LIBÂNIO, 2008, p.117-118).

A coagulação altera parâmetros físico-químicos das partículas coloidais da água, as quais caracterizam a cor e turbidez, produzindo partículas removíveis por sedimentação. Adicionando-se coagulantes químicos, o intuito é reduzir o bloqueio existente entre as partículas em suspensão (RICHTER, 2009, p. 91-92).

Segundo Libânio (2008), a maioria das partículas suspensas na água têm carga negativa. Assim, os íons metálicos do coagulante (normalmente de ferro ou alumínio) positivamente carregados, envolvem os oxigênios da água, formando fortes ligações, aumentando a concentração dos íons  $H^+$ , reduzindo o pH da suspensão.

Devido à magnitude da dosagem e ao pH da coagulação, há o transporte de espécies hidrolisadas (produtos da interação do coagulante com água) para o contato com as impurezas presentes, causando sua desestabilização ou envolvimento com precipitados. Na sequência, com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, há a formação de flocos, os quais podem ser removidos por um processo seguinte à coagulação (sedimentação, flotação e filtração). Contudo, deve-se obter a remoção ou diminuição da turbidez, matéria orgânica coloidal, substâncias tóxicas de origem orgânica e inorgânica, microrganismos em geral, aumentando a qualidade da água (LIBÂNIO, 2008, p.117-120).

Por ação de interações químicas (força de *Van der Waals*) e repulsão eletrostática, íons de carga positiva tendem a se aproximar da superfície do colóide, formando uma camada de íons positivos e negativos, denominada Camada Compacta. Em torno desta há uma outra camada de forças impulsionadas por cargas positivas, direcionadas a concentrações iônicas, originando uma nova camada denominada difusa (LIBÂNIO, 2008, 118-122).

À medida que a concentração iônica diminui ao redor da partícula, dá-se início a potenciais elétricos, como o potencial Zeta (segundo Di Bernardo, 2002, é utilizado para avaliar a estabilidade e a tendência à floculação de sistemas coloidais), o qual especifica-se como a diferença de potencial entre a superfície da camada compacta e difusa, capaz de deslocar um íon do ponto mais remoto da difusa até a superfície da compacta. Com o rompimento das barreiras de potencial elétrico, o coagulante metálico causa a desestabilização das partículas coloidais (LIBÂNIO, 2008, p.122-123).

Para a coagulação, adotam-se quatro mecanismos distintos: Compressão da dupla camada, Adsorção e neutralização, Varredura, Adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO, 2002, p.83).

Na compressão da dupla camada, adicionam-se íons trivalentes (como  $Al^{3+}$ ) que atravessam a camada compacta reduzindo o potencial zeta e a espessura da dupla camada, facilitando a aproximação das partículas (LIBÂNIO, 2008, p. 124).

Os principais aspectos relacionados a esse fenômeno são: quantidade de eletrólitos necessários para conseguir a coagulação é praticamente independente da concentração de coloides na água; nesse mecanismo, não é possível causar a reversão da carga dos coloides, independente da quantidade de eletrólitos adicionada (DI BERNARDO, 2002, p. 84-85).

A adsorção-neutralização ocorre imediatamente após a dispersão do coagulante. Há a formação de espécies hidrolisadas, dependendo do pH, de carga positiva, as quais podem ser adsorvidas na superfície das partículas, desestabilizando-as. Esta interação é decorrente de ligações de hidrogênio, reações de coordenação, ligações covalentes e trocas iônicas. Ocorre em um intervalo de tempo inferior a um segundo, e elevado gradiente de velocidade, com dosagens de coagulante inferior ao primeiro mecanismo. A adição de coagulante depende da concentração e área superficial do coloide, número e tamanho das partículas suspensas. Esse mecanismo deve predominar em estações de filtração direta de escoamento ascendente e descendente (LIBÂNIO, 2008, p. 124).

Em estações que têm a floculação e sedimentação antes da filtração, o mecanismo explicado acima é muito utilizado. Os flocos obtidos são maiores e apresentam altas velocidades de sedimentação (DI BERNARDO, 2002, p.85-86).

Geralmente são necessárias dosagens maiores de coagulante para obter-se a re-estabilização da carga das partículas suspensas e a formação de flocos mais densos que a água, viabilizando seu transporte até a filtração (LIBÂNIO, 2008, p. 125).

Com a adsorção e formação de pontes, há o auxílio de polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, objetivando reduzir as dosagens do coagulante. Constituindo-se uma série de unidades químicas repetidas, unidas por ligações covalentes, os polímeros que possuem grupos funcionais ionizáveis capazes de serem adsorvidos na superfície dos coloides (polieletrólitos) promovem a coagulação através da formação de pontes químicas (LIBÂNIO, 2008, p. 125).

### 2.3.2 Floculação

Após a coagulação, diminui-se a agitação de rápida para lenta, para viabilizar o processo de floculação, o qual consiste na redução do número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida (LIBÂNIO, 2008, p. 177).

Deve-se, com essa etapa, proporcionar encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos, favorecendo sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração. Sua eficiência depende do desempenho da mistura rápida (coagulação), que, por sua vez, é influenciada pelo tipo de coagulante, pH, temperatura, entre outros fatores (DI BERNARDO, 2002, p. 91).

Quando utilizado um gradiente de floculação baixo, os flocos formados tendem a ser maiores e menos densos, diligenciando maior sedimentabilidade (LIBÂNIO, 2008, p. 194).

### 2.3.3 Sedimentação e Flotação

Após a floculação, há etapas de sedimentação e flotação. A primeira caracteriza-se devido à ação da gravidade, onde as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica. A segunda, por sua vez, pela ascensão das partículas suspensas e aderência de micro-bolhas de ar, adquirido menor massa específica que o meio. As etapas proporcionam a clarificação do meio líquido (DI BERNARDO, 2002, p.100).

## 2.4 COAGULANTES METÁLICOS

A característica fundamental para uma substância ser considerada um coagulante é sofrer hidrólise quando em solução aquosa. Neste processo, os cátions formam ligações com o oxigênio, liberando íons  $H^+$  e reduzindo o pH do meio.

Em mistura rápida durante o tratamento, as formas hidrolisadas chocam-se com as impurezas em suspensão, removendo a estabilidade destas (LIBÂNIO, 2008, p. 128-129).

Para a eficiência do tratamento, o coagulante metálico utilizado deve ser escolhido segundo as características da água bruta, além de sofrer hidrólise, para formar um precipitado das formas hidrolisadas do metal. Com a colisão das partículas em processo de mistura rápida, as impurezas presentes na água (em suspensão) são desestabilizadas e aglomeram-se formando flocos (LIBÂNIO, 2008, p. 128).

Segundo Richter (2009), o coagulante metálico mais aplicado no Brasil é o sulfato de alumínio, o qual sofre hidrólise de 5 a 7 segundos, comercialmente encontrado em concentração de  $1 \text{ mg L}^{-1}$ , consome  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  de alcalinidade, portanto o meio deve conter alcalinidade suficiente para reagir com o sulfato de alumínio, caso contrário deve-se adicionar um alcalinizante (RICHTER, 2009, p. 96-97).

Outro coagulante metálico aplicado no Brasil é o cloreto férrico, o qual é menos empregado devido à possibilidade de provocar corrosão nas tubulações. Tem maior eficácia em pH de 4,0 a 11,0 (RICHTER, 2009, p. 98).

## 2.5 COAGULANTES NATURAIS

Para atender a demanda de água tratada de qualidade, o uso de polímeros vem crescendo nas ETAs. Índícios alegam que os primeiros polímeros em tratamento de água surgiram somente após a segunda guerra mundial. O emprego dos mesmos provindos de fontes naturais é visto normalmente em países em



desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, há a utilização de polímeros sintéticos em maior escala (LIBÂNIO, 2008, p.127-129).

Quando os polímeros possuem sítios elétricos ionizáveis são chamados de polieletrólitos, podendo ser classificados como catiônicos (quando possuem carga positiva), aniônicos (carga negativa) ou não iônicos (sem carga, ou neutro) (RICHTER, 2009, p.320).

Empregados na coagulação e floculação, os polímeros permitem a formação de pontes químicas, através de ligações de hidrogênio ou ligações de *Van der Waals*. Assim, as partículas coloidais são adsorvidas na cadeia do composto, devidamente longa, evitando o efeito repulsivo da dupla camada e permitindo a adsorção na superfície. Deve-se salientar que a adição de polímeros em excesso não formará ligação por inexistência de sítios ionizáveis disponíveis (RICHTER, 2009, p. 125-126).

Cientistas vêm identificando vários tipos de plantas que possuem polímeros capazes de exercer a função de coagulante em tratamento de água, assim como tratamento de efluentes industriais. Espécies cactáceas são utilizadas como coagulantes naturais recentemente, quando comparados com polímeros extraídos de diferentes espécies (YIN, 2010, p. 1438-1440).

Contendo proteínas, amilose, resina, vitaminas, celulose, ácido málico, os cactáceos têm sido estudados a fundo por obter composição química e estrutural favorável ao tratamento de água (YIN, 2010, p. 1440).

Satisfatoriamente, os cactáceos apresentam-se como alternativa para indústrias com escassez de recursos financeiros, além de serem alternativas para o impacto ambiental quando utilizados em substituição de coagulantes metálicos, como o sulfato de alumínio, gerando resíduos biodegradáveis (YIN, 2010, p. 1437).

Polímeros obtidos de fontes naturais, quando aplicados como coagulantes primários ou auxiliares se apresentam como alternativas viáveis para substituir ou reduzir o uso de coagulantes metálicos devido ao seu baixo custo e por abundância de plantas que podem se apresentar como fonte para extração (THEODORO *et. al.*, 2013)

### 2.5.1 Cacto Mandacaru

O cacto *Cereus jamacaru*, segundo Davet (2005) é uma planta de topo compacto, que pode atingir até 10 metros de altura, com tronco lenhoso (que pode chegar a 60 cm de diâmetro, utilizado para fazer caixas, e seu cerne, para fazer portas e janelas (DAVET, 2005, p 5 – 12).

Mais encontrado na região nordeste, com um de seus nomes populares Mandacaru sendo ilustrado na Figura 1, chama a atenção devido aos seus componentes como proteína bruta (estudos revelam que chega até 10,72%), ácido málico, vitaminas e celulose (ZHANG et al., 2005).

Em suas características medicinais pode-se incluir ação diurética, combate ao escorbuto, bronquite, tosse, doenças renais e cardíacas (DAVET et al., 2009).



Figura 1 – Parte do caule do Cacto *Cereus jamacaru* (Mandacaru). Autoria Própria.

### 2.5.2 Moringa Oleífera

Nativa da Índia, a moringa é uma planta tropical tolerante à seca. Suas sementes possuem um composto ativo que atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (NDABIGENGESERE et al. 1995).

A Moringa oleífera, segundo Theodoro e Bergamasco (2013) e Vijayaraghavan (2011), contém uma espécie de polieletrólito catiônico que pode ser utilizados para substituição de coagulantes. Foi comprovado através de análises que essa fonte contém uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas suspensas por meio de processo de adsorção-neutralização, sequenciado pelo processo de floculação e sedimentação (THEODORO; BERGAMASCO, 2013; VIJAYARAGHAVAN, 2011).

### 2.5.3 Tanino

Já adaptado para tratamento de água potável como coagulante natural, o tanino (comercializado como Tanfloc®) é considerado um polímero orgânico catiônico, de baixo peso molecular, essencialmente de origem vegetal, neutraliza cargas formando pontes em meio as partículas suspensas coloidais (PEDROSO, 2012).

O tanino forma sais complexos com todos os metais; tendo assim a propriedade de um polímero, posteriormente um floculante. A obtenção de polímeros adequados para uso em tratamento de água e esgoto necessita de características como: solubilidade em água, propriedades eletrolíticas e peso molecular adequado (SILVA, 1999).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo os equipamentos, vidrarias e soluções utilizados foram:

- Agitadores Magnéticos Marca Nova Ética, modelo 114;
- pHmetro Marca Policontrol, modelo 250;
- Reator estático de jarros *Jar-Test*, com 6 jarros de 2 litros, Marca Nova Ética, modelo 218-8 LDB;
- Turbidímetro Marca Nova Orgânica, modelo TB1000.
- Cloreto de Sódio 1%;
- Sulfato de Alumínio 1%;
- Água destilada;
- Caulim Branco;
- Indicador misto Vermelho de Metila e Verde de Bromocresol;
- Ácido Clorídrico HCl 0,1 M;
- Ácido Clorídrico 0,01 M;
- Hidróxido de Sódio 0,01 M;
- Tioissulfato de Sódio 1,8%;

#### 3.1 PREPARO DE EXTRATOS

Primeiramente o cacto foi coletado no município de Toledo – Paraná. Então, passou por um processo de lavagem, retirada da casca e espinhos. Foi pesada a parte polposa/viscosa, sendo transferida para o graal e macerada com o pistilo e pequenas adições de solução extratora.

Após macerado, foi transferido para um béquer de 200 mL e levado para o agitador magnético por 30 minutos. As soluções extratoras foram: cloreto de sódio

1%, hidróxido de sódio 0,01 M e ácido clorídrico 0,1 M, na proporção de 1 grama para 3 mL de solução.

O extrato foi filtrado com peneiras para um béquer de 250 mL, conforme Figura 2. Por fim, até que todas as extrações sejam feitas, o complexo viscoso resultante foi armazenado em frasco de vidro, sob refrigeração.

Para melhor entendimento, encontra-se no Apêndice B um fluxograma de preparo dos extratos.



**Figura 2: Filtração de Extratos**

### 3.2 PREPARO DE ÁGUA COM TURBIDEZ SINTÉTICA

Em um reservatório, adicionou-se 20 litros de água fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, e, gradativamente, adicionou-se sob agitação constante o Caulim Branco. Foi deixado em repouso para decantação do caulim em excesso. Então, transferiu-se o sobrenadante para outro reservatório, medindo-se a turbidez inicial através do turbidímetro Marca Nova Orgânica, modelo TB1000, constatando-se 50 UNT.

Adicionou-se 1 mL de tiosulfato de sódio 1,8% para remoção de cloro residual da água, em virtude da possibilidade de interferência na análise de alcalinidade, como indicado na NBR 9898 (ABNT, 1997).

### 3.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO EM “JAR TEST”

Embasado na metodologia proposta por Di Bernardo (2002, p. 119-123) e Richter (2009, p. 310-311), os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em *Jar-Test*, contendo seis jarros de 2 litros cada.

Primeiramente, foi caracterizada a água de turbidez sintética quanto aos parâmetros de pH, alcalinidade total e turbidez.

Foram adicionados 1,5 litros da água de turbidez sintética a cada jarro, adicionando-se o alcalinizante em proporções necessárias, 3 mL do coagulante metálico sulfato de alumínio e o coagulante auxiliar (2 mL no caso do extrato ácido, 1,5 mL de extrato salino e 1,5 de extrato básico), tendo-se rotação de 150 rpm no processo de mistura rápida, durante 2 minutos, empregando-se na mistura lenta, 30 rpm por 15 minutos, retirando-se alíquotas ao decorrer do tempo (5 minutos, 15 minutos, 30 minutos e 45 minutos após o término da mistura rápida) para análises físico-químicas. Em um dos jarros foi realizado uma prova de branco, ou seja, água de turbidez sintética somente com adição de coagulante metálico, sem a adição do coagulante auxiliar. Foi observado as características dos flocos durante o tempo de decantação. Foi descartado o primeiro jato de água para evitar a influência presente nos sifões do jarro.

O alcalinizante hidróxido de cálcio foi adicionado conforme a consideração de que 1 mg L<sup>-1</sup> de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> consome 0,5 mg L<sup>-1</sup> de alcalinidade e 1 mg L<sup>-1</sup> de Ca(OH)<sub>2</sub> adiciona 1,35 mg L<sup>-1</sup> de alcalinidade ao meio (RICHTER, 2009, p. 96-99).

Este ensaio seguiu o fluxograma apresentado no Apêndice A.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

#### 3.4.1 Determinação da Alcalinidade Total

Através de titulometria com alaranjado de metila, adaptando-se à metodologia proposta por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup>* (APHA, 1998), uma alíquota de 50 mL da amostra de cada jarro foi transferida para um erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 3 gotas de indicador misto de vermelho de metila e verde de bromocresol, deixando a amostra azulada. Com solução padronizada de ácido clorídrico 0,01 N, a alíquota foi titulada até que sua cor se torne salmão. Anotou-se o volume gasto no ensaio.

Para o cálculo, utilizou-se a equação 1 abaixo:

$$\text{Alcalinidade total (mgL}^{-1}\text{ CaCO}_3) = Vg \text{ N } 50000 / Va \quad (1)$$

Sendo Vg, o volume gasto na titulação (mL), N, a concentração do ácido e Va, o volume da alíquota (mL).

#### 3.4.2 Determinação de pH e turbidez

Determinações de pH e turbidez foram realizadas conforme metodologia proposta por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup>* (ALPHA, 1998), em pHmetro, marca Policontrol, modelo 250 e turbidímetro marca Nova Orgânica, modelo TB 1000.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinar o melhor tempo de adição dos extratos de cacto, quantidade de coagulante metálico e proporção de coagulante auxiliar foram realizados ensaios preliminares. Conforme avaliado nestes ensaios, observou-se de que o melhor tempo de adição do extrato é em simultâneo com o coagulante metálico e a quantidade de coagulante metálico é de 3 mL na concentração de 10%.

A quantidade reduzida de coagulante metálico provoca baixa eficiência em remoção de turbidez neste no estudo. Ressalta-se que o volume reduzido é em virtude da comparação com a adição do coagulante auxiliar.

O quadro 1 apresenta os resultados simplificados obtidos por este estudo.

**Quadro 1: Resultados Gerais Simplificados**

<b>Parâmetro</b>	<b>Extrato Salino</b>	<b>Extrato Ácido</b>	<b>Extrato Básico</b>
<b>Tamanho do Floco</b>	Mediana	Pequeno	Grande
<b>% de Remoção</b>	78,8	88,2	62,5
<b>Viscosidade</b>	Mediana	Alta	Baixa
<b>Coloração de Extrato</b>	Verde Claro	Verde Musgo	Verde Oliva
<b>* % extrato / % branco</b>	2,01	2,27	1,16

\*Proporção de porcentagem de remoção utilizando o auxiliar e sem o mesmo (prova de branco)

##### 4.1 ASPECTOS DOS EXTRATOS

Observando-se os extratos para cada solução pôde-se notar características divergentes quanto aos aspectos visuais e de consistência. Para o extrato ácido, obteve-se uma coloração verde musgo, com consistência consideravelmente viscosa. Para o extrato básico, a coloração encontrada foi verde oliva, menos viscoso quando comparado ao extrato ácido. Contudo, para o extrato salino, a coloração notada foi verde claro, com viscosidade baixa.



O método utilizado para determinação de viscosidade foi comparação entre os extratos. Exemplos ilustrativos do aspecto dos extratos encontram-se no Apêndice C.

#### 4.2 COMPARAÇÃO DE PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ, ALTERAÇÃO DE pH E ALCALINIDADE

A Figura 3 apresenta o percentual de remoção de turbidez quando adicionado os extratos de cacto *Cereus jamacaru*.

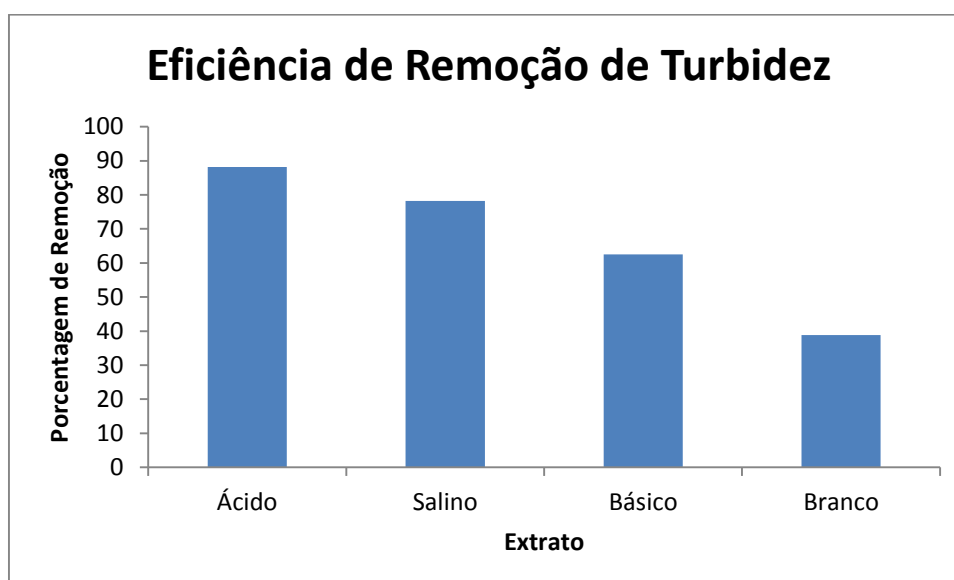


Figura 3: Comparativo de porcentagem de remoção de Turbidez

A partir da avaliação da Figura 3, pôde-se simplificar o comparativo de remoção de turbidez em água. A adição dos extratos ácido, básico e salino permitiu a elevação da remoção da turbidez tão quanto o aumento da velocidade de decantação. Segundo Di Bernardo (2002, p. 33) quanto menor for a turbidez resultante pós decantação, mais eficiente serão os processos posteriores (como filtração e desinfecção).

Fernandes *et al.* (2001) obtiveram resultados em clarificação de extrato aquoso de *Stevia rebaudiana* com cacto *Cereus peruvianis*, com remoção de

turbidez de 60%, próximo ao obtido pelo extrato de cacto Mandacaru com hidróxido de sódio.

Aplicando-se o tanino como coagulante primário e auxiliar de coagulação ao sulfato de alumínio, os pesquisadores Ozacar e Sengil (2002) observaram que este tem maior eficiência como auxiliar, com resultados atingidos próximos aos obtidos pelo cacto Mandacaru.

Zhang et al. (2005) apresentou resultados semelhantes ao estudo corrente, utilizando cacto *opuntia* como auxiliar de coagulação ao cloreto de alumínio, obtendo uma remoção de 94% de turbidez.

Ndabigengesere e Narasiah (1998) utilizando a *moringa oleífera* como coagulante primário apresentaram resultados superiores aos apresentados nesta pesquisa.

Lenz, Zara e Thomazini (2011) estudaram a eficiência em termos de remoção de turbidez de água bruta de rio utilizando extrato de cacto Mandacaru como coagulante auxiliar ao sulfato de alumínio avaliando os processos de coagulação e floculação, obtendo-se resultados similares ao do presente estudo.

Os valores para alcalinidade total sofreram alterações com a adição de extrato ácido e extrato básico, sendo o parâmetro com valor diminuído pela ação daquele e aumentado pela ação deste.

Em relação aos valores de pH, a aplicação de coagulantes auxiliares não geraram grande variação. Pode-se atribuir a maior ação exercida sobre esta característica aos coagulantes metálicos do que aos extratos de cacto.

#### 4.3 NATUREZA DA FORMAÇÃO DOS FLOCOS COM APLICAÇÃO DOS EXTRATOS

No teste com sulfato de alumínio em sinergia com o extrato ácido do cacto, obteve-se resultados satisfatórios com remoção de turbidez de 88,2%. Quando comparado com o teste de branco (correspondente à água sem adição de extrato de cacto), o aumento da eficiência de remoção foi significativo (2,27 vezes maior).

Os flocos formados foram filamentosos e pequenos (Figura 4) e a velocidade de decantação dos flocos é elevada, conforme os resultados obtidos de turbidez

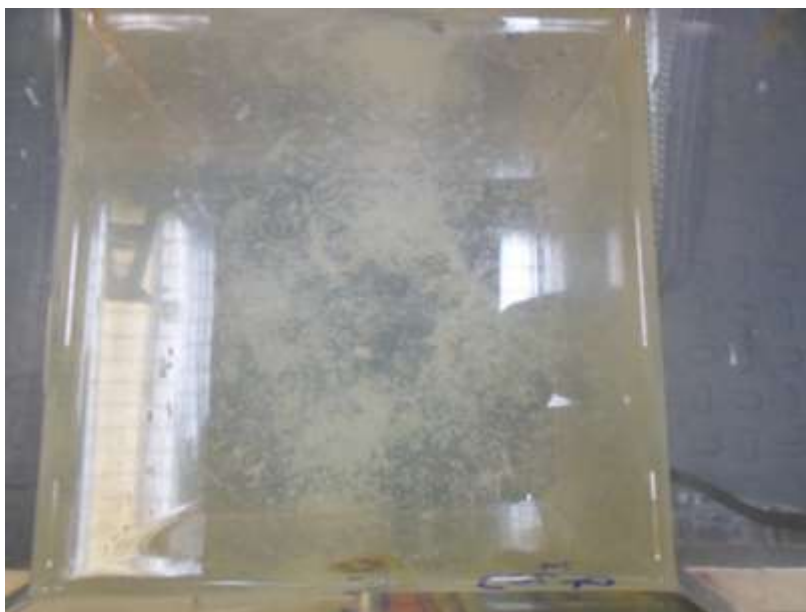
entre o tempo 5 e 45 não apresentarem grande variação. Tendo-se uma velocidade de decantação alta, o tempo de permanência da água coagulada nas unidades de tratamento de água é reduzida, aumentando-se, assim, o volume de líquido tratado, a vida útil dos filtros e qualidade do produto.



**Figura 4: Flocos formados com adição de Extrato Ácido. Autoria Própria.**

O teste realizado com o conjunto do extrato salino e coagulante metálico revelou a eficiência desta associação, obtendo-se uma turbidez final de 78,2%. Quando comparado ao branco obteve um resultado 2,01 vezes maior em porcentagem de redução.

Novamente, pôde-se observar que a velocidade de decantação foi elevada. Este aumento na velocidade de decantação deve-se pelo aumento de tamanho e peso dos aglomerados formados quando comparados à prova sem adição de extrato. Os flocos formados foram filamentosos e maiores com referência ao extrato ácido conforme observa-se na Figura 5.



**Figura 5: Flocos Formados com adição de Extrato Salino. Autoria Própria**

Os aglomerados deram início logo após a adição do coagulante metálico em simultâneo com o coagulante auxiliar, clarificando a água ainda na etapa de coagulação.

No teste realizado com o sulfato de alumínio em sinergia com o extrato básico, o resultado obtido apresentou remoção de 62,5% da turbidez inicial, sendo 1,6 vezes maior quando comparado à prova de branco. Ao cotejar os dados de remoção de turbidez, nota-se que, apesar de não apresentar eficiência equiparada aos outros extratos, ainda assim, este mostrou-se uma alternativa para reduzir o volume a utilizar de coagulante metálico.

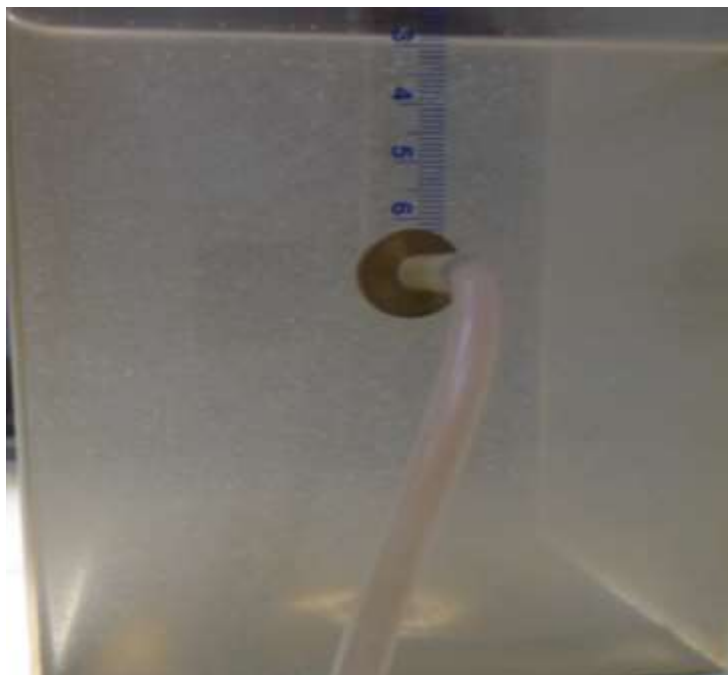
Assim como os ensaios com extrato ácido e salino, a velocidade de decantação apresentou-se elevada. Os flocos formados apresentaram-se grandes e filamentosos conforme observa-se Figura 6.



**Figura 6: Flocos formados com adição de Extrato Básico. Aatoria Própria.**

Os flocos por serem maiores e mais pesados quando comparados aos obtidos na prova de branco (Figura 7) fazem com que a velocidade de decantação seja maior.

A Figura 7 mostra os flocos formados na prova de branco, ou seja apenas com adição de coagulante metálico. Comparando-se as Figuras 4, 5, 6 e 7, pode-se observar que os flocos formados pelos extratos ácido e básico são maiores, o que os leva à uma velocidade de decantação maior e tempo de permanência da água coagulada na estação de tratamento menor.



**Figura 7: Flocos formados sem adição de Extrato de Cacto. Autoria Própria.**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao reduzir a utilização de coagulantes metálicos, diminui-se o investimento necessário para manter a empresa em curso, aumenta-se os cuidados ao lançamento de poluentes como resíduos de alumínio, substituindo-o por lodo biodegradável, aumentando-se a eficiência em um processo de clarificação nas ETAs.

Estudos para o desenvolvimento de coagulantes naturais são satisfatórios para o aumento de consciência ambiental, grande aplicabilidade industrial e inovação tecnológica.

A viscosidade é um parâmetro que deve ser levado em consideração em trabalhos futuros para complemento deste estudo.

## 7 CONCLUSÃO

As aplicações dos coagulantes auxiliares (extratos de cacto *Cereus jamacaru*) aos ensaios de coagulação e floculação apresentaram resultados satisfatórios na redução de turbidez em água de turbidez sintética de caulim.

Os reagentes utilizados foram eficazes para a extração do complexo viscoso do cacto, o qual é uma fonte para pesquisas futuras, avaliando suas propriedades químicas e biológicas.

Tendo-se uma abundância de plantas das quais se pode extrair polímeros que agem como coagulantes auxiliares no tratamento de água, denota-se uma viabilidade de sua utilização.



## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION / AMERICAN WORKS ASSOCIATION/ WATER ENVIROMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> Ed, Washington DC, USA, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12621**: Água – Determinação de dureza total – Método titulométrico de EDTA-Na. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13798**: Água – Determinação de cor – Método da comparação visual. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. Portaria MS nº 2914/11. **Ministério da Saúde**, Brasília, 2011.

CARDOSO, Karina C.; BERGAMASCO, Rosângela; COSSICH, Eneida S.; MORAES, Leila C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam. **Periódicos UEM**, Maringá, v.30, n.2, p. 193-198, 2008.

COLOMBO. Departamento de Química e Biologia – **Turbidez**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Curitiba. Disponível em: < <http://pessoal.utfpr.edu.br/colombo/arquivos/Turbidez2.pdf>> Acesso em 22 Setembro 2013.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; FILHO, Paulo L. C.; **Ensaio de tratabilidade da água e dos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Rima, 2002.

DIAZ, A.; *et. al.*; A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. **Process Biochemistry**, v. 35, p. 391-395, 1999.

FERNANDES, Larissa Maria, PEREIRA, Nehemias Curvelo, MENDES, Elisabete Scolin, LIMA, Oswaldo Curty da Motta, COSTA, Sílvio Cláudio da. **Clarificação do extrato aquoso se *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni utilizando o cacto, *Cereus peruvianus***. Universidade Estadual de Maringá, v. 23, n. 6, p. 1369 – 1374, 2001.

LENZ, G. F.; ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.. **Study of the efficiency of natural polymer extracted Mandacaru cactus (*Cereus jamacaru*) as coagulation and**

**flocculation aids for water treatment.** Simpósio de Sistemas e Procedimentos Sustentáveis, Toledo, 2011.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento de Água.** 2ª Ed. Campinas: Átomo, 2008.

METODOLOGIA PARA ÁGUA DE TURBIDEZ SINTÉTICA, Disponível em: <[http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/VERSAO\\_FINAL\\_-\\_14-11B.pdf](http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/VERSAO_FINAL_-_14-11B.pdf)> Acesso em 17 agosto de 2013.

NDABIGENGESERE, Anselme; NARASIAH, Subba K.; TALBOT, Brian G. **Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using *Moringa Oleifera*.** Water Research, v. 29, n.2, p. 703 – 710, 1995.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** Aracaju, Editora Triunfo, 2001.

OZACAR, Mahmutand; SENGIL, Ayhan. **The use of tannins from turkish Acorns (*Valonia*) in water treatment as a coagulant and coagulant Aid.** Turkish Journal Eng. Env. Sci.V. 26, p. 255-263, 2002.

OZACAR, Mahmutand, SENGIL, Ayhan. **Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles.** Colloids and surfaces A:Physicochem. Eng. Aspects, v 229, p. 85-96, 2003.

PEDROSO, K. et al. **Avaliação do tratamento lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação com Tanfloc SG®.** Revista de Engenharia e Tecnologia, ISSN 2176-7270, V. 4, nº 2, Agosto de 2012, p. 87-98. Disponível em: <<http://www.revistaret.com.br/ojs-2.2.3/index.php/ret/article/viewFile/126/150>> Acesso 22 Agosto 2013.

PINTO, A. Luiz. **Saneamento Básico e Qualidade das Águas Subterrâneas.** Geografia e Produção Regional: Sociedade e Ambiente. Campo Grande, Editora da UFMS; p.11, 2003

RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e tecnologia de Tratamento.** São Paulo, Blucher, 2009.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada.**São Paulo: Blucher, 2003.

RODIER, Jean; LEGUBE, Bernard; MERLET, Nicole. **L'Analyse de l'eau**. Paris: DOUND, 2009.

SABESP, **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo: Tratamento de Água**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>> Acesso em 22 setembro 2013.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de Tratabilidade Físico-química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento de Esgoto**. Fundação Oswaldo Cruz, Dissertação de Mestrado, 1999.

TELLES, Dirceu D.A.; COSTA, Regina P. **Reuso da Água: Conceitos, Teorias e Práticas**. São Paulo: BLucher, 2010.

THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.. **Application of Natural Polymer Extracted Moringa Oleifera in the Treatment of Drinking Water**. Plastic and Polymer Technology (PAPT), v. 2, Issue 1, March 2013.

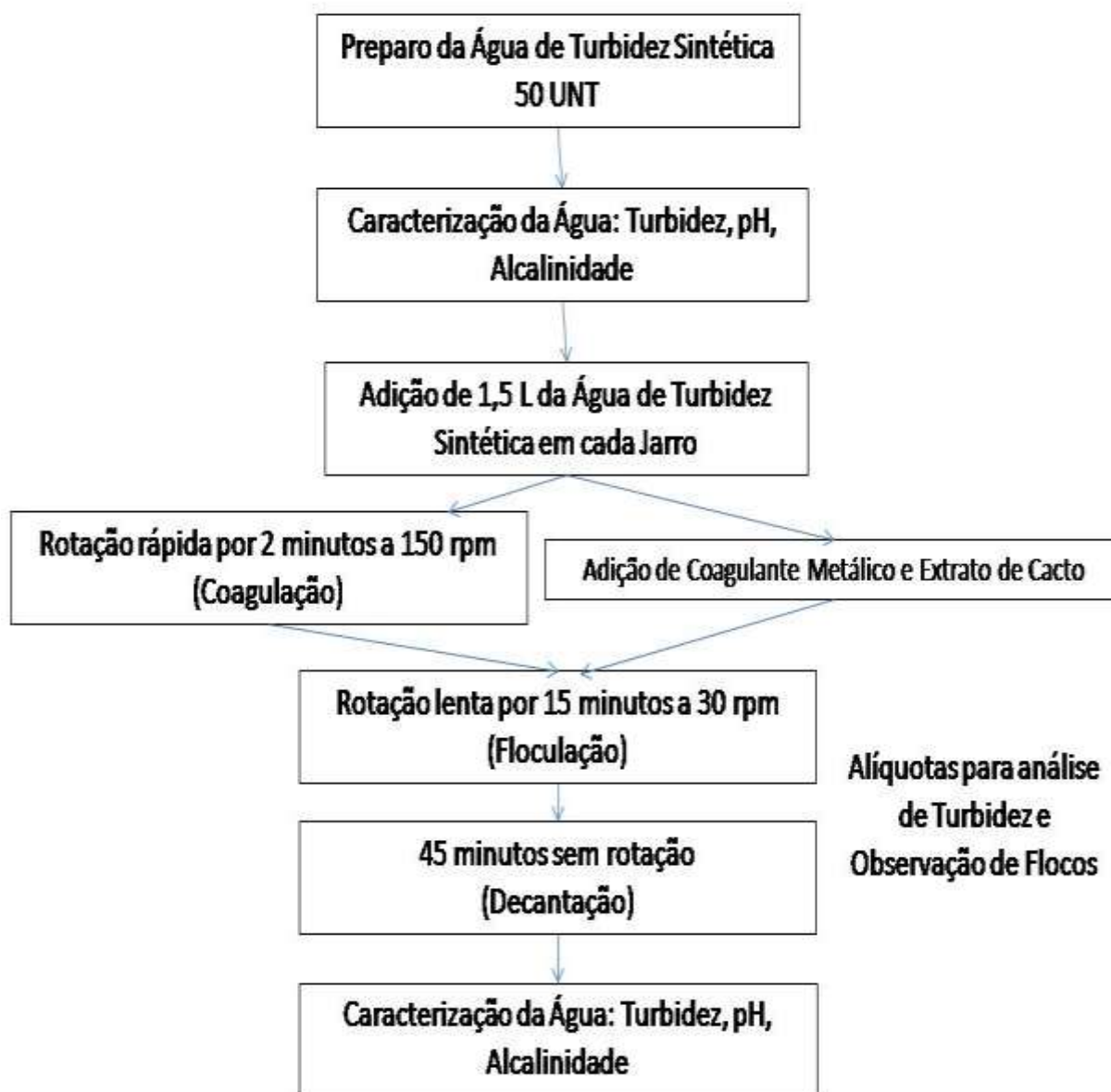
THEODORO, J. D. P.; LENZ, G. F.; ZARA, R. F.; BERGAMASCO, R.. **Coagulants and Natural Polymers: Perspectives for the Treatment of Water**. Plastic and Polymer Technology (PAPT), v. 2, Issue 3, September 2013.

VIJAYARAGHAVAN, G.; *et al.* **Application of Plant Based Coagulants for Waste Water Treatment**. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, v. 1, Issue 1, October-December, 2011. Disponível em <<http://www.technicaljournalsonline.com/ijaers/VOL%20I/IJAERS%20VOL%20I%20ISSUE%20I%20OCTOBER%20DECEMBER%202011/18%20IJAERS.pdf>> Acesso em 15 agosto 2013.

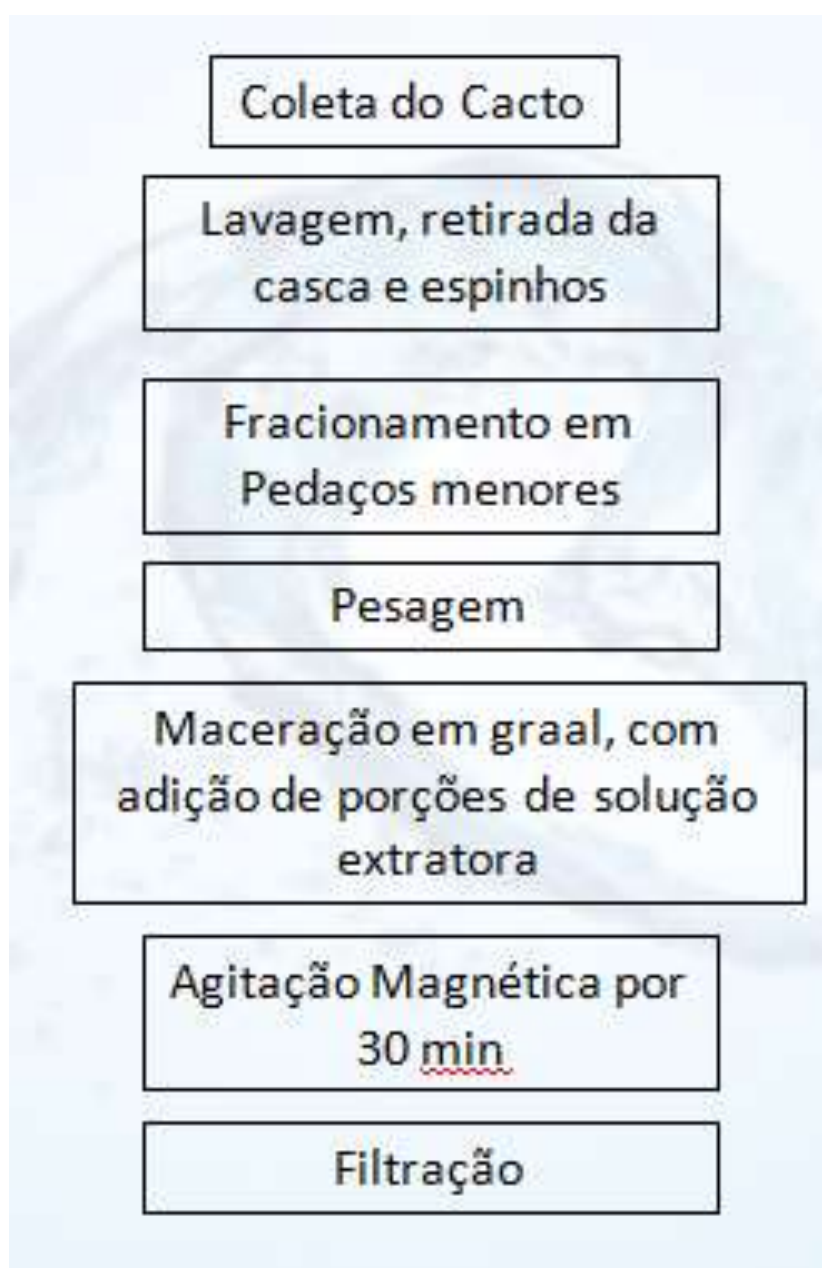
YIN, Chun-Yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, 2010.

ZHANG, Jingdong; *et al.* A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. **Bioprocess Chemistry**, v. 41, 2005.

## APÊNDICE A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXECUÇÃO DO ESTUDO



## APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO PREPARO DE EXTRATO



## APÊNDICE C – ASPECTOS DOS EXTRATOS

