

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS LONDRINA**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ALINE VIGNOLI SOUZA**

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTES  
ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA A REMOÇÃO DE  
TURBIDEZ E COR APARENTE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ II**

**LONDRINA**

**2021**

**ALINE VIGNOLI SOUZA**

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTES  
ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA A REMOÇÃO DE  
TURBIDEZ E COR APARENTE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro

**LONDRINA**

**2021**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

### **DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA A REMOÇÃO DE TURBIDEZ E COR APARENTE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ II**

Por

ALINE VIGNOLI SOUZA

Monografia apresentada às 14 horas 00 min. do dia 07 de maio de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Edilaine Regina Pereira	Membro
Prof. Paulo Sergio Theodoro	Membro
Prof. Joseane Debora Peruço Theodoro	Orientador
Prof. ORLANDO DE CARVALHO JUNIOR	Professor(a) responsável TCCII



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Josafat e Regina, meu irmão Guilherme e minha tia Lena que sempre me apoiaram desde o começo em todos os momentos, principalmente nos piores. Que me apoiaram quando desisti a primeira vez e me deram forças para voltar. Sempre me ajudaram, me deram esperanças e sempre tiveram muita fé que eu conseguiria e acreditaram em mim.

Agradeço aos meus amigos e principalmente às minhas amigas Juliana, Mayara, Camila e Jéssica que estiveram comigo nessa caminhada e em todos os outros momentos e sempre fizeram de tudo para me ajudar e me apoiar, toda vez que precisei de um ombro amigo elas nunca deixaram faltar, além de estarem sempre torcendo por mim.

Agradeço também a todos meus professores pelo ensinamento, principalmente minhas professoras da UTFPR, Katia Valeria Marques Cardoso Prates e Isabela Bruna de Tavares Machado Bolonhesi, que em um momento muito delicado que eu estava passando, elas me enxergaram, se importaram em saber se eu estava bem e mostraram apoio para o que eu precisasse. Vocês nem imaginam, mas sempre tive problemas de ansiedade e timidez, principalmente com professores, e vocês me ajudaram muito a lidar melhor com isso.

Só tenho a agradecer também a minha professora orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Joseane Debora Peruço Theodoro que esteve sempre me ajudando e por toda a paciência que teve em me ensinar como professora e orientadora de TCC e Iniciação Científica. Espero que continue sempre sendo essa professora mãe para seus alunos. Obrigada por tudo.

Enfim, agradeço a todos que participaram dessa caminhada comigo.

## RESUMO

SOUZA, A. V. **Determinação da concentração de coagulantes orgânicos e inorgânicos para a remoção de turbidez e cor aparente da água do Lago Igapó II.** 2021. 43 p. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

Para que se tenha uma remoção eficaz dos parâmetros turbidez e cor da água é importante saber qual concentração de coagulante utilizar e o tempo de sedimentação para que o processo de floculação seja eficiente. Para melhor entender a eficiência da floculação, é importante levar em consideração os processos de agregação e ruptura dos flocos. Este trabalho teve por objetivo analisar a melhor concentração de coagulante e o tempo de sedimentação para os processos de coagulação, floculação e sedimentação para a clarificação da água, além de determinar o desempenho da floculação ( $N_0/N$ ) e a razão entre o coeficiente de agregação pelo coeficiente de ruptura ( $K_b/K_a$ ) pelo modelo de Bratby. Os coagulantes utilizados foram: *Moringa oleifera* e Tanfloc SG e cloreto férrico. As amostras de água foram coletadas no Lago Igapó II e os ensaios foram realizados por orientados de Iniciação Científica do curso de Engenharia Ambiental, ministrados pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joseane Débora Peruço Theodoro. Para o ensaio, foram utilizadas concentrações de 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160 e 180 mgL<sup>-1</sup> para cada coagulante e as amostras foram coletadas a cada 10, 20, 40 e 60 minutos de sedimentação para cada concentração de coagulante e os resultados obtidos foram analisados no presente trabalho. O coagulante cloreto férrico foi o que se mostrou mais efetivo na remoção do parâmetro turbidez, atingindo 98% de remoção, na concentração 120 mgL<sup>-1</sup> após 40 minutos de sedimentação. O mesmo foi para a remoção do parâmetro cor aparente, que se mostrou imediato logo nos 10 primeiros minutos de sedimentação alcançando 98,73% de remoção, na concentração 120 mgL<sup>-1</sup>. Dentre os coagulantes utilizados, o cloreto férrico foi o que apresentou o menor  $K_b/K_a$ , equivalente a 0,001, e melhor desempenho da floculação, sendo  $N_0/N$  correspondente a 50,00, ambos na concentração de 120mgL<sup>-1</sup> de cloreto férrico após 40 minutos, confirmando os melhores valores obtidos na remoção dos parâmetros turbidez e cor.

**Palavras-chave:** Floculação. Coagulante. Água.

## ABSTRACT

SOUZA, A. V. **Determination of the concentration of organic and inorganic coagulants for the removal of turbidity and apparent color from the water of Lake Igapó II.** 2021. 43 p. (Undergraduate degree in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2021.

In order to have an effective removal of the turbidity and color parameters of the water, it is important to know which coagulant concentration to use and the sedimentation time for the flocculation process to be efficient. In order to better understand the efficiency of the flocculation, it is important to take into account the aggregation and rupture processes of the flakes. This work aimed to analyze the best coagulant concentration and the sedimentation time for the coagulation, flocculation and sedimentation processes to clarify the water, in addition to determining the flocculation performance ( $N_0 / N$ ) and the ratio between the coefficient of aggregation by the rupture coefficient ( $K_b / K_a$ ) by the Bratby model. The coagulants used were: *Moringa oleifera* and Tanfloc SG and ferric chloride. The water samples were collected at Lake Igapó II and the tests were carried out by Scientific Initiation students from the Environmental Engineering course, taught by Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joseane Débora Peruço Theodoro. For the assay, concentrations of 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160 and 180 mgL<sup>-1</sup> were used for each coagulant and samples were collected every 10, 20, 40 and 60 minutes sedimentation for each coagulant concentration and the results obtained were analyzed in the present work. The ferric chloride coagulant was the most effective in removing the turbidity parameter, reaching 98% removal, at a concentration of 120 mgL<sup>-1</sup> after 40 minutes of sedimentation. The same was true for the removal of the apparent color parameter, which was immediately apparent in the first 10 minutes of sedimentation, reaching 98.73% removal, at a concentration of 120 mgL<sup>-1</sup>. Among the coagulants used, ferric chloride was the one with the lowest  $K_b / K_a$ , equivalent to 0.001, and the best flocculation performance, with  $N_0 / N$  corresponding to 50.00, both at a concentration of 120mgL<sup>-1</sup> of ferric chloride after 40 minutes, confirming the best values obtained when removing the turbidity and color parameters.

**Key-words:** Flocculation. Coagulant. Water.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema simplificado do tratamento convencional. ....	4
<b>Figura 2</b> – Desestabilização das partículas coloidais. ....	5
<b>Figura 3</b> – Formação dos flocos. ....	6
<b>Figura 4</b> - Mecanismos de quebra dos flocos durante a floculação.....	7
<b>Figura 5</b> - Processo de sedimentação.....	9
<b>Figura 6</b> - Árvore da <i>Moringa oleifera</i> .....	12
<b>Figura 7</b> - Sementes da <i>Moringa oleifera</i> .....	13
<b>Figura 8</b> - Estrutura básica dos taninos. ....	14
<b>Figura 9</b> - Fluxograma das etapas envolvidas no desenvolvimento experimental. ....	16
<b>Figura 10</b> - Localização do ponto de coleta no Lago Igapó II.....	17
<b>Figura 11</b> - Remoção de turbidez utilizando coagulante FeCl <sub>3</sub> . ....	22
<b>Figura 12</b> - Remoção de turbidez utilizando coagulante Tanfloc SG. ....	23
<b>Figura 13</b> - Remoção de turbidez utilizando coagulante <i>Moringa oleifera</i> .....	24
<b>Figura 14</b> - Remoção de cor aparente utilizando coagulante FeCl <sub>3</sub> .....	26
<b>Figura 15</b> - Remoção de cor aparente utilizando coagulante Tanfloc SG.....	27
<b>Figura 16</b> - Remoção de cor aparente utilizando coagulante <i>Moringa oleifera</i> . ....	27
<b>Figura 17</b> - Demonstração gráfica dos valores obtidos para as concentrações de FeCl <sub>3</sub> , pela razão $K_b/K_a$ em relação a turbidez. ....	28
<b>Figura 18</b> - Demonstração gráfica dos valores obtidos, para cada concentração de Tanfloc SG, pela razão $K_b/K_a$ em relação a turbidez. ....	31
<b>Figura 19</b> - Demonstração gráfica dos valores obtidos, para cada concentração de <i>Moringa oleifera</i> , pela razão $K_b/K_a$ em relação a turbidez. ....	34



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios. ....	19
<b>Tabela 2</b> - Valores dos parâmetros da água bruta.....	20
<b>Tabela 3</b> - Porcentagem de remoção de turbidez com o uso dos coagulantes cloreto férico, Tanfloc SG e Moringa oleifera. ....	21
<b>Tabela 4</b> - Porcentagem de remoção de cor aparente com o uso do coagulante cloreto férico, Tanfloc SG e Moringa oleifera. ....	25
<b>Tabela 5</b> - Desempenho da floculação ( $N_0/N$ ) utilizando os coagulantes cloreto férrico, Tanfloc SG e Moringa oleifera. ....	37

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

APHA	American Public Health Association
ETA	Estação de Tratamento de Água
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto férrico
g	Gramas
G <sub>F</sub>	Gradiente médio de velocidade durante a floculação
gL <sup>-1</sup>	Gramas por litro
°C	Grau Celsius
K <sub>A</sub>	Coefficiente de agregação
K <sub>B</sub>	Coefficiente de ruptura
KCl	Cloreto de potássio
L	Litro
mgL <sup>-1</sup>	Miligrama por litro
min	Minuto
mL	Milímetros
NaCl	Cloreto de sódio
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
n <sub>T</sub>	Número de partículas primárias por unidade de volume no tempo t
n <sub>0</sub>	Número de partículas primárias por unidade de volume no tempo t=0
N <sub>0</sub>	Turbidez inicial do sobrenadante
N <sub>1</sub>	Turbidez final do sobrenadante
pH	Potencial Hidrogeniônico
R <sub>1</sub>	Radical um
R <sub>2</sub>	Radical dois
RPM	Rotações por minuto
T <sub>F</sub>	Tempo de floculação
uH	Unidade Hazen
uT	Unidade de turbidez
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
$\frac{dn}{dt}$	Variação do número de partículas primárias por unidade de volume em relação ao tempo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVO.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL .....	3
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	3
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
3.1	TRATAMENTO DE ÁGUA .....	4
3.2	COAGULAÇÃO.....	5
3.3	FLOCULAÇÃO.....	6
3.3.1	<i>Agregação e ruptura</i> .....	7
3.3.2	<i>Método de Bratby</i> .....	8
3.4	SEDIMENTAÇÃO.....	9
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁGUA.....	10
3.5.1	<i>Cor Aparente</i> .....	10
3.5.2	<i>Turbidez</i> .....	10
3.6	COAGULANTES .....	11
3.6.1	<i>Coagulantes Inorgânicos</i> .....	11
3.6.1.1	<i>Cloreto férrico</i> .....	11
3.6.2	<i>Coagulantes orgânicos</i> .....	12
3.6.2.1	<i>Moringa oleifera</i> .....	12
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	16
4.2	AMOSTRAGEM .....	17
4.3	PREPARO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES .....	17
4.4	ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO.....	18
4.5	ANÁLISE DOS PARÂMETROS .....	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM .....	20
5.2	ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	20
5.2.1	<i>Remoção de turbidez</i> .....	20
5.2.2	<i>Remoção de cor aparente</i> .....	25
5.3	DESEMPENHO DA RAZÃO DO COEFICIENTE DE RUPTURA PELO COEFICIENTE DE AGREGAÇÃO (KB/KA) .....	28
5.4	DESEMPENHO DA FLOCULAÇÃO (N <sub>0</sub> /N) .....	36
6	CONCLUSÃO .....	39
7	REFERENCIAS .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

Para a remoção da turbidez e cor da água, os processos de coagulação, floculação e sedimentação são muito importantes. A coagulação consiste na agitação rápida da água para dissipar o coagulante no meio líquido e desestabilizar as partículas coloidais existentes na água bruta, servindo para facilitar a etapa de floculação, onde ocorre uma movimentação mais moderada dessa água para que diminua ao máximo as partículas coloidais e suspensas com a formação dos flocos (ASSUNÇÃO, 2018). A próxima etapa, a sedimentação, consiste na deposição dos flocos em suspensão no fundo do tanque pela ação da gravidade (AZEVEDO, 2013).

Para que ocorra a coagulação/floculação das partículas, é necessário a utilização de coagulantes. O cloreto férrico é um produto inorgânico muito utilizado como coagulante e geralmente apresenta resultados eficientes na remoção de turbidez e cor aparente, porém, o coagulante por si só já possui uma cor alaranjada, então se utilizado em excesso, pode alterar os parâmetros fazendo com que a turbidez e cor aparente aumentem por causa de uma parte desse coagulante que não participou do processo de coagulação/floculação. Outra alternativa de coagulantes são os coagulantes orgânicos que se mostraram eficientes na remoção de turbidez e cor aparente da água (VAZ, 2009).

A *Moringa oleifera* pode ser uma alternativa como coagulante orgânico, pois as suas sementes possuem polímeros que apresentam uma proteína catiônica, que atrai e forma ligação com as partículas coloidais negativamente carregadas, formando os flocos (OLIVEIRA, 2018). Outra possibilidade de coagulante orgânico é o tanino, que de acordo com Silva (1999), é um polímero catiônico viscoso que quando em contato com as partículas coloidais, neutraliza suas cargas formando pontes entre eles, ocorrendo a formação de flocos, o que o torna eficiente no processo de coagulação/floculação no tratamento de água, além de não alterar o pH do meio e poder ser utilizado em uma faixa de pH de 4,5 a 8,0.

No processo de floculação, ocorre a agregação e a ruptura, simultaneamente, dos flocos, sendo a ruptura causada pela diferença de pressão dinâmica nos lados opostos dos flocos e pela força de cisalhamento gerada pelo arraste da água, o que provoca erosão nas superfícies desses flocos, e a agregação que consiste na aglutinação das partículas desestabilizadas formando os flocos. Após esse processo simultâneo de agregação e ruptura, ocorre a estabilização da dimensão dos flocos (DI BERNARDO; BOTARI; SAOGAL-PAZ, 2005).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar as variações das concentrações dos coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e tanino e o coagulante inorgânico cloreto férrico

utilizados para a remoção da turbidez e cor aparente da água do Lago Igapó II e estimar o desempenho da floculação pelo processo de agregação e ruptura dos flocos por meio do Método de Bratby proposto por Argaman e Kaufman (1970).

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo geral

Determinar a melhor concentração de coagulante na remoção dos parâmetros turbidez e cor aparente da água do Lago Igapó II utilizando os coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e tanino e o coagulante inorgânico cloreto férrico.

### 2.2 Objetivo específico

- Analisar os dados obtidos de remoção dos parâmetros: cor aparente e turbidez da amostra de água;
- Analisar a eficiência dos tempos de sedimentação para a remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez;
- Analisar quais concentrações dos coagulantes obtiveram um melhor resultado;
- Determinar o coeficiente de agregação e de ruptura utilizando o Método de Bratby.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

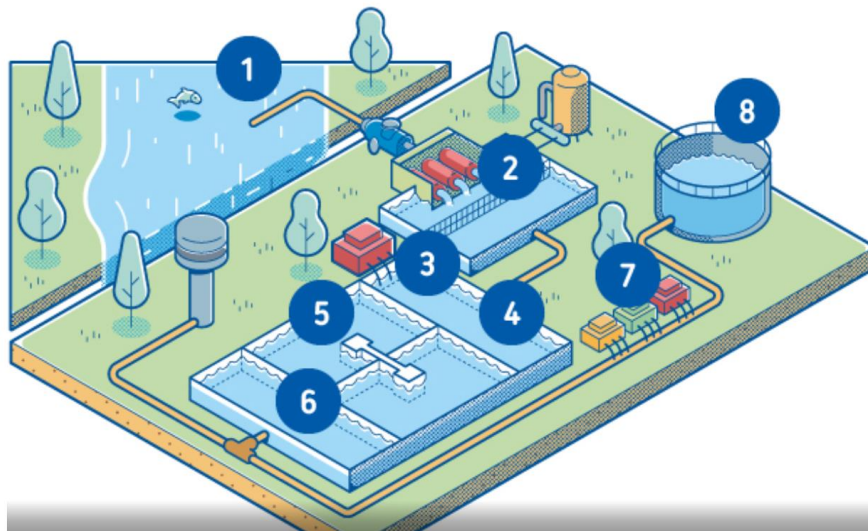
#### 3.1 Tratamento de água

O tratamento de água resume-se em processos direcionados para remover contaminantes da água tornando possível sua utilização para as finalidades desejadas, seja para uso doméstico, lazer, hospitalar, entre outros (BRANDÃO, 2011).

Para que a população receba em suas casas uma água potável e saudável para consumo, ou seja, de boa qualidade, ela passa por um longo caminho, desde sua captação até as Estações de Tratamento de Água (ETA). Nas ETAs, a água passa por processos de tratamento, normalmente convencionais, sendo eles, basicamente: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (TRATA BRASIL, 2019).

A Figura 1 a seguir mostra os processos simplificados do tratamento de água convencional.

**Figura 1** - Esquema simplificado do tratamento convencional.



**Fonte:** TRATA BRASIL, 2019.

**Obs:** 1 – A água é captada dos mananciais, passa por gradeamento para reter sólidos grosseiros e desarenação para remover a areia por sedimentação; 2 – Transporte da água do manancial para a ETA; 3 – Adição de coagulante, cloro e cal; 4 – Processos de coagulação e floculação; 5 – Processo de sedimentação; 6 – A água passa por filtração; 7 – Adição de cloro, flúor e controle do pH, quando necessário; 8 – Armazenamento da água.

### 3.2 Coagulação

A coagulação é o processo em que se adiciona um coagulante no meio líquido para que ocorra a desestabilização das partículas suspensas e seja possível a aglomeração dessas (RIBEIRO, 2010).

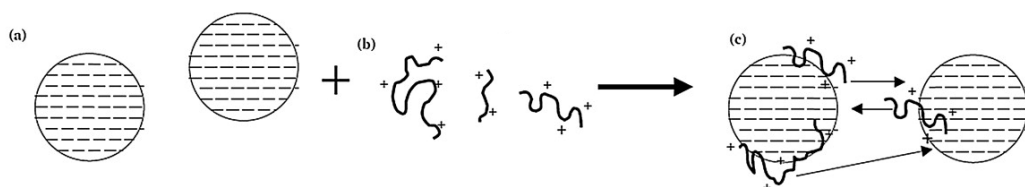
As partículas coloidais suspensas na água possuem uma baixa velocidade de sedimentação, então a coagulação, assim como a floculação, tem por objetivo juntar essas partículas e formar flocos para aumentar a velocidade de sedimentação (FRANCO et al., 2017).

Esta etapa é iniciada com uma mistura rápida que pode ser auxiliada por misturadores ou qualquer dispositivo capaz de gerar turbulência, como por exemplo a calha Parshall, para que seja possível que o coagulante utilizado se distribua por toda a massa d'água e entre em contato com as partículas coloidais para desestabilizar suas cargas superficiais (DEZOTTI, 2008). Os coagulantes são adicionados na água bruta, tendo por objetivo aglutinar as partículas dissolvidas e coloidais para que se tornem partículas maiores, facilitando a separação sólido-líquido do meio líquido (FUNASA, 2014).

A aglutinação das partículas coloidais acontece pois o coagulante utilizado, normalmente coagulante inorgânico, elimina as cargas negativas das partículas, neutralizando-as e diminuindo a repulsão entre elas, o que torna possível se aglutinarem com a ajuda, também, da agitação rápida que faz com que essas partículas se encontrem (SILVA, 2017). Além da neutralização, a desestabilização dessas partículas pode ocorrer também devido a compressão da camada difusa e pela adsorção dos sais ou polímeros utilizados como coagulante (RIBEIRO, 2010).

A Figura 2 demonstra o processo de desestabilização das partículas coloidais durante a coagulação.

**Figura 2** – Desestabilização das partículas coloidais.



**Fonte:** Adaptado de LEE, ROBINSON e CHONG (2014).

**Obs:** a) Partículas coloidais eletrizadas negativamente; b) Coagulante catiônico; c) Interação entre o coagulante catiônico e as partículas coloidais e estabelecimento de forças atrativas de agregação reduzindo as cargas negativas superficiais dos coloides.



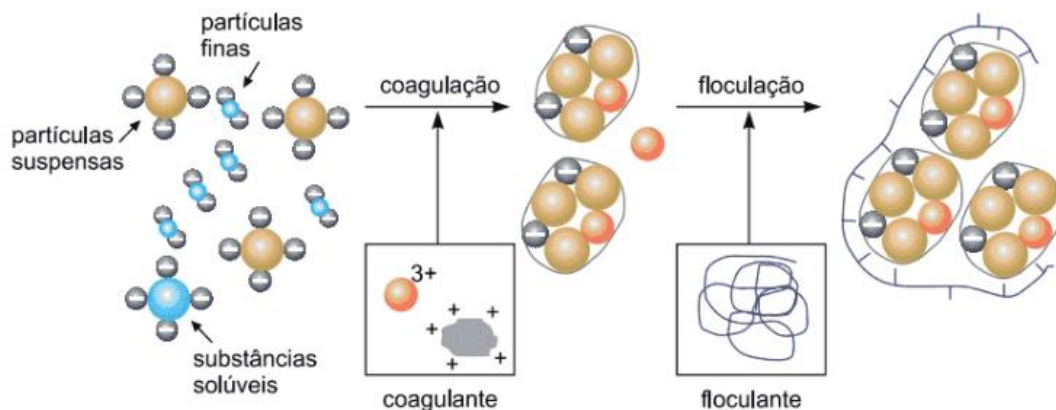
Neste processo, na maioria dos casos, os coagulantes inorgânicos empregados são geralmente sulfato de alumínio ou cloreto férrico, por possuírem alta efetividade na remoção de ampla variedade de partículas coloidais e sólidos dissolvidos (BASSETTI; BERGAMASCO; CORAL, 2009).

### 3.3 Floculação

Logo após o processo de coagulação, a água passa pela floculação, que ocorre com uma agitação mais suave para que os coloides já desestabilizados se aglomerem gerando flocos e não ocorra a quebra dos mesmos por conta do gradiente de velocidade (DEZOTTI, 2008).

A Figura 3 demonstra a formação dos flocos durante a etapa de floculação.

**Figura 3** – Formação dos flocos.



**Fonte:** Adaptado de CACHEIRA et al. (2012).

De acordo com Ribeiro (2010), a formação dos flocos pode ocorrer de duas maneiras: floculação pericínética e floculação ortocínética, onde uma acontece pelo movimento aleatório das partículas ainda pequenas, decorrente do movimento Browniano, que se colidem e formam os flocos, e outra ocorre pela turbulência gerada no líquido por forças mecânicas exteriores que faz com que as partículas, já maiores, se colidem e se aglutinem, formando flocos ainda maiores e pesados para facilitar a sedimentação, respectivamente.

A eficiência da coagulação juntamente com o gradiente de velocidade e o tempo de floculação, são de grande importância para o desempenho da floculação para que evite quebras dos flocos já formados (BARTIKO; DE JULIO, 2015).

Nesta unidade não ocorre remoção das impurezas, mas sim somente a aglutinação das partículas para formar flocos maiores e pesados para que na etapa seguinte de sedimentação ocorra a separação e remoção desses flocos (HELLER; PADUA, 2006).

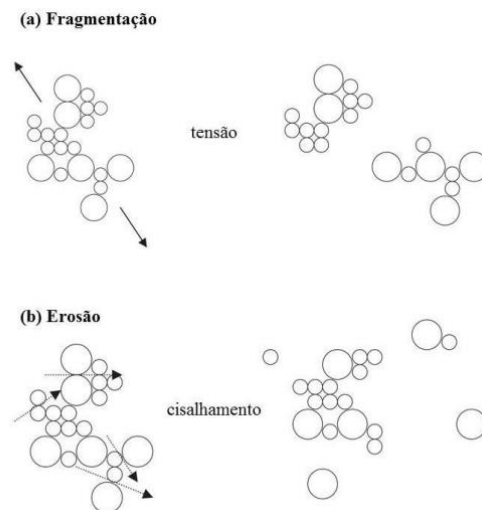
### 3.3.1. Agregação e ruptura

Durante o processo de floculação, a agitação lenta promove dois efeitos simultâneos nos flocos, a agregação e a ruptura. A agitação durante a floculação consiste em gerar encontros das partículas desestabilizadas para que as mesmas se aglomerem, e ocorra a agregação, formando os flocos. O tempo de agitação e o gradiente de velocidade gerado podem acentuar as forças de cisalhamento que atuam sobre os flocos formados, causando erosão nas suas superfícies e o rompimento dos mesmos (VOLTAN, 2007).

De acordo com Oliveira (2008) quando se tem velocidades relativamente altas podem gerar gradientes de velocidade que promovem a erosão e fragmentação dos flocos, causando sua ruptura antes mesmo de sua remoção.

A Figura 4 a seguir demonstra os mecanismos de ruptura dos flocos durante a floculação.

**Figura 4 -** Mecanismos de quebra dos flocos durante a floculação.



**Fonte:** Adaptado de JARVIS et al. (2005).

**Obs:** a) Fragmentação dos flocos provocado por uma força de tensão; b) Erosão dos flocos causado por uma força de cisalhamento.

Modelos matemáticos relativos à cinética do encontro das partículas são utilizados para estimar a eficiência da floculação, através dos eventos simultâneos de agregação e ruptura dos flocos formados (HESPANHOL; FILHO, 2016).

No começo da floculação, quando os flocos ainda estão pequenos, o processo de agregação é o que domina. No entanto, à medida que eles vão crescendo, a influência do processo de ruptura começa a aumentar e depois de um tempo os flocos vão parar de crescer e vão atingir tamanhos estáveis por conta dos fenômenos simultâneos de agregação e ruptura (BARCELLOS, 2016).

### 3.3.2. Método de Bratby

Segundo Oliveira (2008) a equação do Método de Bratby, proposto por Argaman e Kaufman (1970), descreve a cinética da floculação em reator estático, assumindo o número de partículas primárias igual a turbidez remanescente, sendo:

$$\frac{dn}{dt} = -K_A n_T G_F + K_B n_0 (G_F)^2 \quad (1)$$

Onde:

$n_0$  - Número de partículas primárias por unidade de volume no tempo  $t=0$ ;

$n_T$  - Número de partículas primárias por unidade de volume no tempo  $t$ ;

$\frac{dn}{dt}$  - Variação do número de partículas primárias por unidade de volume em relação ao tempo;

$K_A$  - Coeficiente de agregação;

$K_B$  - Coeficiente de ruptura;

$G_F$  - Gradiente médio de velocidade durante a floculação.

O termo  $-K_A n_T G_F$  indica o desaparecimento de partículas primárias para dar origem aos flocos e o termo  $+K_B n_0 (G_F)^2$  indica o aparecimento de partículas por erosão dos flocos. A variação do número de partículas primárias em relação ao tempo é dada pelo somatório destes dois efeitos simultâneos. Integrando a Equação (1) e assumindo o número de partículas primárias igual a turbidez remanescente, obtém-se a Equação (2):

$$\frac{N_0}{N_1} = \left[ \frac{K_B}{K_A} G_F + \left( 1 - \frac{K_B}{K_A} G_F \right) e^{-K_A G_F T} \right]^{-1} \quad (2)$$

Em que:

$N_0$  - Turbidez inicial do sobrenadante;

$N_1$  - Turbidez final do sobrenadante;

$T_F$  - Tempo de floculação.

Rearranjando a Equação (2), temos a Equação (3):

$$K_A = \frac{1}{G_F T_F} \ln \left[ \frac{\left(1 - \frac{K_B}{K_A} G_F\right)}{\left(\frac{1}{\frac{N_0}{N}} \frac{K_B}{K_A} G_F\right)} \right] \quad (3)$$

Assumindo que não haja mais agregação e tampouco desagregação de partículas primárias dos flocos após um período de sedimentação relativamente longo, a Equação (3) pode ser igualada a zero, resultando (Bratby, 1977) na Equação (4):

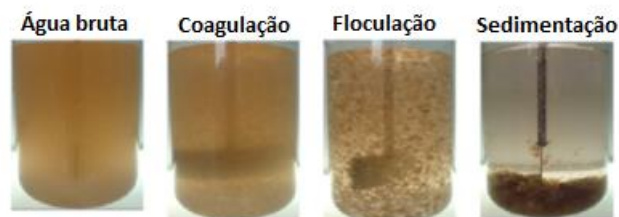
$$\frac{K_B}{K_A} = \frac{1}{G_F \frac{N_0}{N}} \quad (4)$$

### 3.4 Sedimentação

A sedimentação é uma etapa comumente utilizada no processo de clarificação na maioria das ETAs. Consiste na separação da fase sólida e líquida pela gravidade, onde os flocos mais densos do que a água se depositam no fundo dos tanques (ALUIZ, 2019).

A Figura 5 mostra o processo de sedimentação dos flocos.

**Figura 5** - Processo de sedimentação.



**Fonte:** ORUÊ (2015).

De acordo Junior (2016) as partículas coloidais apresentam uma baixa velocidade de sedimentação e por isto torna-se necessário a adição de coagulantes químicos, para formarem flocos maiores e pesados e sedimentarem em um movimento descendente mais rapidamente.

A eficiência da sedimentação baseia-se nas etapas de coagulação e floculação, ou seja, não haverá uma sedimentação efetiva nos tanques se houver um funcionamento inadequado (problemas operacionais, água bruta com pouca concentração de sólidos, uso inadequado de coagulantes) nas etapas anteriores (SILVA, 2019).

### **3.5 Características físicas da água**

Por conta do objetivo do trabalho, serão enfatizadas apenas os parâmetros: cor aparente e turbidez.

#### **3.5.1 Cor Aparente**

A cor da água se dá devido a existência de sólidos dissolvidos, que podem ser de origem orgânica ou inorgânica, que absorvem a radiação, limitando a intensidade da luz que atravessa o meio líquido (SKORONSKI et al., 2014).

A cor pode ser aparente ou verdadeira. A cor verdadeira pode ser determinada após centrifugação ou filtração da amostra, e a cor aparente é medida sem a remoção das partículas suspensas na água (FUNASA, 2014).

A unidade usada para medir a cor da água é denominada unidade Hazen (uH), quando comparada com um padrão de cobalto-platina (GASPAROTTO,2011).

#### **3.5.2 Turbidez**

A turbidez pode ser definida como a interferência de partículas suspensas, podendo ser elas: argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada, na passagem de luz através da água, resultando em uma aparência turva (LIBÂNIO, 2010).

Diferente da cor, que é medida considerando partículas dissolvidas, a turbidez leva em consideração as partículas em suspensão, que pode ser reduzida com a sedimentação desse material (FUNASA, 2014).

Esta característica pode ser muito útil e importante para a determinação de erosão do solo por ações antrópicas, além de materiais suspensos de origem de efluentes domésticos e

industriais, pois esses sólidos de origem antrópica podem apresentar compostos tóxicos e organismos patogênicos (RAPOSO; BARROS; JUNIOR, 2009).

### **3.6 Coagulantes**

Para que haja uma eficiente remoção das impurezas da água no processo de clarificação, a utilização de coagulantes inorgânicos ou orgânicos torna-se necessária.

Para este trabalho, serão ressaltados o coagulante inorgânico cloreto férrico e os coagulantes orgânicos tanino e *Moringa oleifera*.

#### **3.6.1 Coagulantes Inorgânicos**

##### **3.6.1.1. Cloreto férrico**

Os sais de ferro são um dos compostos mais utilizados como coagulantes inorgânicos por conta de suas capacidades de coagulação já comprovadas (CARVALHO, 2008). De acordo com Carvalho (2008) o cloreto férrico age como um efetivo coagulante na formação de flocos nas faixas de pH entre 5,0 a 11,0.

A utilização do cloreto férrico diminui consideravelmente a turbidez da água, elimina fosfatos e uma boa parte de metais pesados ou venenosos, e para uma boa efetividade, o cloreto férrico necessita de um meio com valores elevados de pH (LIBÂNIO, 2010). Esses sais de ferro são muito utilizados para neutralizar as cargas negativas dos coloides, porém, quando utilizados em excesso, uma parte desses sais não participam da reação de coagulação e floculação, o que aumenta os parâmetros cor e turbidez da água (HIGASHI, 2015).

Em estudo feito por Pimenta et al. (2017) sobre a avaliação dos coagulantes sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água bruta do rio Santo Anastácio, utilizando o coagulante cloreto férrico, os resultados obtidos para a remoção do parâmetro cor aparente foi de aproximadamente 95,7% utilizando concentrações de 30, 40 e 50 mgL<sup>-1</sup> e 95,23% de remoção do parâmetro turbidez utilizando dosagem de 50 mgL<sup>-1</sup>.

Já em uma análise comparativa dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no processo de clarificação de água residuária têxtil feita por Gonçalves, Filho e Oliveira (2021) os resultados obtidos para a remoção de turbidez utilizando o coagulante cloreto férrico, em 200 mL de amostra de água residuária sintética na concentração 2:4 (partes de corante: partes de caulim) foi de 99,5% utilizando concentração de 4,0 mL do coagulante.

Em meio aquoso, os íons de ferro, carregados positivamente, criam fortes pontes de ligação com os oxigênios das moléculas de água, podendo ter até seis átomos de oxigênio ligados a eles. Nesse processo, os íons  $H^+$  são liberados das moléculas de água, deixando o pH do meio mais ácido (LIBÂNIO, 2010). Portanto, torna-se necessário a correção do pH para não correr o risco de corrosão das tubulações de rede de distribuição para abastecimento (HIGASHI, 2015).

### 3.6.2. Coagulantes orgânicos

Como alternativas para substituição de coagulantes inorgânicos no tratamento de água, estão sendo estudados os coagulantes orgânicos, como o tanino e a *Moringa oleifera*, vantajosos por não possuírem toxicidade aos humanos.

#### 3.6.2.1. *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera*, dentre as várias espécies existentes, é a que mais se destaca (JACOB, 2018). É uma planta tropical e faz parte da família Moringaceae e é muito utilizada no tratamento de água (CAMACHO et al., 2017). É tolerante a seca e tem potenciais medicinais, sendo utilizada por muitos em tratamentos de doenças e distúrbios fisiológicos (AKHTAR et al., 2006). A árvore da *Moringa oleifera* é mostrada na Figura 6 a seguir.

**Figura 6** - Árvore da *Moringa oleifera*



**Fonte:** JACOB (2018).

As sementes da *Moringa oleifera* possuem proteínas solúveis em água, se mostrando um efetivo coagulante na clarificação da água para obtenção de água potável (CAMACHO et al., 2017). É relatado em literaturas que o uso das sementes de moringa para tratamento de água vem desde milênios na Índia (HELLER; PADUA, 2006).

As sementes da *Moringa oleifera* com a casca e descascadas são mostradas na Figura 7 a seguir.

**Figura 7** - Sementes da *Moringa oleifera*.



**Fonte:** Cimento Itambé (2015).

Essas proteínas presentes nas sementes da *Moringa oleifera* possuem propriedades catiônicas, como já mencionado, porém os flocos formados por elas são pequenos, necessitando de um tempo de sedimentação maior em torno de 60 a 90 minutos (MATEUS et al., 2018).

Alguns estudos mostraram que a *Moringa oleifera* pode reduzir 98% de coliforme termotolerantes e eliminar cercarias do *Shistosoma mansoni*, agente causador da esquistossomose (HELLER; PADUA, 2006).

Pesquisas recentes mostraram a efetiva ação das sementes da moringa no tratamento de água como coagulantes naturais, que assim como os outros coagulantes, a eficiência também depende da dosagem. Além disso, esta árvore possui mais duas características: as folhas da árvore da moringa parecem apresentar um alto valor proteico, sendo consumidas por algumas pessoas, e pode ser extraído o óleo da semente de valor comercial, sem que prejudique seu potencial coagulante (HELLER; PADUA, 2006). Outro ponto positivo é que esse coagulante natural consegue agir em qualquer valor de pH, não necessitando de outros insumos para a correção do pH (BERTONCINI, 2008).

Nkurunziza et al. (2009) demonstraram que para turbidez inicial de 50 NTU e 450 NTU, foram removidos 88,6% e 99,8%, respectivamente, de turbidez com as sementes da *Moringa oleifera* em solução salina de NaCl 1 Molar.



Madrona et al. (2009) fizeram um experimento com semente da *Moringa oleifera* em solução salina KCl 1 Molar para a clarificação das águas com turbidez iniciais de 450 – 550 NTU, 250 – 350 NTU e 150 NTU e observaram que este coagulante orgânico teve uma melhor eficiência na remoção de turbidez com maior teor, resultando 99,7% da remoção.

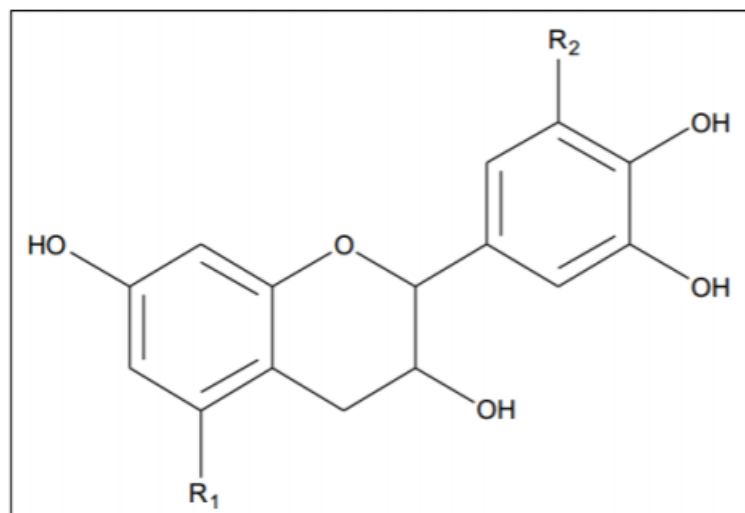
Arantes, Ribeiro e Paterniani (2012), adotaram alguns tipos de processamentos das sementes da *Moringa oleifera* para a obtenção da solução coagulante, sendo eles em: máquina de moer com pó peneirado, máquina de moer com pó sem peneirar, pilão com pó peneirado, pilão com pó sem peneirar, liquidificador e mixer, onde tiveram melhores resultados de remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez utilizando dosagem de 500 mgL<sup>-1</sup> do coagulante e 30 minutos de sedimentação, sendo 98% utilizando máquina com pó peneirado e 98% utilizando pilão com pó peneirado, respectivamente.

### 3.6.1.1 Tanino (Tanfloc SG)

Os taninos são moléculas fenólicas, constituídos de carboidratos simples, capazes de formar sais complexos com proteínas e outras moléculas (HETKA et al., 2016).

A Figura 5 mostra a estrutura básica dos taninos, e nas posições R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> normalmente há hidroxilas.

**Figura 8** - Estrutura básica dos taninos.



**Fonte:** Mangrich et al. (2013).

Tanfloc SG é um polímero natural com propriedades catiônicas, podendo atuar como coagulante, floculante ou auxiliar de coagulação. Atua na desestabilização de partículas

coloidais, criando pontes entre elas e formando flocos. Outra característica é que o Tanfloc SG não consome o pH do meio, e atua melhor em uma faixa de pH de 4,5 a 8,0 (TANAC, 2013).

Em um estudo feito por Trevisan (2014), o Tanfloc SG mostrou formar flocos mais irregulares e com um tempo de sedimentação menor comparado ao cloreto férrico.

Zolett e Jabur (2013) observaram em seu trabalho feito sobre o uso do tanino para o tratamento de água para o consumo humano que em comparação com o sulfato de alumínio, os flocos formados pelo Tanfloc foram maiores, o que facilita na decantação. Ainda neste mesmo trabalho, a água bruta apresentava turbidez inicial de 20,5 NTU e tratando com o sulfato de alumínio obteve resultado de 0,35 NTU e após a filtração resultou em 0,18 NTU, utilizando 0,70 mL do coagulante para 1,0 litro de água. Já com o Tanfloc, utilizando 0,80 mL do coagulante no tratamento de 1,0 litro de água, o resultado após os procedimentos de coagulação/floculação/sedimentação foi de 1,18 NTU e após a filtragem resultou em 1,13 NTU. Os dois resultados se mostraram aceitáveis para o consumo humano.

Em estudo feito por Skoronski et al. (2014) sobre a aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão – SC, para uma água bruta apresentando valores de cor aparente e turbidez iguais a 223 uC e 159 uT, respectivamente, utilizando concentração de 2,5 mgL<sup>-1</sup> de tanino foi possível alcançar turbidez nula e a cor aparente da água caiu para 5,4 uC.

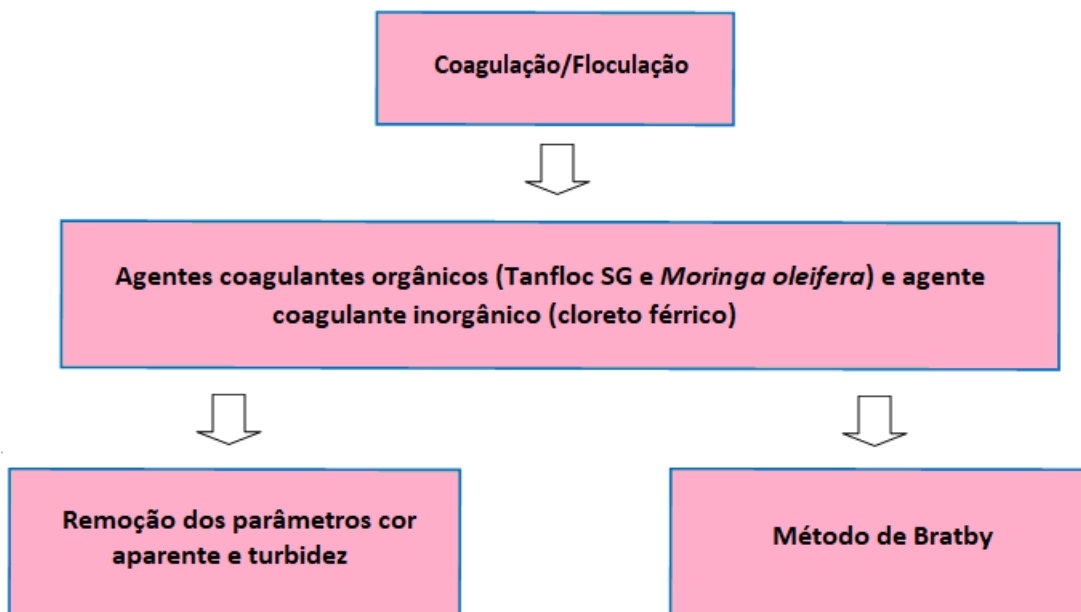
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento experimental foi realizado no Laboratório de Recursos Hídricos, que está localizado no bloco S do campus Londrina da UTFPR. Os resultados foram obtidos por orientados de iniciação científica de Engenharia Ambiental, ministrado pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joseane Débora Peruço Theodoro e as análises de dados foram feitas ao longo deste trabalho de conclusão de curso.

O experimento consistiu no processo de coagulação/floculação aplicado na remoção dos parâmetros cor e turbidez da água de estudo, usando agentes coagulantes orgânicos (tanfloc SG e *Moringa oleifera*) e agente coagulante inorgânico (cloreto férrico).

A Figura 6 representa o fluxograma resumido das etapas que foram realizadas no desenvolvimento experimental.

**Figura 9** - Fluxograma das etapas envolvidas no desenvolvimento experimental.



**Fonte:** Autoria própria.

### 4.1 Área de estudo

Para a realização do presente trabalho foram coletadas amostras de água do Lago Igapó II, localizado no município de Londrina – Paraná. As coordenadas do local de coleta das amostras foram 23° 19' 42" S e 51° 10' 11" O, destacado na Figura 7.

**Figura 10** - Localização do ponto de coleta no Lago Igapó II.



**Fonte:** BOTELHO (2016).

## 4.2 Amostragem

Para a amostragem foram utilizados dois galões de 60 litros para a armazenagem e um balde para coletar as amostras. Esses materiais foram aclimatados, o que consiste em lavar internamente os materiais três vezes apenas com a água do local da coleta para evitar possíveis contaminações das amostras e limpar as impurezas, e posteriormente realizou-se a coleta.

## 4.3 Preparo das soluções coagulantes

Durante o ensaio, foram utilizados 3 coagulantes, os quais dois são orgânicos e um inorgânico, sendo eles: *Moringa oleifera* e tanino (Tanfloc SG) e cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), respectivamente.

A metodologia para o preparo da solução do coagulante orgânico *Moringa oleifera* foi adaptada de acordo com Bergamasco et al. (2008), onde ocorre a extração através da solução salina de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) na concentração de 1 Molar. A extração foi realizada triturando-se 10g da semente da *Moringa oleifera* descascada em um liquidificador com 1 L da solução salina. Em seguida, a solução foi mantida em agitação em um agitador magnético por 20 minutos e depois filtrada com coador de pano, obtendo-se a extração dos componentes ativos da *Moringa oleifera* em meio salino, na concentração de  $10 \text{ gL}^{-1}$ . A solução do

coagulante orgânico tanino foi obtida através da pesagem de 10g de tanino diluído em um balão volumétrico contendo 1 L de volume de água destilada, desta forma a concentração obtida foi de 10 gL<sup>-1</sup>.

O coagulante inorgânico cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>) foi preparado pesando 10g de cloreto férrico em pó e diluído em um balão volumétrico de 1L contendo água destilada para obter uma concentração de 10gL<sup>-1</sup>.

No processo de coagulação, floculação e sedimentação a concentração utilizada para os coagulantes *Moringa oleifera*, tanino (Tanfloc SG) e cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>) foram 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160 e 180 mgL<sup>-1</sup>.

#### **4.4 Ensaios de coagulação/floculação/sedimentação**

Para a realização dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, foi utilizado o equipamento Jar-Test modelo 218 – 6LDB, da marca Nova Ética, de seis jarros de 2L cada, com regulador de rotação das hastes misturadoras. Antes de serem distribuídas em cada jarro, as amostras de água foram revolvidas para uma melhor homogeneização, e após isso, foram aplicados os coagulantes preparados, cada um em um recipiente. Foi programado no equipamento uma mistura rápida com agitação de 100 RPM durante 3 minutos e uma mistura lenta com agitação de 15 RPM por 15 minutos. Após estes procedimentos, foi aguardado 10 minutos para a sedimentação e colhido amostras (10, 20, 40 e 60 minutos) de todos os jarros ao mesmo tempo para as análises, obtendo um tempo total de sedimentação de 60 minutos.

#### **4.5 Análise dos parâmetros**

No desenvolvimento dos ensaios a temperatura da água em estudo foi mantida na faixa de 25 a 30 °C para a realização do processo de coagulação/floculação.

Para a água em estudo foram determinados os parâmetros de turbidez e cor aparente antes e após o tratamento de coagulação/floculação.

Os parâmetros de cor aparente e turbidez (Tabela 1) foram determinados de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

**Tabela 1** - Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios.

<b>Parâmetro</b>	<b>Equipamento/Modelo</b>	<b>Metodologia</b>
Cor aparente (uH)	Espectrofotômetro DR 5000	2120 C
Turbidez (uT)	Turbidímetro AP2000	2130 B

**Fonte:** APHA (2012).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da amostragem

A fim de comparar e analisar posteriormente os dados obtidos, foi feita a medição dos parâmetros da amostra bruta mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores dos parâmetros da água bruta.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Turbidez (uT)	150
Cor aparente (uH)	236

**Fonte:** Autoria própria.

Como mostra a Tabela 2, os valores dos parâmetros turbidez e cor aparente obtidos da amostra bruta estão muito acima dos valores permitidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (2017) sendo eles 5 uT e 15 uH, respectivamente, fazendo-se necessário o tratamento da água para que os valores dos parâmetros fiquem dentro dos limites permitidos de potabilidade.

### 5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos

#### 5.2.1 Remoção de turbidez

A Tabela 3 mostra os valores de remoção de turbidez obtidos em porcentagem após os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação.

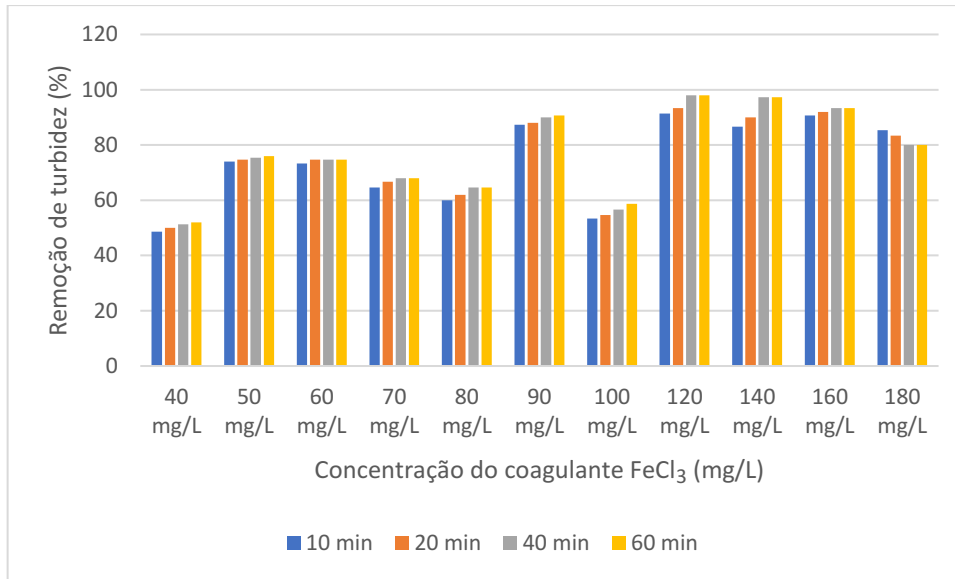
**Tabela 3** - Porcentagem de remoção de turbidez com o uso dos coagulantes cloreto férrico, Tanfloc SG e *Moringa oleifera*.

Concentração (mgL <sup>-1</sup> )	Tempo de sedimentação (min)											
	10			20			40			60		
	% Remoção de turbidez											
	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>
40	48,66	73,33	33,33	50,00	74,67	43,33	51,33	75,33	50,67	52,00	76,00	53,33
50	74,00	67,33	36,00	74,66	70,00	44,67	75,33	74,67	56,67	76,00	76,00	66,67
60	73,33	70,00	37,33	74,66	73,33	42,00	74,66	76,67	48,00	74,66	78,00	60,00
70	64,66	70,67	46,67	66,66	72,00	49,33	68,00	74,67	56,67	68,00	76,67	58,67
80	60,00	72,00	51,33	62,00	73,33	55,33	64,66	76,67	61,33	64,66	78,67	65,33
90	87,33	70,67	49,33	88,00	72,00	53,33	90,00	74,67	61,33	90,66	76,67	65,33
100	53,33	63,33	45,33	54,66	66,67	50,00	56,66	74,67	54,00	58,66	77,33	60,00
120	91,33	73,33	51,33	93,33	74,67	56,67	98,00	78,67	60,00	98,00	80,00	64,67
140	86,66	71,33	53,33	90,00	72,00	57,33	97,33	72,67	60,00	97,33	73,33	66,67
160	90,66	70,00	56,67	92,00	72,67	58,00	93,33	78,67	62,00	93,33	80,00	64,00
180	85,33	68,67	55,33	83,33	70,00	58,67	83,33	72,67	61,33	80,00	76,00	62,00

**Fonte:** Autoria própria.

Para uma melhor análise, as figuras 11, 12 e 13 a seguir mostram em gráficos os percentuais obtidos na remoção do parâmetro turbidez após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.

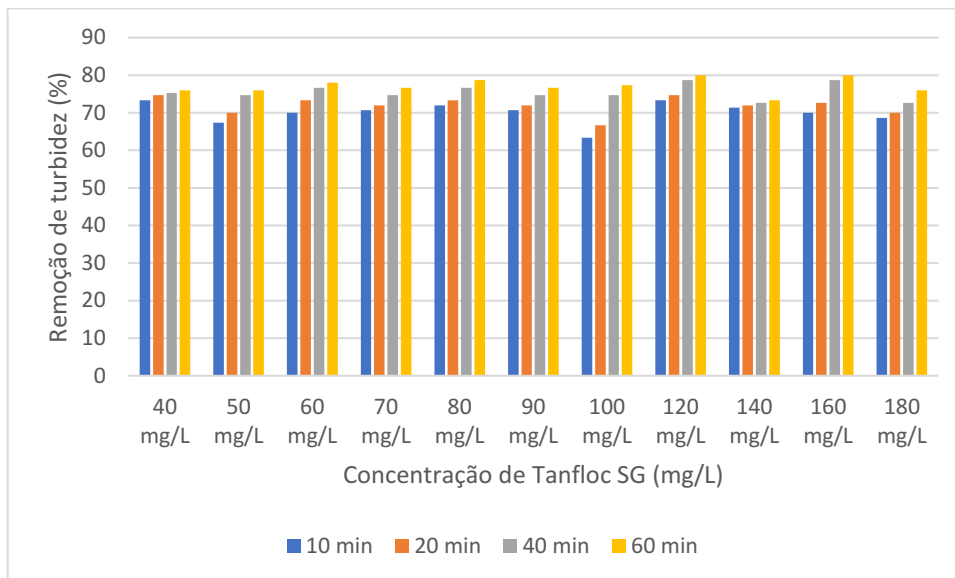


**Figura 11** - Remoção de turbidez utilizando coagulante FeCl<sub>3</sub>.

**Fonte:** Autoria própria.

Ao analisar a Figura 11 observa-se uma eficiência na remoção de turbidez de até 98%, utilizando concentração 120 mgL<sup>-1</sup> de coagulante cloreto férrico. Entre 40 e 60 minutos de sedimentação, a porcentagem de remoção de turbidez não teve acréscimos significativos, sendo ela de 98% em ambos os tempos.

Quando a dosagem de cloreto férrico começou a aumentar, notou-se que a turbidez começou a subir. Com a concentração 180 mgL<sup>-1</sup> de coagulante cloreto férrico, a remoção nos tempos de sedimentação de 40 e 60 minutos caiu para 80% em ambos os casos. Isso acontece pois, de acordo com Vaz et al. (2010), quando se tem cloreto férrico em excesso, chega um momento em que ele não irá mais participar da reação de coagulação/floculação, resultando no aumento da turbidez da água.

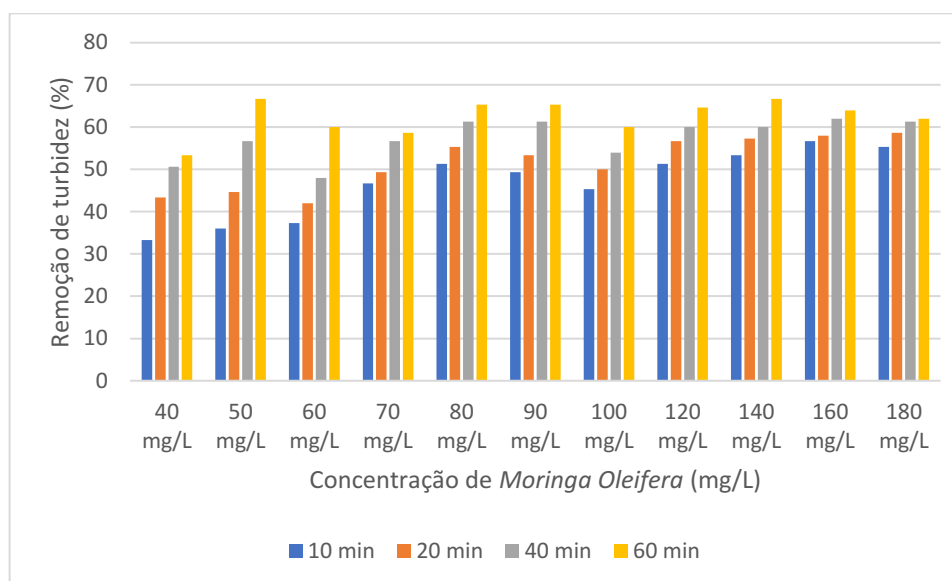
**Figura 12** - Remoção de turbidez utilizando coagulante Tanfloc SG.

**Fonte:** Autoria própria.

É possível observar na Figura 12 que para o coagulante Tanfloc SG o melhor resultado foi após 60 minutos de sedimentação, atingindo 80% de remoção da turbidez na concentração de 120 mgL<sup>-1</sup>, sendo mais interessante do que utilizando a concentração de 160 mgL<sup>-1</sup> que obteve a mesma remoção, pois não é viável utilizar maior concentração de coagulante para obter a mesma eficiência.

Em ensaios feitos por Zotesso, Cossich e Tavares (2019) no tratamento de efluente de lavanderia hospitalar, pode-se notar resultados próximos ao do presente trabalho, sendo 88% de remoção de turbidez utilizando dosagem 160 mgL<sup>-1</sup> de Tanfloc SG.

**Figura 13** - Remoção de turbidez utilizando coagulante *Moringa oleifera*.



**Fonte:** Autoria própria.

Observa-se na Figura 13 que o uso do coagulante *Moringa Oleifera* resultou na remoção de turbidez entre 33,33% e 66,67%. A melhor remoção ocorreu após 60 minutos de sedimentação, com concentrações 50 mgL<sup>-1</sup> e 140 mgL<sup>-1</sup>.

Em um estudo feito por Higashi et al. (2016) sobre o tratamento de água em sistemas lânticos, a remoção de turbidez foi de até 84% após 23 minutos de sedimentação, utilizando 15 mgL<sup>-1</sup> de coagulante.

De acordo com Mateus et al. (2018), para que o coagulante *Moringa oleifera* tenha melhor eficiência na remoção da turbidez, faz se necessário um tempo de sedimentação maior que 60 minutos, pois os flocos formados por esse coagulante não são muito grandes sendo necessário um tempo de sedimentação maior para que esses flocos de menor tamanho se sedimentem no fundo do tanque.

É importante observar que o coagulante orgânico *Moringa oleifera* teve uma menor eficiência na remoção de turbidez em relação aos coagulantes cloreto férrico e Tanfloc SG, porém para atingir a sua maior eficiência, foi necessário utilizar menos coagulante durante os ensaios, comparado aos outros dois coagulantes apresentados nas Figuras 11 e 12.

### 5.2.2 Remoção de cor aparente

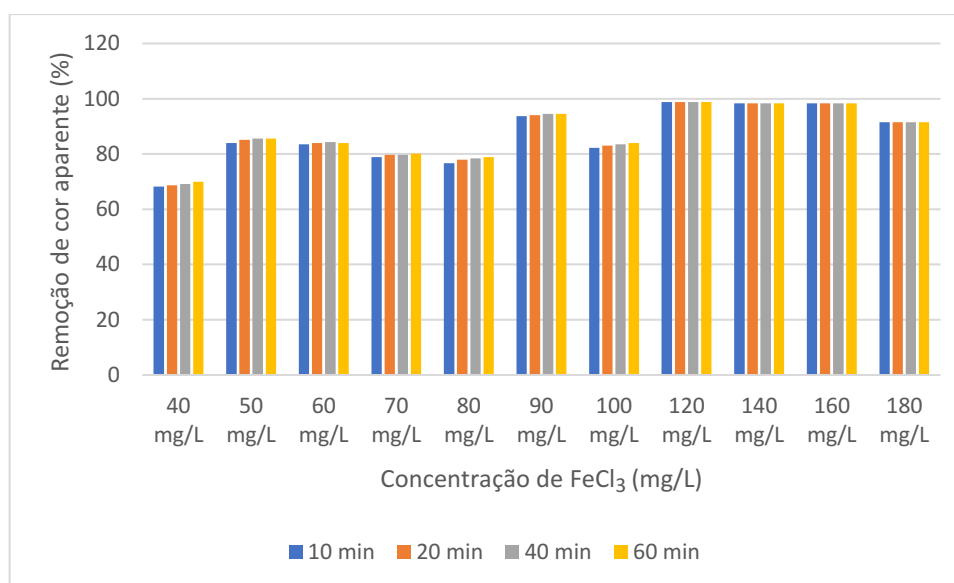
A Tabela 4 mostra os valores de remoção de cor aparente obtidos em porcentagem após os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação.

**Tabela 4** - Porcentagem de remoção de cor aparente com o uso do coagulante cloreto férrico, Tanfloc SG e *Moringa oleifera*.

Concentração (mgL <sup>-1</sup> )	Tempo de sedimentação (min)											
	10			20			40			60		
	% Remoção de cor aparente											
	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>
40	68,22	88,14	41,53	68,64	90,68	53,81	69,07	89,41	74,58	69,92	97,03	82,63
50	83,90	84,75	40,68	85,17	85,59	51,27	85,59	88,98	80,93	85,59	93,22	87,29
60	83,47	92,80	45,76	83,90	84,75	58,47	84,32	91,53	69,49	83,90	92,80	81,36
70	78,81	82,20	33,90	79,66	86,02	48,31	79,66	81,78	68,22	80,08	93,22	82,20
80	76,69	90,68	40,68	77,97	87,29	50,85	78,39	86,02	70,76	78,81	91,53	81,78
90	93,64	82,20	57,63	94,07	77,54	61,86	94,49	80,51	69,07	94,49	88,98	81,78
100	82,20	75,00	63,56	83,05	80,08	67,80	83,47	77,12	77,97	83,90	77,12	82,20
120	98,73	70,34	70,34	98,73	75,42	73,31	98,73	76,69	78,39	98,73	76,27	82,63
140	98,31	75,00	75,42	98,31	80,08	77,12	98,31	75,85	80,51	98,31	75,42	82,20
160	98,31	69,92	57,63	98,31	75,85	63,56	98,31	75,85	72,88	98,31	78,81	83,05
180	91,53	52,97	38,14	91,53	61,44	47,03	91,53	70,34	64,83	91,53	70,34	82,20

**Fonte:** Autoria própria.

Para uma melhor análise das remoções de cor aparente da água, são apresentadas as Figuras 14, 15 e 16 que mostram gráficos com os valores máximos e mínimos de remoção deste parâmetro.

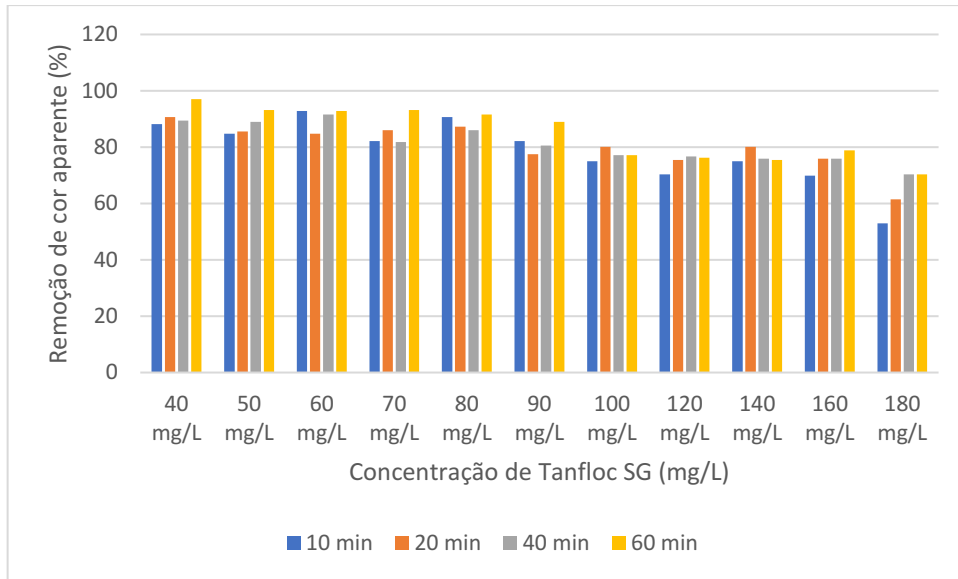
**Figura 14** - Remoção de cor aparente utilizando coagulante FeCl<sub>3</sub>.

**Fonte:** Autoria própria.

A Figura 14 mostra que o melhor percentual de remoção de cor aparente obtido foi de 98,73%. Essa remoção se mostrou mais imediata, sendo eficiente com dosagem de 120 mgL<sup>-1</sup> de cloreto férrico já nos primeiros 10 minutos de sedimentação, mostrando a mesma eficiência nos próximos 60 minutos de sedimentação.

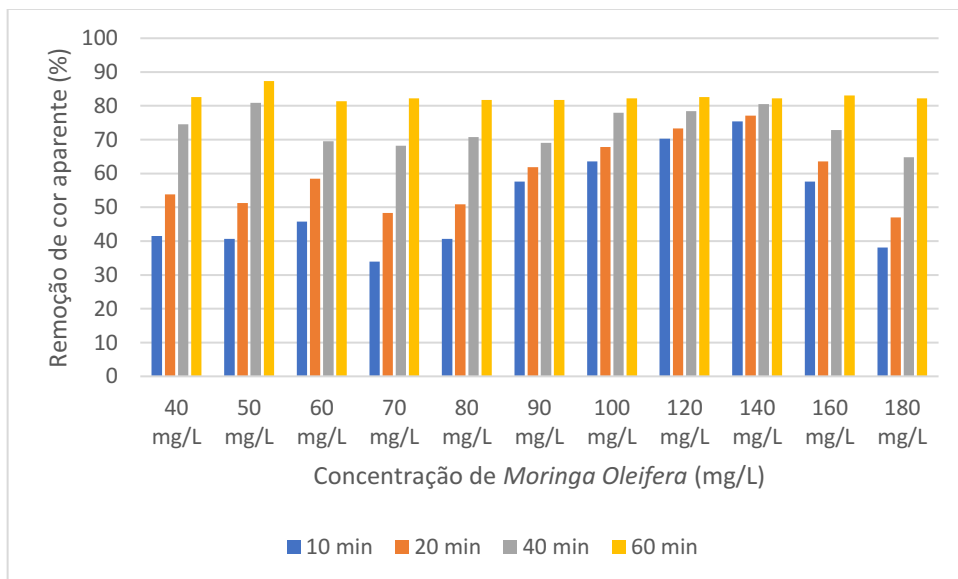
Utilizando as concentrações 140 e 160 mgL<sup>-1</sup> do coagulante cloreto férrico, as remoções foram bem próximas, sendo elas de 98,31% em ambas dosagens, porém, além de não terem atingido a maior eficiência, suas concentrações foram maiores, sendo então preferível utilizar a dosagem de 120 mgL<sup>-1</sup> do coagulante inorgânico.

Higashi et al. (2016) observaram em seu estudo feito sobre tratamento de água de sistemas lânticos que a eficiência de remoção de cor aparente utilizando cloreto férrico foi em torno de 95%, sendo próximo aos valores obtidos no presente trabalho.

**Figura 15** - Remoção de cor aparente utilizando coagulante Tanfloc SG.

**Fonte:** Autoria própria.

Observando a Figura 15 nota-se que o coagulante Tanfloc SG teve sua melhor eficiência após 60 minutos de sedimentação, com dosagem  $40 \text{ mgL}^{-1}$  e remoção de 97,3% da cor aparente. À medida que foram aumentando as dosagens deste coagulante, os resultados de remoção da cor aparente foram se mostrando inferiores, apresentando piores neste parâmetro. Então quanto maior a concentração do coagulante Tanfloc SG, menor desempenho na remoção deste parâmetro, independente do tempo de sedimentação.

**Figura 16** - Remoção de cor aparente utilizando coagulante *Moringa oleifera*.

**Fonte:** Autoria própria.

A Figura 16 mostra que para a *Moringa oleifera* a remoção máxima de cor aparente foi de 87,29% em 60 minutos de sedimentação e com concentração 50 mgL<sup>-1</sup> de coagulante. O aumento da concentração demonstrou piora no parâmetro cor aparente.

Em estudo feito por Higashi et al. (2016) sobre tratamento de água de sistemas lânticos mostrou que a eficiência de remoção do parâmetro cor aparente utilizando o coagulante *Moringa oleifera* foi de aproximadamente 85%, muito próximo aos valores obtidos no presente ensaio.

Como pode ser observado, conforme o tempo vai passando, a eficiência de remoção de cor aparente vai aumentando na maioria dos casos, pois quanto mais a amostra ficar em repouso, mais os flocos vão se sedimentando no fundo do tanque (SILVA, 2019).

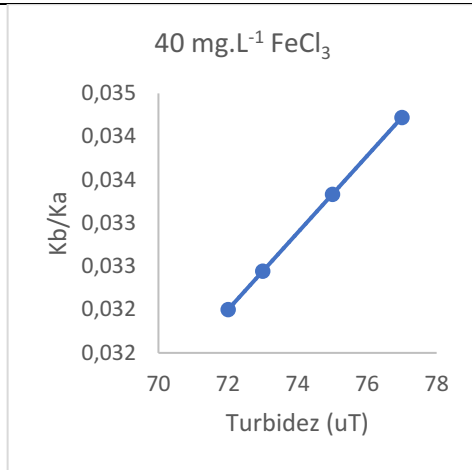
### 5.3 Desempenho da razão do coeficiente de ruptura pelo coeficiente de agregação (Kb/Ka)

A razão do coeficiente de ruptura pelo coeficiente de agregação, representada por Kb/Ka, demonstra durante a etapa de floculação qual processo estará prevalecendo em determinados momentos e em determinadas concentrações de coagulante, ou seja, quanto maior for a relação Kb/Ka, maior será a turbidez da água e estará predominando a ruptura dos flocos. Já quando a relação Kb/Ka for menor, então a turbidez da água estará diminuindo, ou seja, a agregação dos flocos estará ocorrendo em maior número.

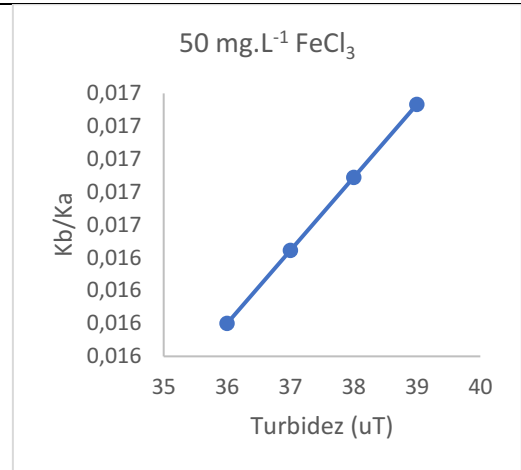
A Figura 17 apresenta gráficos de Kb/Ka x Turbidez para cada concentração de coagulante FeCl<sub>3</sub>.

**Figura 17** - Demonstração gráfica dos valores obtidos para as concentrações de FeCl<sub>3</sub>, pela razão Kb/Ka em relação a turbidez.

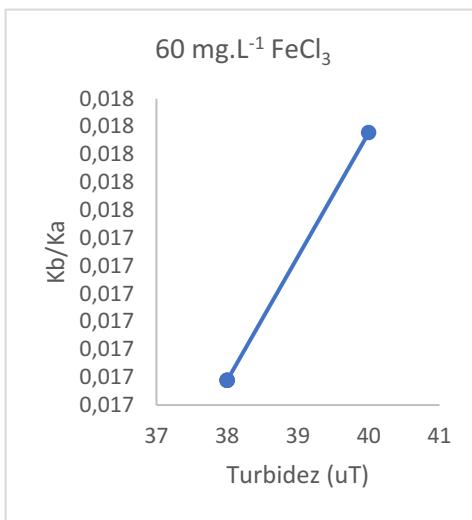
a) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [40 mgL <sup>-1</sup> FeCl <sub>3</sub> ]	b) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [50 mgL <sup>-1</sup> FeCl <sub>3</sub> ]
---	---



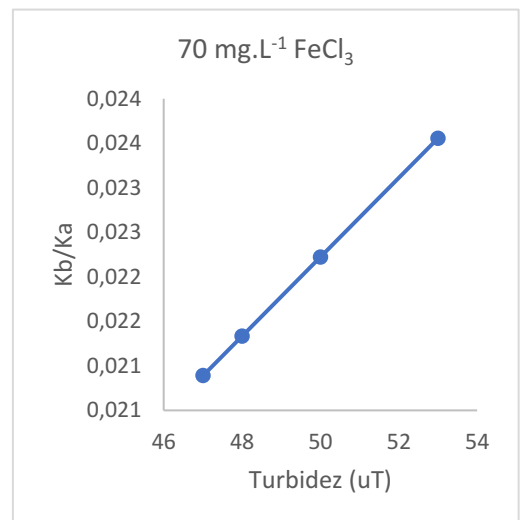
c) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [60 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



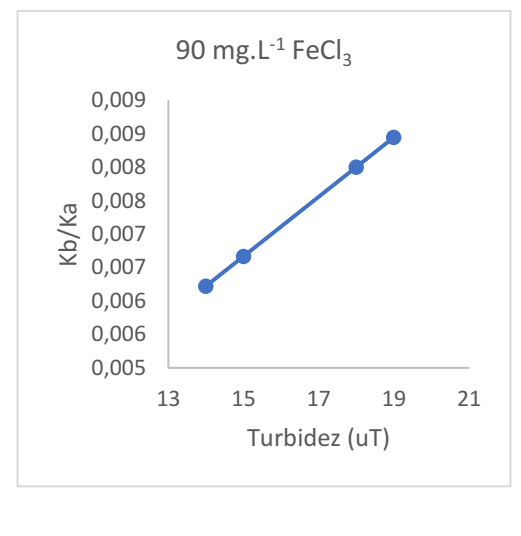
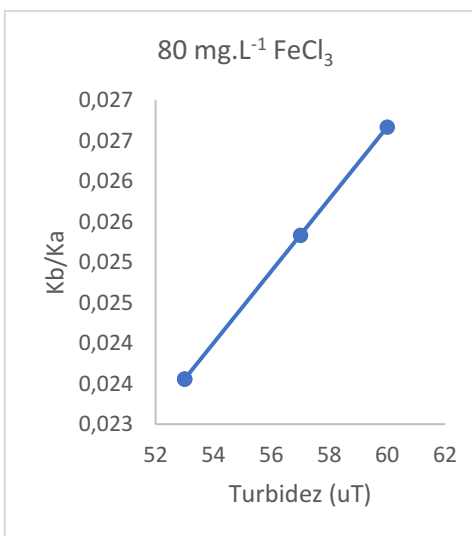
d) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [70 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



e) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [80 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]

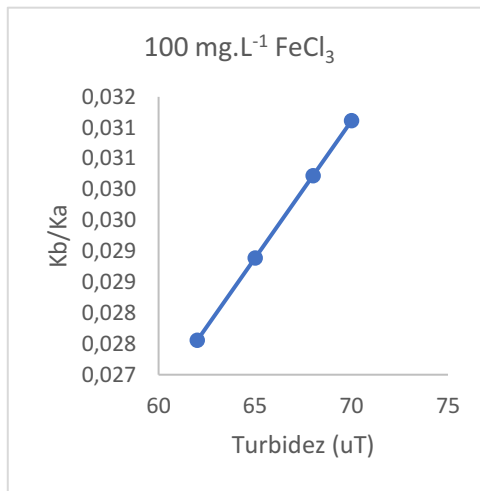


f) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [90 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]

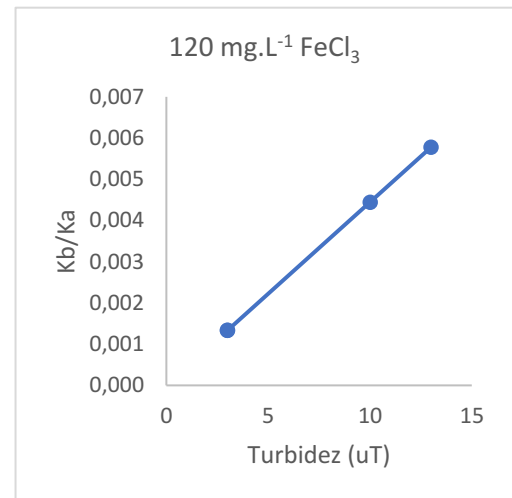




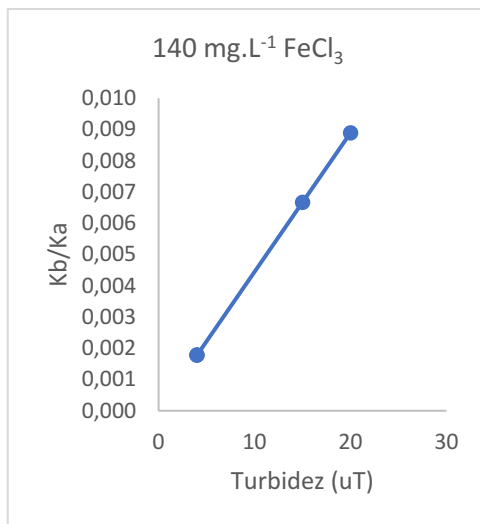
g) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [100 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



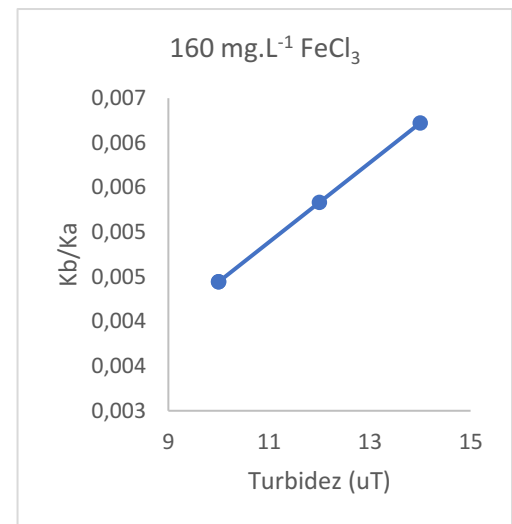
h) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [120 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



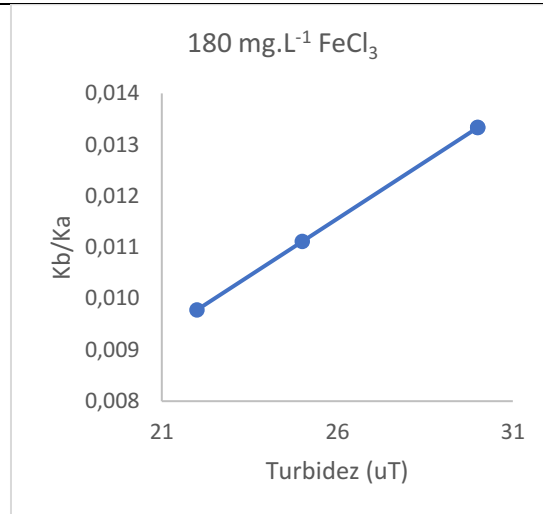
i) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [140 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



j) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [160 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]



k) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [180 mgL<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>]

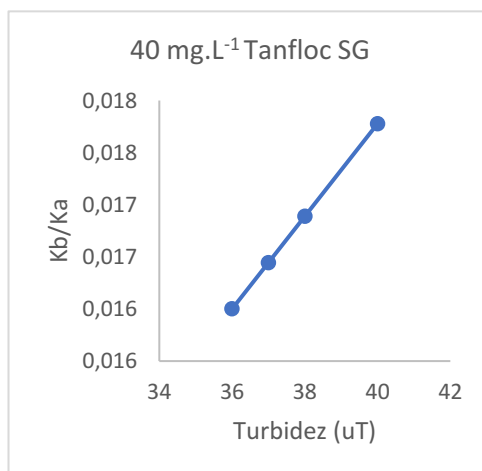


**Fonte:** Autoria própria.

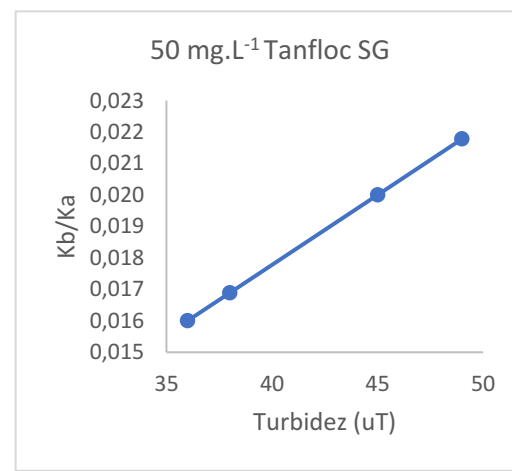
Como é possível observar na Figura 17 o menor valor de Kb/Ka foi de 0,001 utilizando concentração de 120 mgL<sup>-1</sup> do coagulante cloreto férrico, mostrado na Figura 17 – h), após 40 minutos de sedimentação. Esse resultado mostrou ser coerente com a remoção do parâmetro turbidez, ou seja, foi possível notar que quanto menor a razão Kb/Ka, mais eficiente será a remoção de turbidez da água.

**Figura 18** - Demonstração gráfica dos valores obtidos, para cada concentração de Tanfloc SG, pela razão Kb/Ka em relação a turbidez.

a) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [40 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

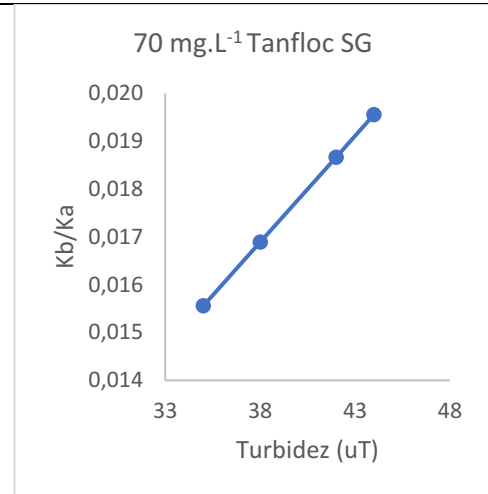
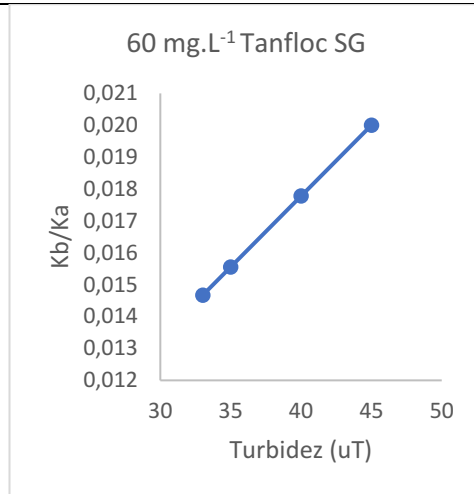


b) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [50 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

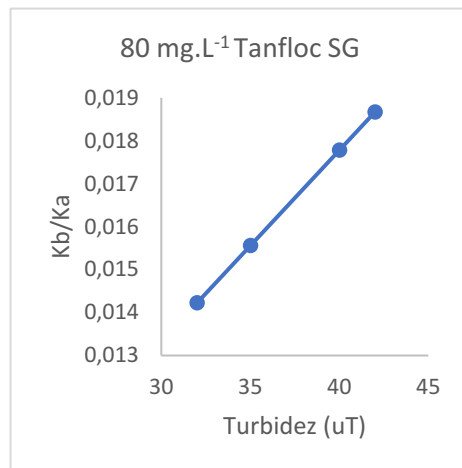


c) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [60 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

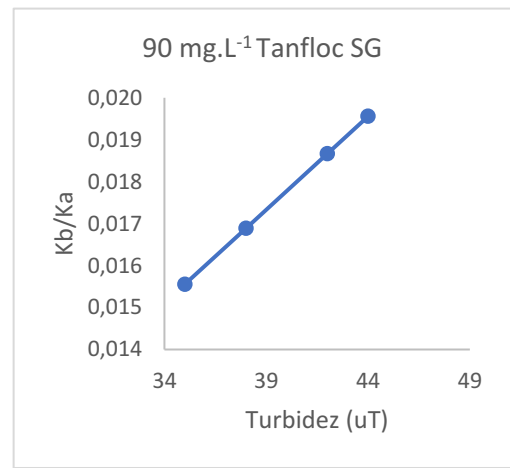
d) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [70 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]



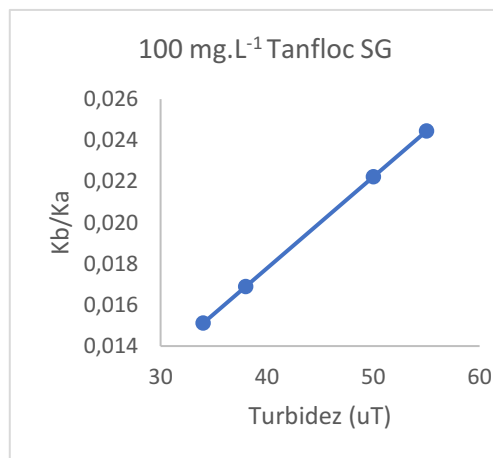
e) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [80 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]



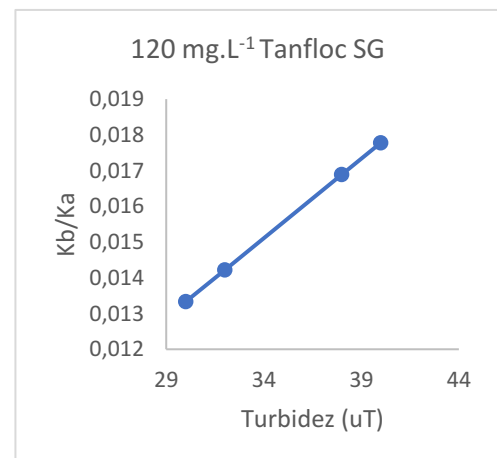
f) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [90 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]



g) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [100 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

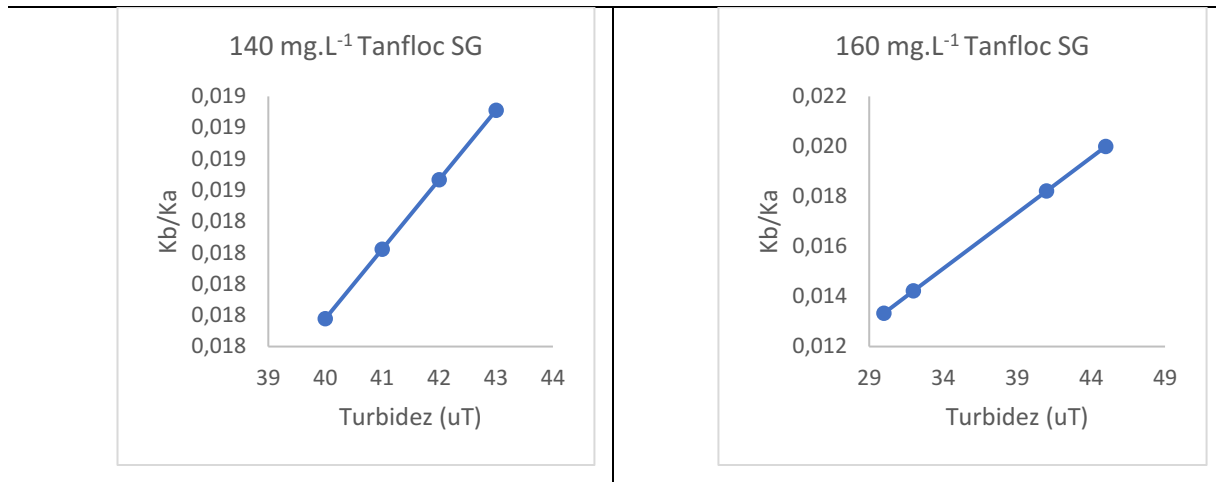


h) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [120 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

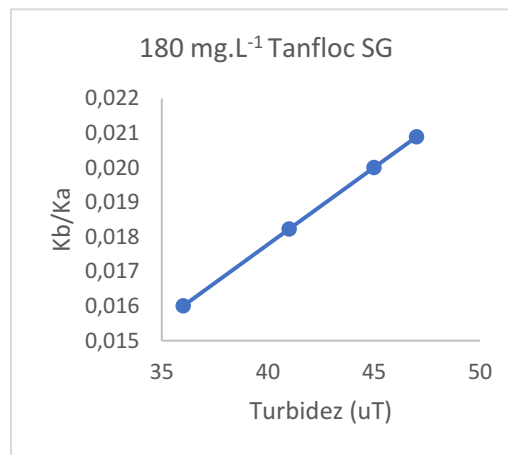


i) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [140 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

j) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [160 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]



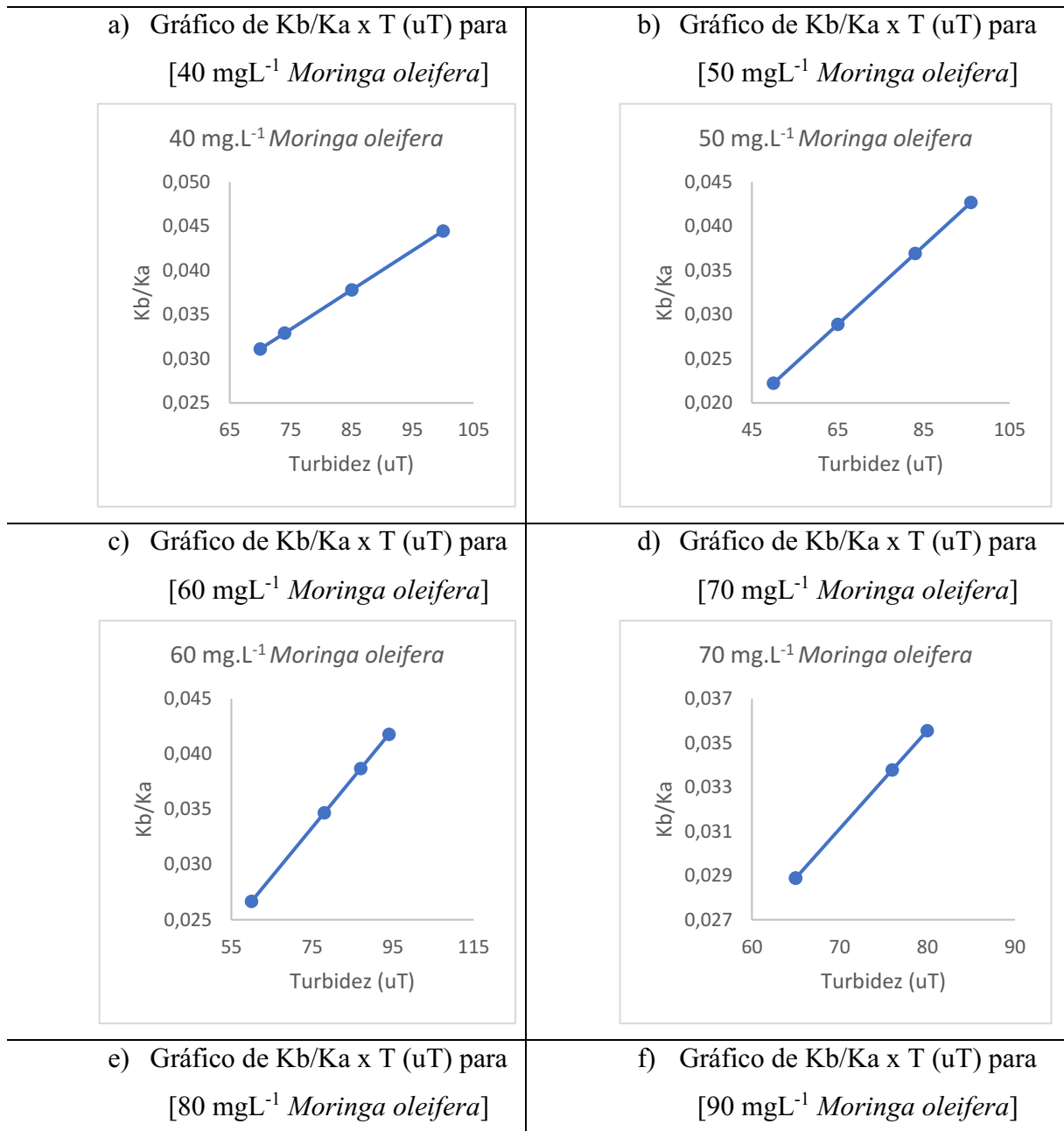
k) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [180 mgL<sup>-1</sup> Tanfloc SG]

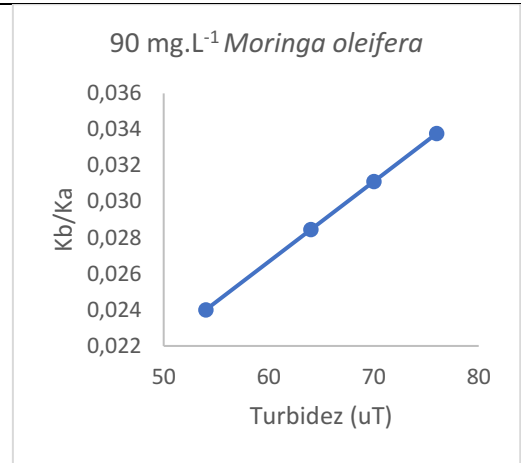
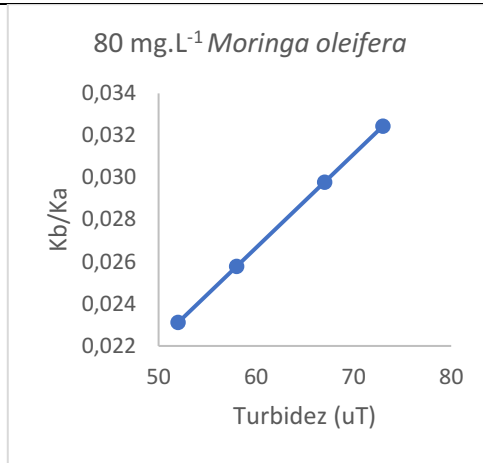


**Fonte:** Autoria própria.

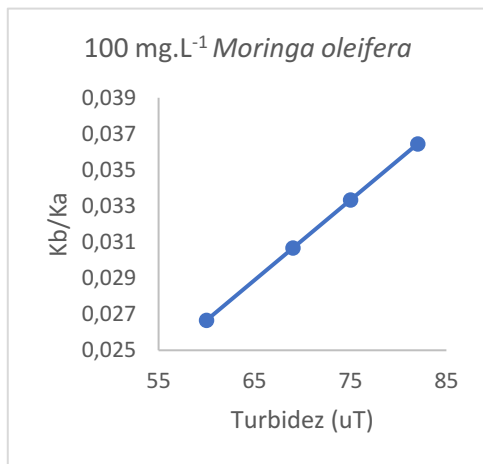
Para o coagulante Tanfloc SG o menor valor de Kb/Ka obtido foi utilizando concentrações de 120 mgL<sup>-1</sup> e 160 mgL<sup>-1</sup> resultando 0,013 após 60 minutos de sedimentação em ambas concentrações, como pode ser observado nas Figuras 18 – h) e 18 – j). Analisando a Figura 18 – i) é possível observar também que a relação Kb/Ka aumenta, possivelmente porque a ruptura dos flocos passou a prevalecer com essa concentração de coagulante, dificultando a formação desses flocos e consequentemente a remoção da turbidez.

**Figura 19** - Demonstração gráfica dos valores obtidos, para cada concentração de *Moringa oleifera*, pela razão Kb/Ka em relação a turbidez.

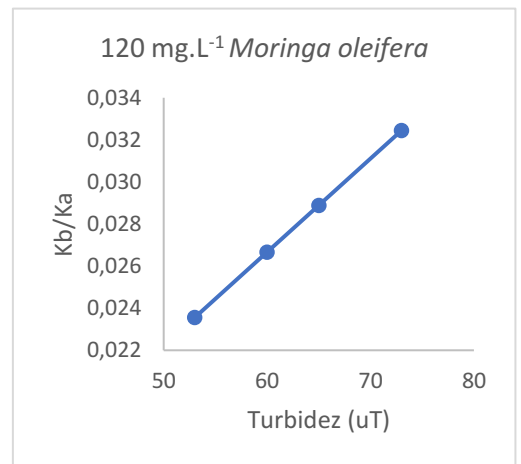




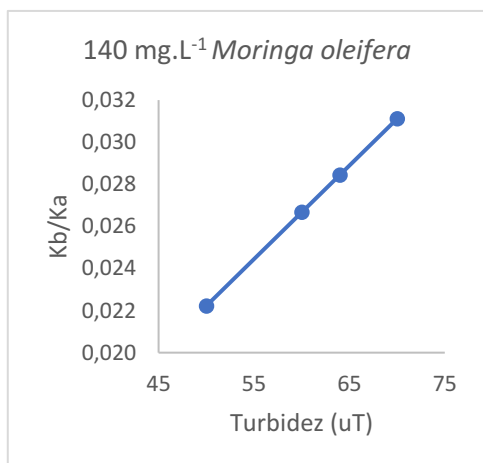
g) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [100 mgL<sup>-1</sup> *Moringa oleifera*]



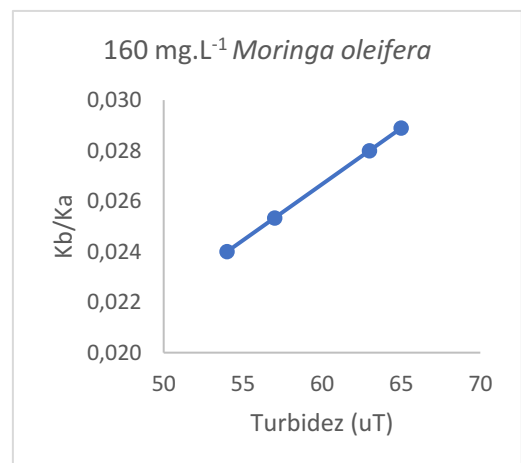
h) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [120 mgL<sup>-1</sup> *Moringa oleifera*]



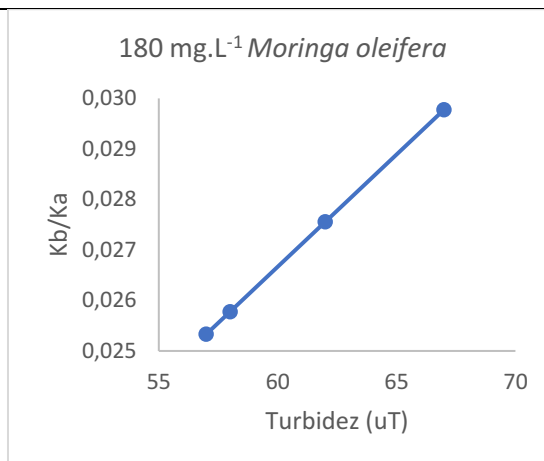
i) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [140 mgL<sup>-1</sup> *Moringa oleifera*]



j) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [160 mgL<sup>-1</sup> *Moringa oleifera*]



k) Gráfico de Kb/Ka x T (uT) para [180 mgL<sup>-1</sup> *Moringa oleifera*]



**Fonte:** Autoria própria.

Já para o coagulante *Moringa oleifera* o menor valor de Kb/Ka obtido foi de 0,022 utilizando dosagens de 50 mgL<sup>-1</sup> e 140 mgL<sup>-1</sup> após 60 minutos de sedimentação para as duas concentrações, como mostrado na Figura 19 – b) e Figura 19 – i.

Ao visualizar as informações nas Figuras 17, 18 e 19, percebe-se que a medida em que a relação Kb/Ka aumenta, a turbidez também aumenta, ou seja, a razão Kb/Ka é diretamente proporcional ao parâmetro turbidez. Em outras palavras, se o coeficiente de ruptura aumentar em relação ao coeficiente de agregação ou se o coeficiente de agregação diminuir em relação ao coeficiente de ruptura, a turbidez irá aumentar. Então, à medida em que a razão Kb/Ka aumenta, a ruptura começa a prevalecer no processo de floculação e à medida em que o Kb/Ka diminui, começa a predominar a agregação.

Theodoro, Theodoro e Bergamasco (2019) tiveram o mesmo resultado, tendo a relação Kb/Ka diretamente proporcional a turbidez, em um estudo feito sobre a determinação do coeficiente de agregação e do coeficiente de ruptura no processo de remoção de turbidez.

#### 5.4 Desempenho da floculação ( $N_0/N$ )

A eficiência da floculação é representada por  $N_0/N$ , que consiste na razão da turbidez inicial pela turbidez final em função do tempo, assim, quanto maior a relação  $N_0/N$  mais

eficiente foi o processo de floculação. Os resultados obtidos nos ensaios para cada concentração de coagulante e para cada tempo são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Desempenho da floculação ( $N_0/N$ ) utilizando os coagulantes cloreto férrico, Tanfloc SG e *Moringa oleifera*.

Concentração ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Tempo de sedimentação (min)											
	10			20			40			60		
	$N_0/N$											
	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>	FeCl <sub>3</sub>	Tanfloc SG	<i>Moringa oleifera</i>
40	1,95	3,75	1,50	2,00	3,95	1,76	2,05	4,05	2,03	2,08	4,17	2,14
50	3,85	3,06	1,56	3,95	3,33	1,81	4,05	3,95	2,31	4,17	4,17	3,00
60	3,75	3,33	1,60	3,95	3,75	1,72	3,95	4,29	1,92	3,95	4,55	2,50
70	2,83	3,41	1,88	3,00	3,57	1,97	3,13	3,95	2,31	3,19	4,29	2,31
80	2,50	3,57	2,05	2,63	3,75	2,24	2,83	4,29	2,59	2,83	4,69	2,88
90	7,89	3,41	1,97	8,33	3,57	2,14	10,00	3,95	2,34	10,71	4,29	2,78
100	2,14	2,73	1,83	2,21	3,00	2,00	2,31	3,95	2,17	2,42	4,41	2,50
120	11,54	3,75	2,05	15,00	3,95	2,31	50,00	4,69	2,50	50,00	5,00	2,83
140	7,50	3,49	2,14	10,00	3,57	2,34	37,50	3,66	2,50	37,50	3,75	3,00
160	10,71	3,33	2,31	12,50	3,66	2,38	15,00	4,69	2,63	15,00	5,00	2,78
180	5,00	3,19	2,24	5,00	3,33	2,42	6,00	3,66	2,59	6,82	4,17	2,63

**Fonte:** Autoria própria.

Ao analisar a Tabela 5, que mostra o desempenho da floculação ( $N_0/N$ ) para a remoção da turbidez usando o coagulante cloreto férrico, pôde-se observar que com o aumento do tempo de sedimentação, a eficiência de remoção de turbidez aumentou para a maioria dos ensaios. Em um estudo feito por Theodoro, Theodoro e Bergamasco (2019), mostra resultados semelhantes ao deste trabalho, onde a razão de remoção do parâmetro turbidez ( $N_0/N$ ) aumentou em função do tempo, utilizando cloreto férrico como coagulante.

Para este trabalho, o coagulante cloreto férrico se mostrou mais eficiente quando utilizada a concentração  $120 \text{ mgL}^{-1}$  do coagulante, resultando  $N_0/N = 50,00$  após 40 minutos de sedimentação e o mesmo valor após 60 minutos de sedimentação, sendo este mesmo valor para os dois tempos possivelmente em razão dos flocos já estarem estáveis e já não estar mais ocorrendo agregação e ruptura deles. O processo foi mais eficiente em um tempo maior em virtude do tamanho das partículas, pois de acordo com Di Bernardo, Botari e Sabogal-Paz



(2005), as partículas primárias são muito pequenas e as vezes precisam de um tempo de sedimentação maior para se depositarem no fundo do tanque.

A medida em que a concentração do coagulante cloreto férrico foi aumentando, o desempenho da floculação foi decaindo, provavelmente porque começou a ter cloreto férrico em excesso que já não participava mais da reação de floculação.

As concentrações que mostraram melhor resultado de  $N_0/N$  utilizando o coagulante orgânico Tanfloc SG foi na dosagem de  $120 \text{ mgL}^{-1}$  e  $160 \text{ mgL}^{-1}$ , após 60 minutos de sedimentação em ambos. O valor máximo obtido pela razão de remoção de turbidez em relação ao tempo ( $N_0/N$ ) foi 5,00, sendo muito abaixo do valor obtido com o coagulante cloreto férrico.

Utilizando o coagulante *Moringa oleifera*, os resultados não foram muito satisfatórios em comparação aos outros dois coagulantes, pois os valores máximos obtidos foram  $N_0/N = 3,00$ , utilizando concentração  $50 \text{ mgL}^{-1}$  do coagulante após 60 minutos de sedimentação e  $140 \text{ mgL}^{-1}$  de coagulante após 60 minutos de sedimentação. Analisando esses resultados, percebe-se que para os valores máximos obtidos, o tempo necessário de sedimentação foi a partir de 60 minutos.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostraram que para melhor eficiência na remoção dos parâmetros turbidez e cor aparente, utilizando os coagulantes orgânicos Tanflo SG e *Moringa oleifera* e o coagulante inorgânico cloreto férrico, é importante que o tempo de sedimentação seja de no mínimo 60 minutos de sedimentação, ou de 40 minutos de sedimentação no caso do coagulante cloreto férrico, para que aumente a deposição dos flocos formados no fundo dos tanques e que na concentração de  $120 \text{ mgL}^{-1}$  de coagulante os resultados foram satisfatórios para a maioria dos ensaios.

Dentre os coagulantes estudados, o que obteve melhores resultados foi o coagulante inorgânico cloreto férrico, demonstrando percentuais de remoção de cor aparente e turbidez bem acima dos coagulantes orgânicos, principalmente do coagulante extraído das sementes de *Moringa oleifera*.

Entre os coagulantes orgânicos Tanfloc SG e *Moringa oleifera*, o Tanfloc SG mostrou resultados mais satisfatórios na remoção de cor aparente e turbidez, enquanto a *Moringa oleifera* mostrou porcentagens mais inferiores para a remoção desses parâmetros.

Em relação à eficiência de floculação, levando-se em consideração os coeficientes de agregação e ruptura, observou-se que à medida em que o tempo de sedimentação aumenta, a relação  $K_b/K_a$  diminui, ou seja, a ruptura dos flocos começa a diminuir e a agregação passa a aumentar, fazendo com que esses flocos, já com seus tamanhos maiores e estáveis, começam a sedimentar no fundo do tanque, tornando a floculação mais eficiente, resultando em uma melhor remoção de cor aparente e turbidez.

## 7 REFERENCIAS

- AKHTAR, M. et al. Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, 14 Jul. 2006.
- ALUIZ, V. **Tratamento da água residuária da lavagem de veículos por coluna de sedimentação combinado com processo oxidativo avançado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2019, p. 86.
- ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de *Moringa oleifera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 661-666, Jun. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000600011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000600011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 9 mai. 2021.
- ARGMAN, Y., KAUFMAN, W.J. Turbulence and Flocculation. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, ASCE 96, SA 2, Apr, 1970.
- ASSUNÇÃO, T. M. **Comparação entre o método físico-químico de coagulação e floculação utilizando o coagulante de policloreto de alumínio (PAC) com o processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox em efluentes têxteis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018, p. 64.
- AZEVEDO, A. C. **Estudos de flotação por ar dissolvido com bomba multifásica (FAD-B) e sedimentação lamelar (SL) no tratamento de água bruta para abastecimento público (Canoas – RS)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013, p. 157.
- BARCELLOS, B. S. C. **Processo de agregação e ruptura: estudo experimental com carvão ativado e modelagem matemática por balanço populacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016, p. 64.
- BARTIKO, D.; DE JULIO, M. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 71-81, Mar. 2015.
- BASSETTI, F. J.; CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R. R. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (tanfloc) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. *Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change*, São Paulo: Universidade Paulista, 2009, p. 9.
- BERGAMASCO, R.; CARDOSO, K. C.; 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**, Maringá, v.30, n. 2, p. 193-198, 2008.

BERTONCINI, E. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Campinas, n. 2, p. 152-169, Jun. 2008.

BOTELHO, J. C. **Tratamento de água de corpo lântico com uso de coagulante orgânico e inorgânico – Lago Igapó II**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016, p. 59.

BRANDÃO, V. A. C. **A importância do tratamento adequado da água para eliminação de microorganismos**. Monografia (Licenciatura em Biologia), Universidade de Brasília, 2011, p. 36.

BRATBY, J.; MILLER, M. W.; MARAIS. Design of flocculation systems from batch test data. **Water AS**. v. 3, n. 4, p. 173-182, out. 1977.

CACHEIRA, C. S. et al. **Processo de coagulação-floculação**. 2012. 20 p. Dissertação (Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

CAMACHO, F. P. et al. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 226-237, Abr. 2017.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2008, p. 154.

DEZOTTI, M. **Processo de técnicas para o controle ambiental de efluentes**. v. 5, Rio de Janeiro: E-papers, 2008, p. 359.

DI BERNARDO, L.; BOTARI, A.; SABOGAL-PAZ, L. P.. Uso de modelação matemática para projeto de câmaras mecanizadas de floculação em série em estações de tratamento de água. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 82-90, Mar. 2005.

FRANCO, C. S. et al. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 781 – 788, Aug. 2017.

Fundação Nacional de Saúde. Manual de Controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs. 1ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2014.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba – SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GONÇALVES, I. L; FILHO, F. C. M. M.; OLIVEIRA, C. R. Análise comparativa dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no processo de clarificação de água residuária têxtil. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, RBEC, v. 1, n. 1, p. 71-78, Jul/Fev. 2021. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/rbengcivil/article/view/56279/31251>> Acesso em: 9 mai. 2021.

HELLER, L.; PADUA, V. L. D. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 2, 2006.

HESPANHOL, K. M. H.; FILHO, S. S. F. **Influência da concentração de partículas primárias nas constantes de agregação e ruptura**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA. 73., 2016, Foz do Iguaçu.

HETKA, I. C. C. et al. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação, ultrafiltração e processo oxidativo avançado. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 240-255, ago. 2016.

HIGASHI, V. Y. **Uso de coagulantes químico e orgânico no tratamento de águas provenientes de sistema lântico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

HIGASHI, V. Y. et al. Uso de coagulantes químico (cloreto ferrico) e orgânico (*Moringa oleifera*) no tratamento de águas provenientes de sistema lântico. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA. 73., 2016, Foz do Iguaçu.

Invento permite reúso de água residual do concreto. **Massa cinzenta**, 2015. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/reuso-de-agua-residual-do-concreto/>> Acesso em: 22 set. 2020.

JACOB, A. C. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do Cacto (opuntia cochenillifera) e da moringa oleifera no tratamento de água**. 2018. p. 85. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

JARVIS, P. et al. A review of floc strength and breakage. **Water Research**, Londres, v. 39, n. 14, p. 3121-3137, set. 2005.

JUNIOR, J. C. B. **Uso da semente da *Moringa oleifera* no tratamento de água em corpos lânticos**: Estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016, p. 78.

LEE, C. S.; ROBINSON, J.; CHONG, M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 92, n. 6, p. 489-508, nov. 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed, Campinas: Editora Átomo, 2010, p. 494.

MADRONA, G. et al. Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment. **Water air and soil pollution**, Springer Verlag, v. 211, n. 1, p. 409-415, Set. 2010. Disponível em: <10.1007/s11270-009-0309-0> Acesso em: 03 abr. 2021.

MANGRICH, A. S. et al. Green Chemistry in Water Treatment: Use of Coagulant Derived from *Acacia mearnsii* Tannin Extracts. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 2-15, Jul. 2013. Disponível em <10.5935/1984-6835.20140002> Acesso em: 02 abr. 2021.

MATEUS, G. A. P et al. Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with *Moringa oleifera* seed extract. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4084-4092, Ago. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.050>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Brasília, Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

NKURUNZIZA T., NDUWAYEZU J. B., BANADDA E. N., NHAPI I. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science & Technology**. IWA Publishing, v. 59, n. 8, p. 1551-1558, Abr. 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.2166/wst.2009.155>> Acesso em 03 abr. 2021.

OLIVEIRA, D. S. **Avaliação da eficiência de remoção de turbidez em função de variações no comprimento de flocladores tubulares helicoidais**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

OLIVEIRA, N. T. et al. Tratamento de água com *Moringa oleifera* como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes, v. 9, n. 1, p. 373-382, Jan./Jun. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>> Acesso em: 30 set. 2020.

ORUÊ, B. P. A Química no tratamento de água e efluente. **Energia química**, 2015. Disponível em: <<https://energiaquimica.wordpress.com/2015/10/13/a-quimica-no-tratamento-de-agua-e-efluente/>> Acesso em: 28 abr. 2021.

PIMENTA, J. A. A. et al. Avaliação do sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água bruta do rio Santo Anastácio. **Colloquium Exactarum**, v. 9, n. 3, p. 38-56, Jul/Set. 2017. Disponível em: < <http://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2225/2052>> Acesso em: 9 mai. 2021.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P.; JUNIOR, A. P. M. O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. *A Geografia Física aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 17.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade do Porto, 2010, p. 69.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto.** 1999. 85 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, N. M. M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In: SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 4., 2015, Aparecida de Goiânia. **Anais do IV Pesquisar.** Aparecida de Goiânia: Faculdade Alfredo Nasser. 2015.

SILVA, L. B. **Coagulante orgânico *Moringa oleifera* como alternativa ao uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água.** 2017. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

SILVA, I. R. G. **Avaliação quantitativa do tratamento da água utilizando os coagulantes tanino e cloreto férrico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SKORONSKI, E. et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Rev. Ambient. Água, Taubaté**, v. 9, n. 4, p. 679-687, Dec. 2014.

Tanfloc SG. **TANAC**, 2013. Disponível em: <[https://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT\\_TANFLOC\\_SG\\_PT\\_0.pdf](https://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SG_PT_0.pdf)> Acesso em: 22 set. 2020.

THEODORO, J. D. P.; THEODORO, P. S.; BERGAMASCO, R. Determination of the kinetic coefficient of aggregation and the kinetic coefficient of rupture in the turbidity removal process. In: VOLLAN, ELEONORA. **Flocculation – Processes and Applications.** Nova Iorque: Nova Science Pub, 2019. p. 295-302.

TRATA BRASIL. **Venha conhecer as etapas para o tratamento de água.** 2019. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/04/18/venha-conhecer-as-etapas-para-o-tratamento-de-agua/>> Acesso em: 1 abr. 2021.

TREVISAN, T. S. **Coagulante tanfloc sg como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na eta cafezal.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, p. 83. 2009.

VAZ, L. G. L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclet. Quím.**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VOLTAN, P. E. N. **Avaliação da ruptura e do recrescimento de flocos na eficiência de sedimentação em água com turbidez elevada.** Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007, p. 113.

ZOLETT, E. R.; JABUR, A. S. Uso de polímero natural a base de tanino (tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano, *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20., 2013, Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul. **Anais do 20º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-8.

ZOTESSO, J. P.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G. Comparação entre os coagulantes policloreto de alumínio (PAC) e Tanfloc SG no tratamento de efluente de lavanderia hospitalar. In: Encontro Nacional de Produção Científica, 11., 2019, Maringá. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3345/1/JAQUELINE%20PIR%  
c3%83O%20ZOTESSO.pdf](http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3345/1/JAQUELINE%20PIR%c3%83O%20ZOTESSO.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2021.