

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GUSTAVO DE SOUZA SILVA**

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS E QUÍMICOS PARA TRATAMENTO  
DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CURTIMENTO DE COURO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2014**

GUSTAVO DE SOUZA SILVA

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS E QUÍMICOS PARA TRATAMENTO  
DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CURTIMENTO DE COURO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira.

Co-orientadora: Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro.

**LONDRINA  
2014**



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



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Aplicação de Coagulantes Naturais e Químicos para Tratamento do Efluente de Indústria de Curtimento de Couro

por

Gustavo de Souza Silva

Monografia apresentada no dia 02 de dezembro de 2014 ao Curso Superior 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, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

Prof. Dr. Ajadir Fazolo  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
(UTFPR)  
Orientadora

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.*

## AGRADECIMENTOS

Certamente não conseguirei me lembrar nos próximos parágrafos de todos que fizeram parte e me ajudaram a vencer esse grande desafio, porém nunca me esqueceria do responsável por hoje eu estar escrevendo essas palavras, por me dar força, coragem, sabedoria e cuidar de mim em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis quando pensei que não era capaz, o meu maior agradecimento vai a Jesus, meu criador e melhor amigo, Aquele que não me desampara em nenhum momento, e a quem devo minha vida e tudo o que sou.

Agradeço imensamente a toda minha família, meus avós Geraldo e Aparecida, minha irmã Carolina, meus tios Geraldo, Inês e Leila, meu pai José Carlos e em especial minha mãe Sandra, que é um exemplo para mim, e em toda sua vida fez e continua fazendo de tudo para me ver bem e feliz, me educou da melhor forma, sempre deixou de pensar em si mesma para primeiro pensar nas minhas necessidades e durante a realização deste trabalho e de toda minha vida acadêmica me deu todo suporte e incentivo para que não desistisse, tenho certeza que sou extremamente abençoado por fazer parte dessa família.

Agradeço a minha orientadora Dra. Edilaine Regina Pereira, pelo conhecimento, dedicação, paciência em todos os momentos que passamos juntos, pela sua imensa humildade de sempre me receber bem em sua sala e me tratar não só como um orientado, mas como um amigo.

Agradeço também ao professor Joelson Borssoi pelo essencial e ótimo auxílio, por todas as vezes que me recebeu em sua sala me ajudando e ensinando a realizar a análise estatística do trabalho.

Gostaria de deixar registrado o meu reconhecimento aos professores da banca examinadora pela contribuição e atenção dedicadas a esse estudo.

Agradeço a Empresa responsável pela doação do material que foi estudado, pois sem o material não conseguiria fazer o trabalho.

Gostaria de agradecer também a todos meus amigos, em especial ao meu grande amigo e parceiro Ivan Taiatele Junior e toda sua família, por todos os dias que me recebeu em sua casa ao longo dos anos da faculdade. Agradeço ao Ivan por sua amizade e por ter sido fundamental para a realização deste trabalho, como sempre muito humilde e disposto a ajudar em qualquer momento.

Por fim, peço minhas desculpas àquelas pessoas que não foram citadas nesse texto, mas podem ter certeza possuem minha eterna gratidão.

## RESUMO

SILVA, Gustavo de S. Aplicação de coagulantes naturais e químicos para tratamento do efluente de indústria de curtimento de couro. 2014. 71 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

As indústrias de curtimento de couro utilizam no seu processo grande quantidade de substâncias tóxicas e água, gerando conseqüentemente efluentes que possuem uma alta carga poluidora, com elevada demanda química de oxigênio, cor, presença de sais dissolvidos e de muitos metais. Devido à grande quantidade de efluente gerado pelos curtumes e a dificuldade no seu tratamento, vários trabalhos tem sido propostos para minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado deste efluente. O presente trabalho investigou a atuação dos coagulantes naturais *Moringa oleífera* e Tanfloc em comparação com os coagulantes químicos Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico geralmente utilizados na indústria no tratamento do efluente bruto do curtume, através dos processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação. Através de ensaios jar test foram aplicados diferentes concentrações de coagulantes (naturais e químicos) ao efluente em questão e foi avaliado a eficiência dos coagulantes na remoção de determinados parâmetros, como o pH, cor, condutividade elétrica, DQO, sólidos totais, fixos e voláteis. Os resultados mostraram que para os parâmetros pH e condutividade elétrica, não houve uma variação significativa após a aplicação dos coagulantes em relação ao efluente bruto, visto que os valores de pH continuaram muito alcalinos e a condutividade elétrica com uma alta concentração de sais. Ao comparar os coagulantes para o parâmetro cor foi observado que o coagulante natural Tanfloc teve uma maior eficiência em relação aos químicos, alcançando 56,9% de remoção, entretanto, o Sulfato de Alumínio foi mais eficiente na remoção de DQO com 95% de remoção e também na remoção de sólidos fixos e voláteis com uma eficiência maior que 70%. Desta forma, nota-se que o coagulante químico Sulfato de Alumínio obteve um êxito na maior parte dos parâmetros analisados em comparação aos demais coagulantes.

Palavras-chave: Curtume, Tratamento físico-químico, Coagulante natural, Coagulante Químico.

## ABSTRACT

SILVA, Gustavo S. Application of natural and chemical coagulants for treatment of effluent from leather tanning industry. 2014. 71 f. Conclusion of Course Work (Environmental Engineering Undergraduate), Federal University of Technology - Paraná. Londrina, 2014.

The leather tanning industry utilises large amount of toxic substances and water, thus generating effluents that have high pollution load, with high chemical oxygen demand, colour, presence of dissolved salts and many metals. Due to the large amount of effluent generated by tanneries and the difficulty in their treatment, several studies have been proposed to minimize the environmental impacts caused by inappropriate disposal of this effluent. This study investigated the performance of natural coagulants *Moringa oleifera* and Tanfloc compared to chemical coagulants aluminium sulphate and ferric chloride commonly used in the treatment of raw wastewater from tannery, by means of the physicochemical processes of coagulation, flocculation and sedimentation. Utilising jar tests, different concentrations for the coagulants (chemical and natural) were applied to the concerned effluent and it was assessed their efficiency in removing certain parameters such as pH, colour, electrical conductivity, COD, and total, fixed and volatile solids. The results showed that for pH and electrical conductivity parameters, there was no significant variation after application of coagulant in relation to the raw effluent, since pH values remained very alkaline and electrical conductivity with high salts concentration. By comparing the coagulants for colour parameter it was observed that the natural coagulant Tanfloc had greater efficiency compared to the chemical ones, reaching 56.9% of removal, however, the aluminium sulphate was more efficient at removing COD, with 95% of removal, and also at removing fixed and volatile solids, with efficiency higher than 70%. Therefore, it is noticed that the chemical coagulant aluminium sulphate was more successful for the majority of the analysed parameters in comparison to other coagulants.

**Keywords:** Tannery. Physicochemical treatment. Natural coagulant. Chemical Coagulant.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Árvores de <i>Moringa oleífera</i> 6 meses após o plantio .....	21
Figura 2: Flores da árvore de moringa (a) e sementes da árvore de moringa (b). .....	22
Figura 3: Acácia negra .....	24
Figura 4: Estrutura química do Tanfloc. ....	25
Figura 5: Laboratório de Saneamento do Campus Londrina – UTFPR.....	32
Figura 6: Equipamento utilizado para os testes de coagulação e floculação (Jar-test). 34	
Figura 7: Variação do pH em função do tempo dos coagulantes <i>Moringa oleífera</i> (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d). ....	39
Figura 8: Porcentagens da remoção do parâmetro cor em função do tempo para os coagulantes <i>Moringa oleífera</i> (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d). ....	41
Figura 9: Visível sedimentação dos sólidos utilizando o Sulfato de Alumínio .....	43
Figura 10: Variação da condutividade elétrica em função do tempo dos coagulantes <i>Moringa oleífera</i> (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico .....	44
Figura 11: Porcentagem de remoção do parâmetro Demanda Química de Oxigênio para os coagulantes <i>Moringa oleífera</i> (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c), e Cloreto Férrico (d). ....	46
Figura 12: Série de sólidos para os coagulantes <i>Moringa oleífera</i> , Tanfloc, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, em valores absolutos (a) e em porcentagem de redução (b). ....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros inorgânicos.....	28
Tabela 2 – Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros orgânicos. ....	29
Tabela 3 – Condições de lançamento de efluentes. ....	29
Tabela 4 – Condições de lançamento de efluentes para indústrias de curtume. ....	30
Tabela 5 – Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância.....	37
Tabela 6 - Resultados da Análise de Variância para o pH no primeiro tempo de sedimentação.....	52
Tabela 7 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para o pH .....	53
Tabela 8 - Resultados da Análise de Variância para o pH no segundo tempo de sedimentação.....	53
Tabela 9 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH. ....	54
Tabela 10 - Resultados da Análise de Variância para o pH no primeiro tempo de sedimentação.....	55
Tabela 11 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para a Cor .....	56
Tabela 12 - Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica no terceiro tempo de sedimentação .....	57
Tabela 13 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para a Condutividade Elétrica .....	57
Tabela 14 - Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica no primeiro tempo de sedimentação .....	58
Tabela 15 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Condutividade elétrica.....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Indústria de Curtume no Brasil</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Processos de tratamento</b> .....	<b>15</b>
3.2.1	Coagulação .....	15
3.2.2	Floculação .....	17
3.2.3	Sedimentação .....	18
<b>3.3</b>	<b>Uso de Coagulantes</b> .....	<b>19</b>
3.3.1	Coagulantes Naturais .....	20
3.3.1.1	<i>Moringa oleifera</i> .....	21
3.3.1.2	<i>Tanfloc</i> .....	23
3.3.2	Coagulantes Químicos .....	25
3.3.2.1	<i>Cloreto Férrico</i> .....	26
3.3.2.2	<i>Sulfato de Alumínio</i> .....	27
<b>3.4</b>	<b>Legislação Ambiental</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Local de coleta</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Local do ensaio</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Coleta do efluente</b> .....	<b>32</b>
<b>4.4</b>	<b>Pré-ensaio</b> .....	<b>32</b>
<b>4.5</b>	<b>Preparação dos coagulantes</b> .....	<b>33</b>
<b>4.6</b>	<b>Ensaio de laboratório</b> .....	<b>34</b>
<b>4.7</b>	<b>Parâmetros analisados</b> .....	<b>35</b>
<b>4.8</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise do parâmetro pH</b> .....	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise do parâmetro cor</b> .....	<b>41</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise do parâmetro Condutividade elétrica</b> .....	<b>44</b>
<b>5.4</b>	<b>Análise do parâmetro Demanda Química de Oxigênio</b> .....	<b>46</b>
<b>5.5</b>	<b>Análise do parâmetro Série de sólidos</b> .....	<b>49</b>
<b>5.6</b>	<b>Análise Estatística</b> .....	<b>51</b>

5.6.1	Análise de variância para o parâmetro pH.....	52
5.6.2	Análise de variância para o parâmetro Cor Aparente .....	55
5.6.3	Análise de variância para o parâmetro Condutividade elétrica.....	56
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, a origem da maior parte dos impactos ambientais gerados está no setor industrial. O setor industrial consome grande parte dos recursos naturais e também gera muitos tipos de resíduos que normalmente são lançados no meio ambiente, mais especificamente nos ecossistemas aquáticos, com ou até mesmo sem o adequado tratamento.

Um dos processos produtivos que geram um considerável volume de efluentes líquidos é a indústria de curtimento de couro. Essas indústrias possuem um grande potencial poluidor, pois todo o processo produtivo de curtimento do couro consome uma grande quantidade de água, sendo que o consumo total médio atual do setor brasileiro está estimado em 25-30 m<sup>3</sup> de água / tonelada de pele salgada, cerca de 630 litros água / pele salgada, em média (PACHECO, 2005).

Em consequência disso, é gerado também uma quantidade de efluentes líquidos similar ao total de água captada, e resíduos sólidos, além da utilização de algumas substâncias, como por exemplo, o sulfeto de sódio, cal hidratada, ácidos inorgânicos, alumínio, titânio e cromo, sendo este último o principal agente poluidor nos curtumes, empregado como agente curtente em cerca de 90% das indústrias do setor (BAYER, 2005).

Diante da problemática do tratamento e descarte inadequado de efluentes, que podem deixar a qualidade da água dos rios comprometida já que este é o local de destino dos efluentes tratados das indústrias, é necessário um tratamento eficiente nas estações da indústria. Uma alternativa atualmente muito estudada é a substituição dos coagulantes químicos utilizados no tratamento dos efluentes pelos coagulantes naturais, como forma de minimizar os impactos gerados e modificar a composição do lodo apresentado, fazendo com que haja propostas mais sustentáveis e eficientes.

Diversos autores afirmam que os coagulantes naturais *Moringa oleífera* e o Tanfloc tem como uma das suas principais vantagens apresentar uma redução de contaminantes presentes no efluente tratado, pois não adiciona metais ao processo, além de um ótimo desempenho na clarificação de efluentes.

Diante disso, o objetivo dessa pesquisa é fazer uma aplicação comparativa da eficiência dos coagulantes naturais e dos químicos já utilizados na indústria para o tratamento do efluente de curtume.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta pesquisa é a aplicação comparativa de coagulantes naturais (*Moringa oleífera* e Tanfloc) e de coagulantes químicos (Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio) nos processos de coagulação, floculação e sedimentação para o tratamento do efluente da indústria de curtume.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Análise dos parâmetros da qualidade do efluente (cor; pH; série de sólidos; demanda química de oxigênio; condutividade elétrica);
- Análise da eficiência de remoção dos parâmetros da qualidade do efluente com a aplicação dos coagulantes naturais e químicos;
- Análise estatística dos dados, utilizando o programa R;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Indústria de Curtume no Brasil

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2002) a indústria de couro no Brasil, é composta por aproximadamente 450 curtumes, sendo que a maior parte deles estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste, totalizando aproximadamente 72 % da produção total do Brasil. Os estados mais produtores são o Rio Grande do Sul, com 23,5%, São Paulo, com 23%, Paraná, com 12%, e Minas Gerais, com 10% do volume produzido.

De acordo com Pacheco (2005) o Brasil passou a ser importante exportador de couros na década de 1990. Em 2004, a produção total do país foi de cerca de 36,5 milhões de couros, sendo que aproximadamente 26,3 milhões de couros foram exportados, representando 72,1% da produção. As exportações brasileiras são destinadas a três setores, sendo a maior quantidade de 65% para indústrias de estofamento, seguido pela indústria calçadista com 25%, e os outros 10% destinados a artefatos de couro (YUAN, 2009).

A indústria de curtimento de couro consome muitos insumos em grande quantidade, como por exemplo a água, onde é utilizado aproximadamente 630 litros de água por pele salgada, a energia que é muito consumida também e depende de alguns fatores como a quantidade e capacidade de produção, tipo de tratamento de efluentes e o estado dos equipamentos, mas em geral é consumido 2.600 à 11.700 KWh por toneladas de pele salgada, além dos produtos químicos utilizados no processo, como o sal comum, soda cáustica, ácidos, cromo, solventes, corantes, óleos e resinas (PACHECO, 2005).

Com o grande consumo de insumos, conseqüentemente os curtumes são responsáveis por grande parte da geração de resíduos que afetam o meio ambiente, formados no processo de curtimento, que são os gases e emissões com mau cheiro,

lodos da estação de tratamento de efluentes líquidos, aparas, serragens e efluentes gerados nos banhos (BNDES, 2002).

## **3.2 Processos de tratamento**

### **3.2.1 Coagulação**

A coagulação consiste principalmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas concretizada pela junção de ações físicas e reações químicas, com um tempo de duração de poucos segundos, entre o coagulante, a água e as impurezas que se encontram no efluente. Dessa forma, a eficiência da coagulação tem influência no desempenho dos posteriores processos de tratamento, na qualidade microbiológica do efluente, na duração das carreiras de filtros e na redução do custo do metro cúbico da água tratada (LIBÂNIO, 2010, p. 154).

A coagulação é resultante do processo físico e do processo químico, sendo que o processo químico consiste da reação do coagulante com a água e da formação das espécies hidrolisadas e ionizadas; já o processo físico consiste no transporte das espécies hidrolisadas para fazer a interação com outras espécies, como por exemplo, as bactérias e impurezas presentes no meio. Este processo depende do pH, temperatura e a quantidade de impurezas do meio sob intensa agitação (KIMURA, I. Y. 2001, p. 123).

A coagulação em sistemas de tratamento de efluentes geralmente tem como objetivo a remoção de partículas coloidais (SANTOS, 2006, p. 14). A circunstância é que devido ao reduzido tamanho das partículas presentes na água bruta, levariam um longo tempo para sedimentar, e por causa disso então se faz necessário a adição de coagulantes (PAVANELLI, 2001).

Existem alguns fatores que influenciam a coagulação, sendo que os principais são a espécie e a quantidade de coagulante, o tempo de mistura e o pH do



efluente. Para qualquer efluente, há uma zona de pH considerada, onde em um tempo mais curto com uma determinada quantidade de coagulante ocorrerá uma boa floculação, ou então com uma mínima quantidade de coagulante em um determinado tempo. Sendo assim, a coagulação deve ser realizada dentro dessa zona ótima, sempre que possível (FRANCO, 2009).

Há alguns mecanismos que ocorrem no processo de coagulação, sendo que os principais são:

- Compressão da camada difusa: A compressão da camada difusa faz com que ocorra a desestabilização das partículas coloidais pela adição de íons de carga contrária (THEODORO, 2012). Ao se adicionar íons de carga contrária às partículas, a grande concentração de cargas positivas causam excesso de íons na camada difusa e fazem com que se reduza o volume da esfera para manter-se eletricamente neutra (PAVANELLI, 2001).
- Adsorção e neutralização da carga: Para Di Bernardo e Dantas (2005), o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas deve ser utilizado quando, exista a filtração direta após a coagulação, fazendo com que as partículas desestabilizadas fiquem retidas no interior do meio filtrante. Após a dispersão do coagulante, ocorrem interações entre o coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente que desestabilizam uma dispersão coloidal.
- Varredura: Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) o mecanismo de varredura é muito utilizado em estações de tratamento que possuem floculação e sedimentação antes da filtração rápida. Os flocos resultantes desse processo são maiores do que aqueles que são formados quando se utiliza o mecanismo de adsorção e neutralização.
- Adsorção e formação de pontes: Nesse processo há a adição de polímeros orgânicos, diminuindo as dosagens de coagulantes. A coagulação ocorre por meio da formação de pontes químicas quando as partículas coloidais se adsorvem na superfície da cadeia polimérica (LIBÂNIO, 2010).

Para Heller e Pádua (2006, p. 528) as impurezas que causam turbidez à água são definidas como matéria particulada, já as que são responsáveis pela coloração são definidas como substâncias dissolvidas e o sabor e odor estão associados às partículas coloidais. É importante saber que para melhorar a coagulação, não se deve simplesmente aumentar a dosagem de coagulante, é essencial determinar o pH de coagulação apropriado, para que não ocorra desperdícios de coagulantes.

Posteriormente a adição de coagulantes na água bruta, com a finalidade de ocorrer colisões entre as impurezas e estas serem agregadas, formando assim os flocos na unidade de floculação, faz-se uma agitação relativamente lenta, acelerando a quantidade de colisões das partículas coloidais (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

### 3.2.2 Floculação

Segundo Libânio (2010, p. 209) a floculação é constituída por um conjunto de eventos físicos, onde se busca reduzir o número de partículas suspensas e coloidais que se encontram na massa líquida e através de choques entre as partículas desestabilizadas pela coagulação, se objetiva formar flocos que posteriormente serão removidos. Para a formação de bons flocos, é necessário uma adequada dosagem de coagulante, que sofre influência do pH e outros fatores (NUNES, 2012).

Para Heller e Pádua (2006) as impurezas presentes na água se aglomeram devido as reações químicas que se iniciam na unidade de mistura rápida, formando assim, flocos na unidade de floculação.

A floculação pode ser mecânica ou hidráulica, sendo que a primeira faz o uso de agitadores eletromecânicos e a segunda, a energia de agitação é obtida com o uso de chicanas, onde o líquido efetua movimento e o fluxo pode ser horizontal e vertical (NUNES, 2012, p. 130).

Sempre que o tratamento de águas residuárias envolver o processo de coagulação, o processo de floculação também vai acontecer mesmo com a ausência de uma unidade específica para tal objetivo. O tempo de floculação, por sua vez, seria o

tempo necessário para diminuir o número das partículas que foram desestabilizadas através das colisões que ocorrerão na etapa de mistura lenta (LIBÂNIO, 2010, p. 210).

A ocorrência do transporte das partículas desestabilizadas para a formação dos flocos se dá por meio de três fenômenos: floculação pericinetica (movimento browniano), floculação ortocinética e sedimentação diferencial. (LIBÂNIO, 2010).

A floculação pericinetica é responsável por proporcionar às partículas um tumultuoso movimento, entretanto essa interação só resulta efeito em partículas de menor tamanho, pois as partículas maiores não desenvolvem movimento próprio por meio de sua energia. Já a floculação ortocinética é resultado dos choques provocados pelo gradiente de velocidade do meio, sendo assim mais efetiva. E por último a sedimentação diferenciada ocorre devido às diferentes velocidades de decantação dos flocos formados, de forma que o choque causado pela diferença, ocasiona o aumento do tamanho dos flocos e conseqüentemente no aumento da decantabilidade (FRANCO, 2009, p. 28).

### 3.2.3 Sedimentação

A última etapa de clarificação da água, depois das etapas de coagulação e da floculação, é uma das técnicas mais antigas e simples, que é a sedimentação (também conhecida como decantação) (HELLER E PÁDUA, 2006). A sedimentação consiste em separar os sólidos sedimentáveis que estão presentes no meio aquoso através da gravidade, sendo que os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde são retirados como lodo, enquanto o efluente clarificado decanta pelo vertedouro (NUNES, 2012).

A ocorrência da sedimentação propicia a separação da fase líquida e da fase sólida, onde as partículas suspensas demonstram movimento descendente em meio líquido de menor massa específica. A velocidade de sedimentação depende das dimensões e formas das partículas e de sua massa específica (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A sedimentação das impurezas contidas na água pressupõe a utilização de um processo de coagulação e de floculação, pois a sedimentação simples somente não seria eficiente na remoção das impurezas contidas nas águas que estão em estado coloidal e posteriormente as partículas que não forem removidas na decantação serão removidas por filtração (PIANTÁ, 2008, p. 21).

Segundo Nunes (2012, p. 138), dentre os decantadores, existem os mecanizados que removem o lodo mecanicamente através de raspadores de fundo, e os não mecanizados, que através de cargas hidrostáticas removem o lodo hidraulicamente.

Segundo Piantá (2008, p. 21) em um processo de sedimentação de partículas que sofreram floculação, espera-se que ocorra uma eficiência de remoção de turbidez de cerca de 80 à 90% e de 80% para coliformes.

A diminuição na eficiência na unidade de decantação ocorre quando anteriormente há um mau funcionamento nas unidades de coagulação e floculação, por causa de problemas operacionais ou também quando a concentração de partículas presente é baixa, dessa forma, acaba dificultando a coagulação devido a menor quantidade de colisões entre as partículas e os produtos da hidrólise do coagulante (HELLER E PÁDUA, 2006, p. 534).

### **3.3 Uso de Coagulantes**

Para o emprego de um determinado coagulante no tratamento de água, ele deve principalmente possuir capacidade de produzir precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação no meio aquoso e também ser capaz de desestabilizar ou envolver as partículas suspensas e coloidais presentes nas águas naturais (LIBÂNIO, 2010, p. 162).

Com o desenvolvimento da sociedade, foi descoberto pelo homem que com a adição de determinados produtos químicos à água, eles se ionizavam e deixavam a água mais límpida. A melhora na qualidade da água é devido à formação e precipitação de coágulos, que surgiam da reação desses produtos com a matéria dispersa na água (BORBA 2001).

Devido a necessidade de remoção das partículas e materiais em geral presentes na água, os coagulantes estão sendo muito utilizados, tanto o químico à base de sais de ferro ou alumínio, como os naturais que são uma alternativa para os países em desenvolvimento (ARANTES; RIBEIRO; PATERNIANI, 2012). Segundo Borba (2001) o uso dos coagulantes também se deve ao auxílio que eles propiciam no tratamento de coagulação/floculação, aumentando a força de resistência dos flocos contra a propagação da água, tornando mais rápida a aglomeração dos flocos.

### 3.3.1 Coagulantes Naturais

Segundo Borba (2001) os coagulantes naturais são constituídos principalmente a base de polissacarídeos, proteínas e amidos, podendo ser classificados como coagulante catiônico ou aniônico, devido a sua composição de grandes cadeias carbônicas, com cargas elétricas positivas ou negativas.

O uso dos coagulantes naturais apresenta vantagem sobre os sais inorgânicos metálicos, pois eles não demandam um rígido controle sobre o resíduo metálico que é deixado na água tratada para uso humano, além de não apresentar riscos à saúde do organismo humano (BONGIOVANI et al. 2010, p. 167).

Com o grande crescimento nos estudos sobre o uso de coagulantes naturais, muitos países asiáticos, africanos e sul-americanos estão fazendo o uso de várias plantas como coagulantes naturais (CARDOSO et al. 2008, p. 194).

Os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (Moraes<sup>1</sup>, 2004 apud CARDOSO et al. 2008).

---

<sup>1</sup> MORAES, L.C.K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2004.

### 3.3.1.1 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* é uma espécie vegetal da família Moringaceae, da ordem *Papaverales*, de gênero único, com quatorze espécies, nativa das trilhas Agra e Oudh, em Uttar Pradesh, no sub-Himalaia, noroeste da Índia (Figura 1) (VERSIANI, 2008, p. 12).



**Figura 1: Árvores de *Moringa oleifera* 6 meses após o plantio**  
**Fonte: Versiani (2008).**

Segundo Versiani (2008) é um arbusto ou árvore decídua de pequeno porte, de crescimento rápido, que pode alcançar até 12 metros de altura e possui tronco único de 10 à 30 cm com uma cortiça branca avermelhada, ligado a uma copa do tipo guarda-chuva. Sua folhagem, dependendo do clima, é perene, com folhetos de 1 a 2 cm em diâmetro, folhas brancas ou de coloração creme e quando maduras, as sementes secas são redondas ou triangulares e o núcleo é rodeado por um tegumento. As sementes ficam contidas no interior das vagens em três conchas fechadas que se abrem quando maduras (Figuras 2a e 2b).

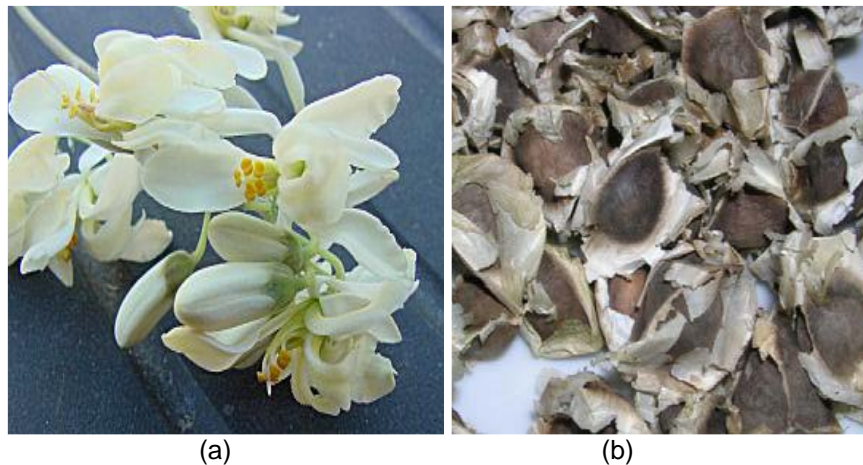


Figura 2: Flores da árvore de moringa (a) e sementes da árvore de moringa (b).

Fonte: Versiani (2008).

A *Moringa oleífera* possui muitas utilidades, como por exemplo, seus frutos verdes, folhas, flores e sementes torradas são altamente nutritivos e consumidos, o óleo que é retirado das sementes pode ser usado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos e como combustível para lamparinas, a pasta obtida da extração do óleo das sementes pode ser usada como um condicionador do solo, fertilizante ou também na alimentação animal (RANGEL, 2010).

Em correlação ao tratamento por coagulação-floculação de águas residuais ou de abastecimento, um estudo demonstrou que porcentagens de remoção de turbidez utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da *Moringa oleífera* foi de 80 a 99% (OKUDA *et al*, 1999).

Além da vantagem de ser eficiente no tratamento da água com alta turbidez, a moringa não oferece riscos à saúde humana como o sulfato de alumínio, e também não altera o pH e a alcalinidade da água consideravelmente após o tratamento, e não gera uma possível corrosão nas tubulações das estações de tratamento (ALMEIDA, 2010, p. 19).

Um estudo feito por Guedes *et al.* (2010, p. 7) apontou que o extrato aquoso das sementes da *Moringa oleífera* é uma possibilidade eficiente e ambientalmente segura como coagulantes de suspensões naturais ricas em óxido de ferro. A redução de turbidez observada foi superior a 98% com uma ação rápida, onde 1,6 gramas de semente de

moringa em um litro de água possuem a capacidade de em um intervalo de tempo de 30 minutos reduzir a turbidez de valores superiores de 20.000 NTU para 60 NTU.

A atividade da *Moringa oleifera* como coagulante deve-se ao fato de as proteínas catiônicas, da qual sua semente é constituída, serem solúveis em água e em contato com as partículas de carga negativa atuarem, principalmente, pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas (RIBEIRO, 2010, p. 21).

As sementes da *Moringa oleifera* contendo essa proteína, possuem capacidade de promover a coagulação e floculação de substâncias que causam cor e turbidez de águas turvas, salientando também que além disso, ocorre uma grande remoção de bactérias, deixando a água com uma melhor qualidade (CONCEIÇÃO, 2012).

#### 3.3.1.2 Tanfloc

Os taninos são compostos polihidroxidofenólico encontrados em árvores de grande e pequeno porte constituídos por polifenóis simples, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais (SILVA, 1999). São extraídos da *Acacia mearnsii de Wildemann* ou acácia negra (Figura 3), que é uma planta de origem australiana cultivada no Brasil somente no Rio Grande do Sul, sendo que sua extração é feita em grandes autoclaves com água (MANGRICH et al. 2013).





**Figura 3: Acácia negra**  
**Fonte: Silva (1999).**

O Tanfloc, ou quaternário de amônio, tem uma ótima eficiência como floculante natural na clarificação da água. É um polímero orgânico-catiônico, de baixa massa molecular, não tóxico, de origem vegetal e solúvel em água fria. Com a utilização do Tanfloc, o floco gerado não possui uma forma regular, assim, apresenta uma maior área de contato, uma superfície maior que outros coagulantes, como por exemplo, o sulfato de alumínio e é possível uma clarificação da água mais eficiente (VANACÔR, 2005).

O conteúdo de taninos pode variar de acordo com as condições climáticas e geográficas e quando não estão na forma oxidada os taninos reagem com proteínas através de pontes de hidrogênio ou ligações hidrofóbicas (BATTESTIN et. al. 2004, p. 71).

De acordo com Silva (1999) a vantagem de se fazer o uso dos taninos vegetais se dá pela propriedade de adsorção dos metais dissolvidos na água, agregando os mesmos por precipitação no meio aquoso e posteriormente sendo removidos, além da redução ou até eliminação da toxicidade presente na água proveniente de fontes que contém bactérias clorofiladas ou cianofíceas.

Segundo Mangrich et al. (2013, p. 13) estudos recentes mostram que coagulantes derivados dos taninos possuem grande eficiência na remoção de fármacos, na remoção de metais pesados no tratamento de águas superficiais e em caso de

efluentes com o pH elevado, aumentando sua capacidade como coagulante, ao contrário do que ocorre com os sais de alumínio, além dos estudos em planta piloto apontarem redução de cor em até 50%, remoção de surfactantes em até 75% e remoção da matéria orgânica representada pela diminuição de DQO (40%) e DBO<sub>5</sub> (60%).

Na Figura 4 há uma representação da estrutura química do Tanfloc.

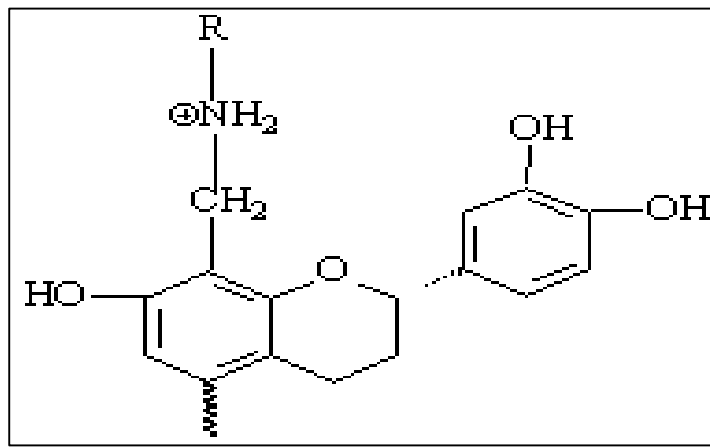


Figura 4: Estrutura química do Tanfloc.  
Fonte: da SILVA et al. (2011).

### 3.3.2 Coagulantes Químicos

Para o clareamento e limpeza da água através da retirada de partículas em suspensão, ocorre a adição de produtos químicos, sendo que esses produtos são denominados de coagulantes químicos.

Os coagulantes mais convencionais são coagulantes químicos, como por exemplo, o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico e hidroxocloreto de alumínio. Devido à grande eletropositividade desses elementos químicos que os compõem, geralmente formam compostos gelatinosos de cargas positivas, no momento em que são dissolvidos na água. O processo de coagulação vai depender diretamente da quantidade de impureza que a água possui, conhecida através dos parâmetros de pH, alcalinidade,

cor aparente turbidez, condutividade, força iônica, sólidos totais dissolvidos e outros (BORBA, 2001).

### 3.3.2.1 Cloreto Férrico

O processo de coagulação com o cloreto férrico é bastante eficiente na remoção de sólidos em suspensão e fósforo. Normalmente sua dosagem é determinada juntamente com a dosagem de cal ou hidróxido de sódio, que ajudam na produção dos flocos em decorrência do aumento do pH da água (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Quando o cloreto férrico é adicionado à água ocorre o processo de hidrólise, formando os complexos de ferro com cargas positivas. A aglomeração das partículas presentes na água tratada que resultam na floculação é ocasionada por causa da neutralização das partículas de sólidos da água com cargas negativas pelos complexos de ferro compostos de carga positiva (FRANCO, 2009).

A escolha por utilizar o cloreto férrico como coagulante, é uma escolha que deve ser destacada, pois a presença do ferro em lodo residuário não gera aspectos negativos, como por exemplo, ocorre com a presença de alumínio no lodo, já que o alumínio é muito prejudicial ao solo (CAMPOS et al. 1996). Além de da diminuição severa na turbidez da água e a DBO, eliminar o fosfato e uma boa parte de metais pesados, como mercúrio e chumbo, ou venenosos, como arsênio, selênio e bário, quando a coagulação é realizada em valores altos de pH (PAVANELLI, 2001, p. 34).

Segundo Franco (2009) o cloreto férrico é extensamente utilizado no tratamento de esgotos domésticos e industriais, porém quando é manipulado se deve ter cuidados especiais, devido as suas propriedades corrosivas, como o uso de equipamentos de segurança. Para Libânio (2010), algumas das vantagens do cloreto férrico em relação ao sulfato de alumínio, são que os flocos se apresentam mais densos, mais resistentes ao cisalhamento e com maior sedimentabilidade, porém deve-se levar em conta os cuidados relativos à possibilidade de corrosão das tubulações.

### 3.3.2.2 *Sulfato de Alumínio*

De acordo com Kimura (2001), no tratamento de água para o consumo humano e águas residuárias, o coagulante químico mais utilizado é o sulfato de alumínio, devido ao seu desempenho no tratamento de água potável e residuária de diferentes características e também por não possuir um alto custo.

O sulfato de alumínio possui sua eficiência, em valores de pH, entre 5,5 e 8,5, já abaixo de um pH de 5,5 e acima de 8,5 o sulfato de alumínio se torna um agente coagulante ineficiente, pois os íons de alumínio tornam-se solúveis em água e assim acabam não precipitando (ROSALINO, 2011, p. 21). Para Di Bernardo e Dantas (2005), os resultados de pH obtidos para uma melhor eficiência na remoção de turbidez estão na faixa entre 7,5 e 8,5.

O alumínio tem uma ótima eficiência em relação aos parâmetros de DQO, DBO, turbidez e redução de cor, apresentando uma diminuição destas concentrações de 43%. Porém em relação à saúde humana, o sulfato de alumínio aplicado no processo de coagulação é tóxico dependendo de sua dosagem, podendo ocasionar doenças de demência e coordenação motora como o Alzheimer, mal de Parkinson e Síndrome de Down, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que são levados ao cérebro (PIANTÁ, 2008, p. 25).

## 3.4 **Legislação Ambiental**

Na legislação brasileira, a resolução que determina os padrões de qualidade dos efluentes para que se possa haver o despejo nos corpos hídricos é a resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento dos efluentes, complementando e alterando a resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005) a qual, além disso, também

dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

De acordo com o Artigo 1º da Resolução número 430 (CONAMA, 2011), de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser lançados no corpo receptor desde que obedeam as condições da resolução. Desse modo, para cumprir as legislações vigentes os efluentes devem se enquadrar nos padrões, através dos tratamentos necessários, sendo que muitas indústrias e fontes poluidoras geram efluentes com um nível de contaminação muito alto. A Tabela 1 representa os padrões de lançamento de efluentes de acordo com a legislação em questão.

**Tabela 1 – Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros inorgânicos.**

<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (não se aplica a lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn

**Fonte: CONAMA 430 (2011).**

**Tabela 2 – Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros orgânicos.**

<b>Parâmetros orgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

**Fonte: CONAMA 430 (2011).**

A Resolução CONAMA 430 também estabelece as condições de lançamento de efluentes, mostradas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Condições de lançamento de efluentes.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores máximos</b>
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1mL/L
Vazão	Até 1,5 vez a vazão média
Óleos minerais	20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausência
DBO	Remoção mínima de 60%

**Fonte: CONAMA 430 (2011).**

Além da resolução CONAMA 430, no Estado do Paraná existe a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente nº 70/ 2009 (CEMA, 2009) que dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para empreendimentos industriais. As condições de lançamento para indústrias de curtume, por exemplo, podem ser vistos na Tabela 4.

**Tabela 4 – Condições de lançamento de efluentes para indústrias de curtume.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores máximos</b>
DBO	100 mg/L
DQO	350 mg/L
Óleos e graxas	Óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/l Óleos minerais: até 20mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Sulfetos	1,0 mg/L S
Toxicidade aguda	FTd para <i>Daphnia magna</i> : 8 FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8
Toxicidade crônica	Ftd para <i>Scenedesmus subspicatus</i> : 8

**Fonte: CEMA 70 (2009).**

Esta resolução estabelece critérios, procedimentos, trâmite administrativo e premissas para o licenciamento ambiental dos empreendimentos industriais, sendo que o órgão de controle ambiental, no caso do Paraná o IAP (Instituto Ambiental do Paraná), expedirá os atos administrativos, como a declaração de dispensa de licenciamento ambiental estadual (DLAE), licença ambiental simplificada (LAS), licença prévia (LP), licença de instalação (LI), licença de operação (LO) e autorização ambiental.

Como o estudo do presente trabalho é de uma indústria de curtimento de couro, que gera uma grande quantidade de efluente, a empresa deve atender os padrões ambientais para possuir o licenciamento ambiental e licença de operação, emitidos pelo IAP.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Local de coleta**

O efluente utilizado nesta pesquisa foi proveniente de uma indústria de curtimento de couro, indústria esta localizada na cidade de Ibiporã – PR. O efluente foi coletado no sistema de tratamento da indústria ainda bruto, antes da aplicação do coagulante utilizado pela indústria.

### **4.2 Local do ensaio**

Depois de coletado, o efluente foi encaminhado para ensaio e análise experimental no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina (Figura 5), laboratório este localizado sob as coordenadas geográficas de latitude  $23^{\circ}18'2854''\text{S}$  e longitude  $51^{\circ}06'5066''$ .





**Figura 5: Laboratório de Saneamento do Campus Londrina – UTFPR.**  
Fonte: Autoria Própria (2014).

### **4.3 Coleta do efluente**

O efluente foi coletado e acondicionado em reservatórios de 50 litros, para em seguida serem transportados ao local de ensaio.

### **4.4 Pré-ensaio**

Um pré-ensaio foi realizado primeiramente, com o objetivo de definir as concentrações mais adequadas dos coagulantes químicos e naturais utilizados.

O pré ensaio foi realizado utilizando-se um volume pré estabelecido do efluente e a inclusão de várias concentrações dos coagulantes para definição do momento exato da coagulação/floculação a fim de se definir os limites de concentração a serem analisadas. Assim, as concentrações que obtiveram melhor eficiência notando-

se certo grau de floculação, foram utilizadas posteriormente sendo estas apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1: Concentrações mais eficientes de cada coagulante.**

Coagulantes	Concentração 1	Concentração 2	Concentração 3
Moringa	2200 mg/L	2500 mg/L	2800 mg/L
Tanfloc	300 mg/L	600 mg/L	900 mg/L
Sulfato de Alumínio	1500 mg/L	2000 mg/L	2500 mg/L
Cloreto Férrico	1500 mg/L	2100 mg/L	2800 mg/L

#### 4.5 Preparação dos coagulantes

Para a preparação da solução do coagulante Moringa, foi primeiramente pesado 30 g de semente da *Moringa oleífera* e levada para a estufa à 105 °C por 24 horas. Após esse tempo as sementes foram retiradas e pesou-se 25 g das mesmas sem umidade. Também foi pesado 27 g de NaCl e adicionado a 500 mL de água destilada. Por último, foram colocados os 25 g das sementes da *Moringa oleífera* juntamente com a solução de água destilada com NaCl e misturado com o uso de um liquidificador. E após a mistura no liquidificador a solução foi retirada e coada.

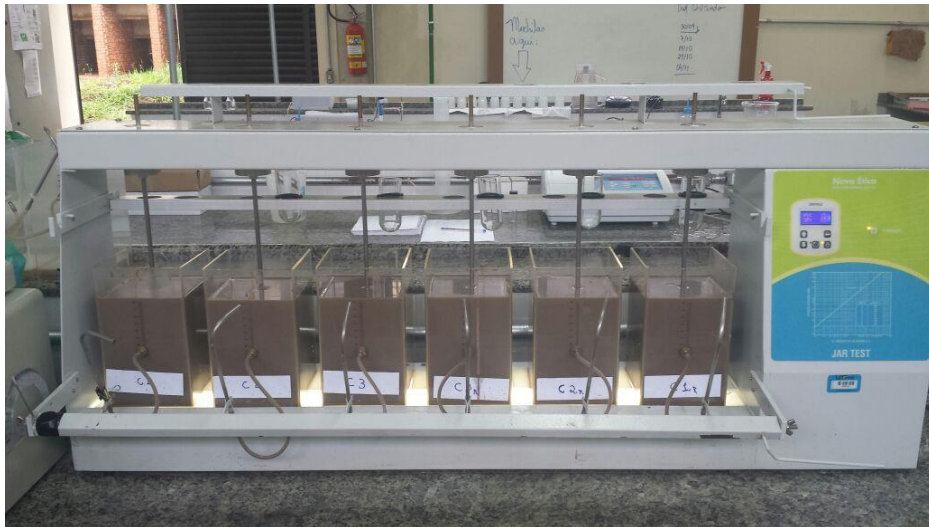
Para a preparação do coagulante natural Tanfloc, foi pesado 100 g de Tanfloc e diluiu-se em um balão volumétrico de 1 L.

Para a preparação da solução dos coagulantes químicos cloreto férrico e sulfato de alumínio, foram pesados 100 g de cada coagulante e diluído em 1 L de água destilada com o uso de um liquidificador.

#### 4.6 Ensaio de laboratório

Após serem definidas as concentrações de cada coagulante no pré-ensaio, estas concentrações foram adicionados ao efluente em ensaio de coagulação/floculação/sedimentação utilizando o equipamento Jar-test.

O Jar-test utilizado (Figura 6) é um equipamento da marca Nova Ética que possui 6 recipientes graduados com capacidade de 2 litros cada, onde a velocidade da agitação das pás no interior de cada recipiente contendo o efluente é controlado por um painel digital.



**Figura 6: Equipamento utilizado para os testes de coagulação e floculação (Jar-test).**

**Fonte: Autoria Própria (2014).**

A metodologia para o ensaio no Jar Test, foi adaptada de Theodoro (2012), utilizando uma velocidade fixada em 100 rpm para propiciar a fase de coagulação (mistura rápida) e tempo de mistura rápido igual a 1 minuto. Para a fase de floculação (mistura lenta), a velocidade foi de 10 rpm e tempo de mistura lenta de 10 minutos, seguindo de um tempo de sedimentação de 40 minutos, para serem feitas análises dos parâmetros estabelecidos (THEODORO, 2012).

#### 4.7 Parâmetros analisados

Através das amostras coletadas, foram feitas as seguintes análises demonstradas no Quadro 2.

**Quadro 2: Parâmetros analisados.**

Parâmetro	Equipamentos	Metodologia*
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
pH	Peagâmetro mPA-210	4500-H+ B
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 A
Série de sólidos	Estufa SL 100, Mufla MA 385, Balança AW 220	2540 A
Demanda Química de Oxigênio	Biodigestor Thermo Digestor 462, Espectrofotômetro HACH 4000	5220 A

Fonte: \*APHA (2012).

#### 4.8 Análise estatística

O modelo estatístico utilizado para realizar a análise dos valores resultantes dos quatro ensaios, foi o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3. O modelo estatístico considerou o efeito da interação entre os fatores Coagulante e Concentração além do efeito do fator Coagulante (em quatro níveis) e do fator Concentração (em três níveis).

Dessa forma, o modelo estatístico multiplicativo é fornecido pela equação 1:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que:

- $Y_{ijk}$  = observação correspondente à  $k$ -ésima unidade experimental

submetida ao  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante e  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;

- $\mu$  : média global comum a todas as observações;
- $\alpha_i$  : efeito do  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante;
- $\beta_j$  : efeito do  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;
- $\alpha\beta_{ij}$ : é o efeito de interação entre o  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante e o  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;
- $e_{ijk}$  : componente do erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ .

O modelo está sujeito às restrições mostradas nas equações (2) a (5):

$$\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^3 \beta_j = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^4 \alpha\beta_{ij} = 0 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^3 \alpha\beta_{ij} = 0 \quad (5)$$

Sobre as equações (2) a (5), considerou-se que:

- $i = 1, 2, 3, 4$  (número de níveis de  $\alpha$ : coagulante);
- $j = 1, 2, 3$  (número de níveis de  $\beta$ : concentração do coagulante);
- $k = 1, 2$  (número de repetições);

Para a realização da análise de variância e comparação das médias das três variáveis, considerou-se um nível de significância de 10%. Os resultados da análise de variância foram agrupados na Tabela 5 conforme proposto por Martins (2006) e é apresentada a seguir.

**Tabela 5 – Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante					
Concentração					
Coagulante x Concentração					
Resíduo					
Total					

**Fonte:** Martins (2006).

**Notas:**

- 1) GL = Grau de Liberdade
- 2) SQ = Soma dos Quadrados
- 3) QM = Quadrados Médios
- 4) F<sub>c</sub> = F Calculado

Em relação a Tabela 5, primeiramente deve-se analisar se a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa. Esta análise pode ser feita por meio do Valor-P. Se o Valor-P for menor que 0,1 (10% de significância), significa que a interação entre os dois fatores é significativa.

Já as comparações de médias são realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa, que são chamados de desdobramentos. A comparações de médias foram realizadas segundo o teste de Tukey, que compara a diferença entre duas médias (contraste) com a diferença mínima significativa ( $\Delta$ ), apresentada na equação 6, a seguir. Duas médias são consideradas diferentes quando o contraste é maior ou igual a  $\Delta$ .

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} \quad (6)$$

em que:

- q : é a amplitude total estudentizada (tabelado);
- QM<sub>res</sub>: é o quadrado médio do resíduo;
- r: representa o número de repetições;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

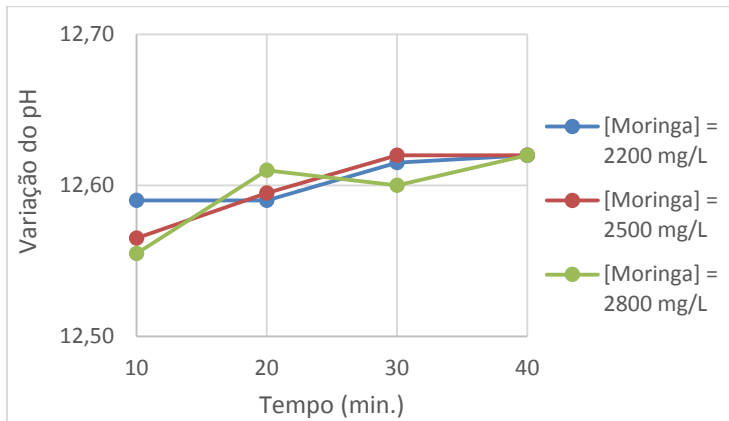
A partir do desenvolvimento da metodologia foi possível obter as concentrações ideais para cada coagulante, as caracterizações do efluente de curtume, além dos resultados significativos em relação ao tratamento do efluente.

Os dados foram organizados de acordo com: análise do parâmetro pH (5.1), análise do parâmetro cor (5.2), análise do parâmetro condutividade elétrica (5.3), análise do parâmetro demanda química de oxigênio (5.4), análise do parâmetro série de sólidos (5.5), e análise estatística (5.6).

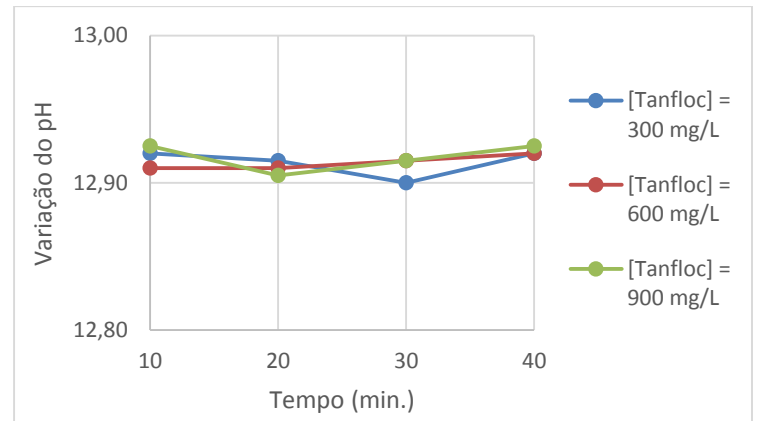
### 5.1 Análise do parâmetro pH

Antes do contato da solução coagulante, o efluente de curtume bruto apresentava pH igual a 12,97.

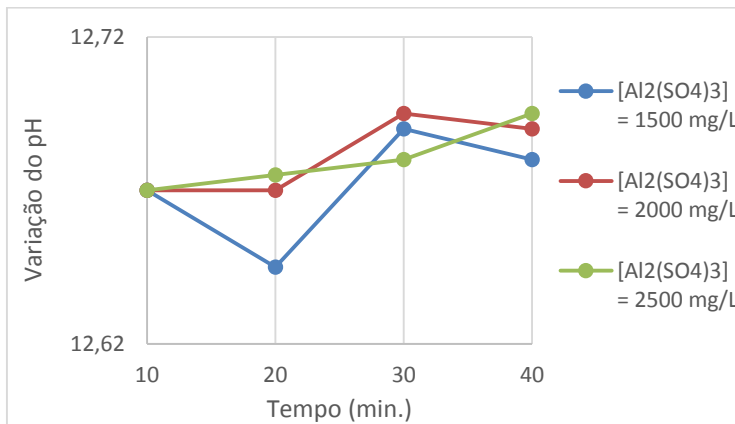
A Figura 7 mostra os valores com a variação do pH no decorrer dos tempos de sedimentação para a *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d).



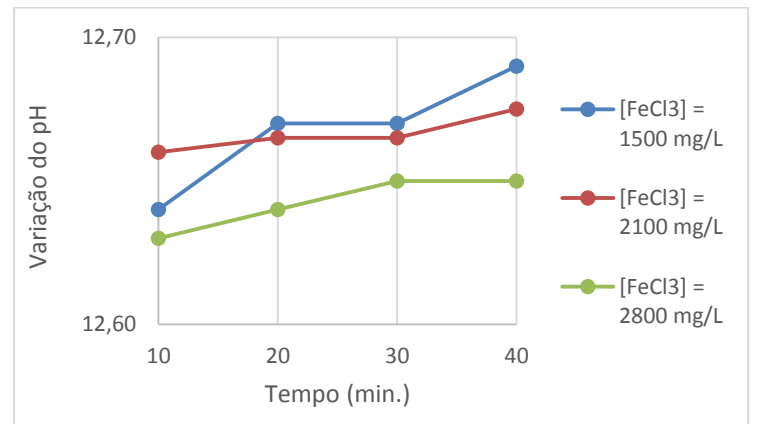
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 7: Variação do pH em função do tempo dos coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d).**

Ao visualizar as informações na Figura 7a, observou-se que para o coagulante *Moringa oleífera* houve uma maior variação no primeiro tempo de sedimentação de 10 minutos, visto que a dosagem de 2800 mg/L atingiu a maior redução do pH com o valor de 12,55 dentre as concentrações. Após o primeiro tempo de sedimentação houve um aumento nos valores do pH, onde as três concentrações no tempo final tiveram valores semelhantes a 12,62.

Assim como no estudo feito por Rico et al. (2010) em efluente de curtume os valores de pH praticamente não sofreram variações significativas com a adição da solução da *Moringa oleífera*, entretanto, foi possível observar que a adição da solução



provocou uma leve diminuição dos valores de pH, em comparação ao pH do efluente bruto.

Para o tratamento feito com o coagulante Tanfloc (Figura 7b), nota-se que não houve uma variação muito significativa em relação ao pH inicial, sendo que a maior variação ocorreu no tempo de 30 minutos, quando a menor concentração de 300 mg/L atingiu o valor de 12,90. As três concentrações obtiveram valores semelhantes e um pouco abaixo do inicial, variando de 12,9 a 12,92.

Já em relação ao ensaio feito com o Sulfato de Alumínio, pode-se notar na Figura 7c que a maior variação ocorreu no tempo de sedimentação de 20 minutos com a concentração de 1500 mg/L, quando o menor valor de pH de 12,64 foi observado. É possível dizer também que não houve uma grande diminuição do pH com a aplicação do Sulfato de Alumínio, desta forma, o pH deve ser ajustado para que posteriormente esteja adequado e seja descartado.

Ao analisar o coagulante Cloreto Férrico (Figura 7d), foi observado que houve a maior redução no valor do pH com a maior concentração de 2800 mg/L do coagulante, chegando a 12,53, sendo que isto ocorreu no primeiro tempo de sedimentação. Após isso, pode-se observar que houve um aumento nos valores de pH para todas as concentrações.

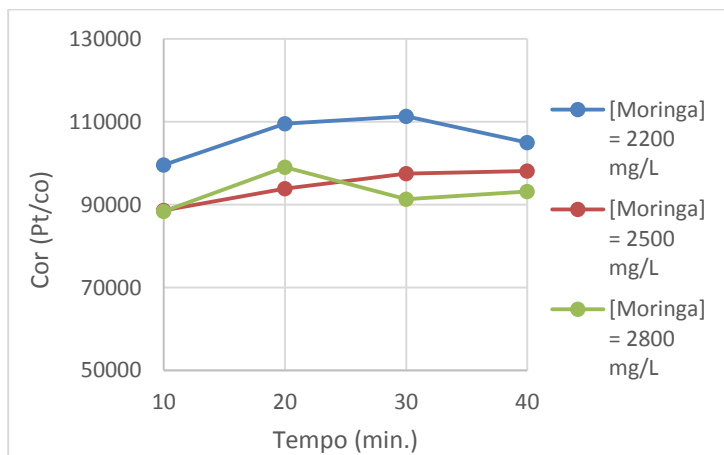
Ao comparar os dados obtidos para os quatro coagulantes com a Resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011), observa-se que mesmo após o tratamento feito no efluente, ele não se enquadra dentro das normas de padrão de lançamento em relação ao pH, pois a Resolução exige que o valor do pH se mantenha entre 5 e 9 para ser lançado em um corpo receptor. Neste caso, pH do efluente de curtume deveria ser corrigido para que seu valor se torne menos alcalino e se enquadre dentro dos parâmetros de lançamento exigidos pela lei para o parâmetro pH.

Não houve uma variação significativa dos valores de pH para o efluente de curtume tanto com os coagulantes naturais como os químicos e neste caso deveria ser feita uma correção do pH e somente depois lançar o efluente no corpo receptor.

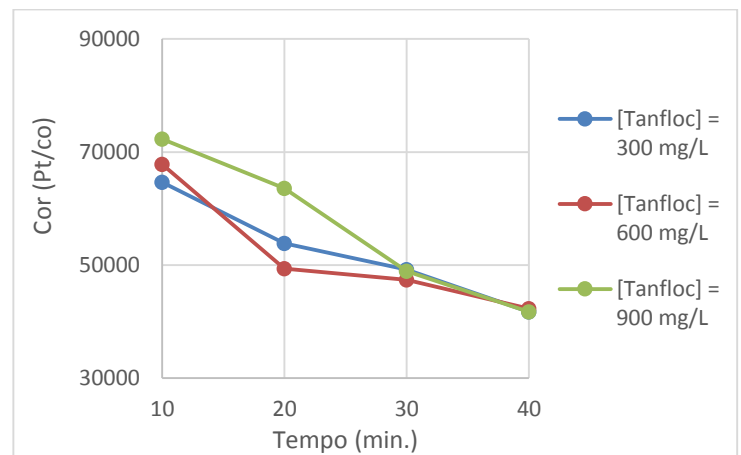
## 5.2 Análise do parâmetro cor

O presente tópico tem o objetivo de analisar o comportamento dos coagulantes adotados no trabalho para a remoção da cor. O efluente coletado na forma bruta apresentava um valor para cor de 96.800 Pt/co.

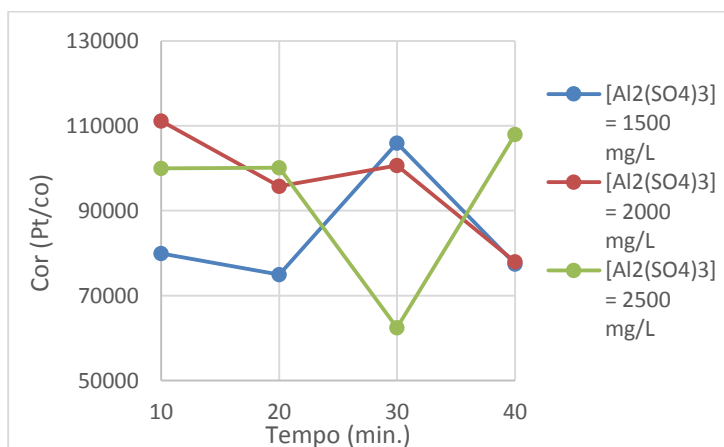
A Figura 8 apresenta os percentuais de remoção do parâmetro cor em função dos tempos de sedimentação para cada Moringa oleífera (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d).



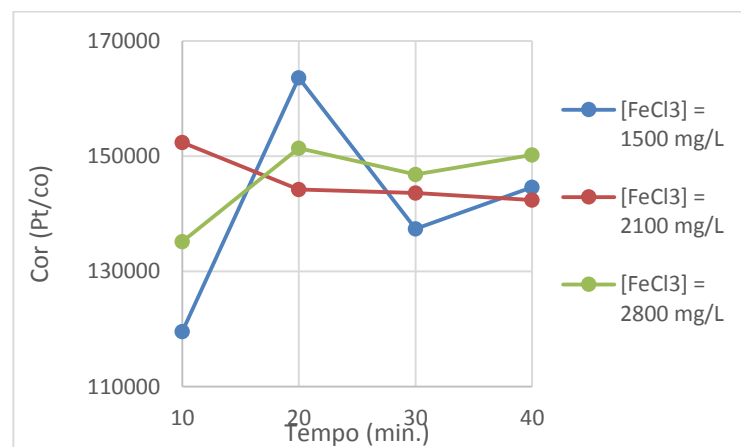
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8: Porcentagens da remoção do parâmetro cor em função do tempo para os coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d).

Ao utilizar o coagulante *Moringa oleifera* no ensaio (Figura 8a), obteve-se que para a remoção de cor, a melhor concentração foi a de 2800 mg/L, atingindo uma remoção de 8,68% no primeiro tempo de sedimentação, e logo após os 10 minutos iniciais, houve uma diminuição na porcentagem de remoção da cor. Pode-se analisar também que para a concentração de 2200 mg/L não foram obtidos bons resultados, pois houve um aumento na cor, portanto o melhor rendimento para remoção de cor do respectivo coagulante acontece em concentrações mais elevadas.

Pode-se dizer que o coagulante *Moringa oleifera* não atinge valores satisfatórios para remoção de cor em efluente de curtume. Tal informação discorda com trabalhos desenvolvidos por Couto-Junior (2012) que utilizando o respectivo coagulante para efluente de indústria têxtil, (que possui também uma forte coloração e grande quantidade de sólidos suspensos), apresentou uma remoção de cor de 97,28% em uma concentração de 2500 mg/L nas amostras de 500 mL do efluente têxtil, portanto a *Moringa oleifera* não apresentou resultados eficientes para remoção de cor em efluente de curtume.

A Figura 8b mostra que para o coagulante Tanfloc todas as concentrações utilizadas alcançaram uma remoção de cor maior que 56%, onde a maior remoção obtida foi de 56,9%, para 300 mg/L e 900 mg/L, valor este atingido ao final de 40 minutos de ensaio.

Em um estudo feito por Santiago (2009), aplicando Tanfloc em um efluente de indústria canavieira, foram apontados índices de remoção de cor de 92%, uma remoção maior que a encontrada no presente trabalho, porém foi utilizando uma concentração de 250 mL de Tanfloc por litro de vinhaça, concentração esta, que é muito maior que a utilizada no efluente de curtume.

Ao analisar a eficiência do coagulante Sulfato de Alumínio (Figura 8c) para a remoção de cor, observa-se através da Figura 8c que a maior remoção aconteceu no tempo de sedimentação igual a 30 minutos, utilizando a concentração de 2500 mg/L, atingindo uma remoção de 35,5%. Nota-se que a remoção do coagulante químico Sulfato de Alumínio foi inferior a porcentagem de remoção do coagulante natural Tanfloc em 21,4% (diferença absoluta), o que demonstra a viabilidade do coagulante natural Tanfloc para o efluente em questão.

Uma curiosidade que houve no ensaio do Sulfato de Alumínio foi que os sólidos sedimentaram bem rápido e a partir do tempo de sedimentação igual a 20 minutos era visível nos jarros do jar test a separação do sobrenadante e os sólidos sedimentados no fundo do jarro, conforme mostra a Figura 9. Desta forma, apesar do respectivo coagulante não apresentar uma eficiente remoção de cor como o coagulante Tanfloc, ele apresenta uma um rápida e ótima sedimentação dos sólidos.



**Figura 9: Visível sedimentação dos sólidos utilizando o Sulfato de Alumínio**

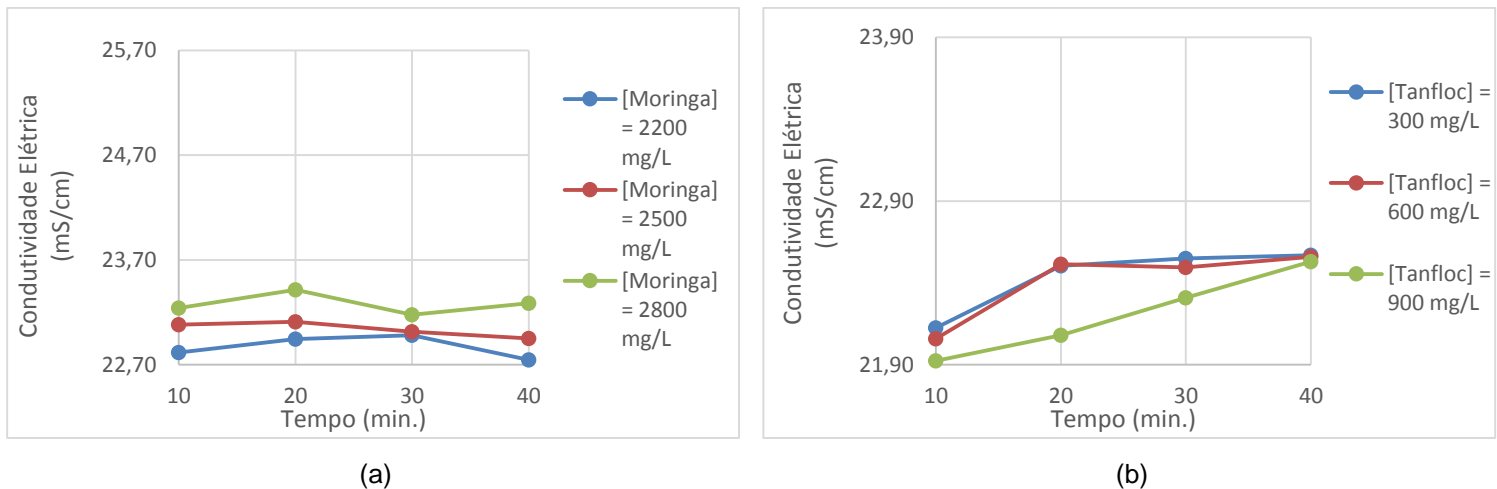
Na Figura 8d ao observar o Cloreto Férrico como agente coagulante na remoção de cor, foi observado que ele não é um agente promissor na remoção de cor, pois houve um aumento no parâmetro em todas as concentrações utilizadas.

Em um estudo feito por Vaz (2010), foi obtido resultado semelhante com um aumento no parâmetro cor, e uma possível explicação para isso é que quando o cloreto férrico é adicionado com certo excesso ao efluente, parte dele não participa da reação de coagulação/floculação, ficando este em solução havendo um aumento dos valores do parâmetro cor.

O coagulante que se apresentou o melhor resultado para a remoção de cor em efluente de curtume foi o coagulante natural Tanfloc. Ele obteve uma remoção de cor de 56,9%, a maior remoção perante os outros três coagulantes adotados nos ensaios. Desta forma, nota-se a viabilidade da sua utilização para a remoção da cor do efluente de curtume.

### 5.3 Análise do parâmetro Condutividade elétrica

A Figura 10 demonstra o comportamento da condutividade elétrica durante o processo de sedimentação nos ensaios para cada coagulante Moringa oleífera (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d). O efluente de curtume apresentava uma condutividade elétrica de 21,84 mS/cm antes do tratamento feito neste trabalho.



**Figura 10: Variação da condutividade elétrica em função do tempo dos coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico**

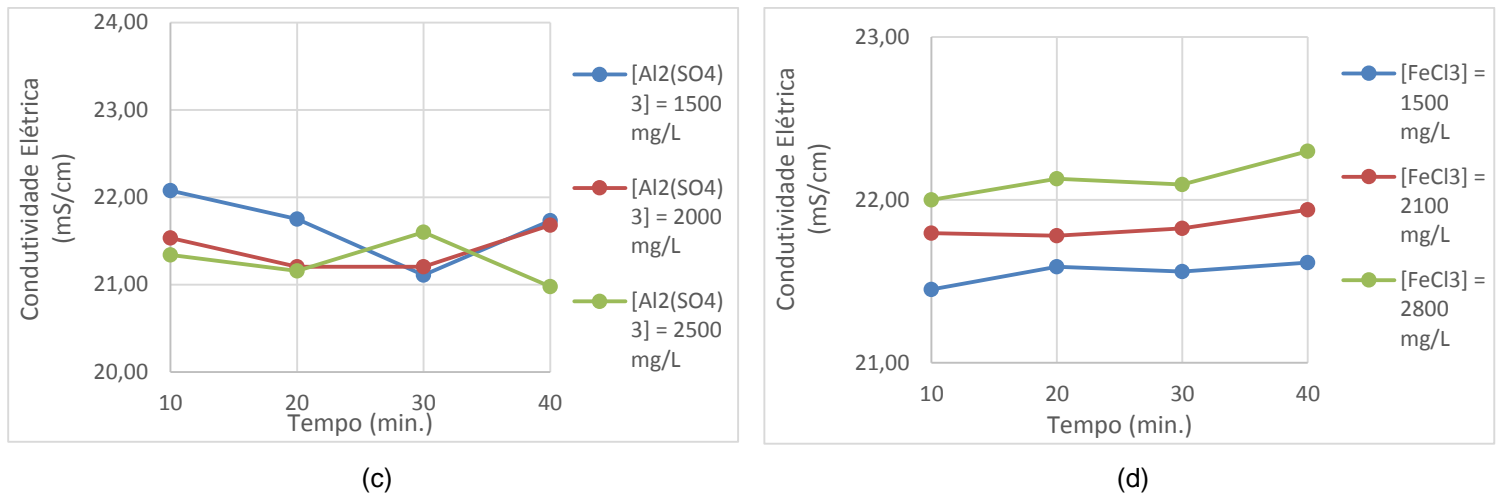


Figura 10: Variação da condutividade elétrica em função do tempo dos coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c) e Cloreto Férrico (d). Continuação.

Ao observar a Figura 10a, nota-se que para a *Moringa oleífera*, houve um aumento nos valores de condutividade elétrica, onde o maior valor constatado foi de 23,41 mS/cm, na concentração de 2800 mg/L de solução do coagulante, no tempo de sedimentação de 20 minutos. O aumento no valor da condutividade foi de 7,21% em relação ao valor inicial do efluente bruto.

Para o coagulante Tanfloc (Figura 10b), ao visualizar as informações do gráfico, é possível dizer que em todas as concentrações utilizadas no ensaio, ocorreu um aumento na condutividade elétrica, onde no tempo de sedimentação de 40 minutos foi observado o maior valor, alcançando este 22,57 mS/cm utilizando a menor concentração do coagulante de 300 mg/L, representando um aumento em relação ao valor do efluente bruto de 3,34%.

Ao analisar os resultados da condutividade elétrica para o coagulante Sulfato de Alumínio (Figura 10c), pode-se dizer que houve uma variação insignificante, pois os valores ficam entre 20,97 e 22,07 mS/cm, nas concentrações de 2500 mg/L e 1500 mg/L, respectivamente perfazendo uma variação de 4,98%.

A Figura 10d demonstra que para o coagulante Cloreto Férrico, observou-se que houve um aumento na condutividade elétrica para a maior concentração de coagulante utilizada, de 2800 mg/L. Já para a menor concentração de 1500 mg/L houve uma diminuição nos valores da condutividade e para a concentração de 2100 mg/L do

coagulante a condutividade quase não sofreu alteração em relação a condutividade elétrica do efluente bruto variando entre 21,79 mS/cm e 21,94 mS/cm, obtendo assim, uma variação de 0,68%.

Em geral, nota-se que não houve uma significativa alteração na condutividade após a aplicação dos coagulantes naturais e químicos e, dessa forma, em relação ao parâmetro condutividade elétrica os coagulantes não possuem um boa eficiência na diminuição da mesma.

#### 5.4 Análise do parâmetro Demanda Química de Oxigênio

A Figura 11, mostra o percentual de remoção de DQO obtido para os coagulantes utilizados no ensaio. O efluente bruto coletado na empresa apresentava um valor de DQO de 79.850 mg/L.

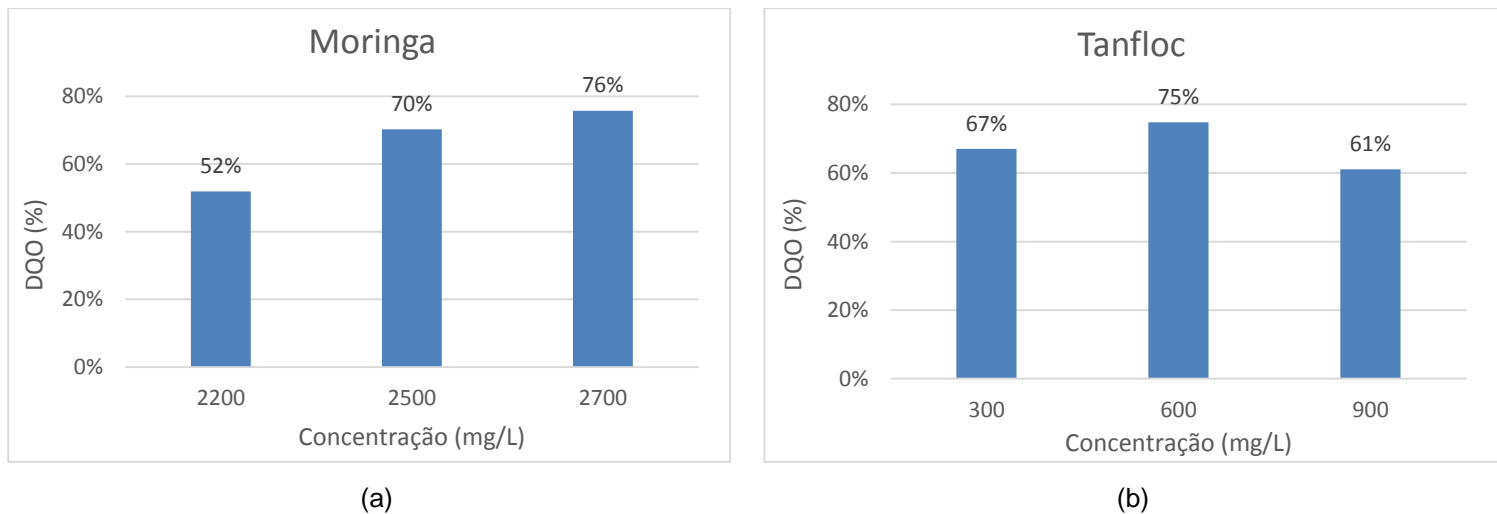
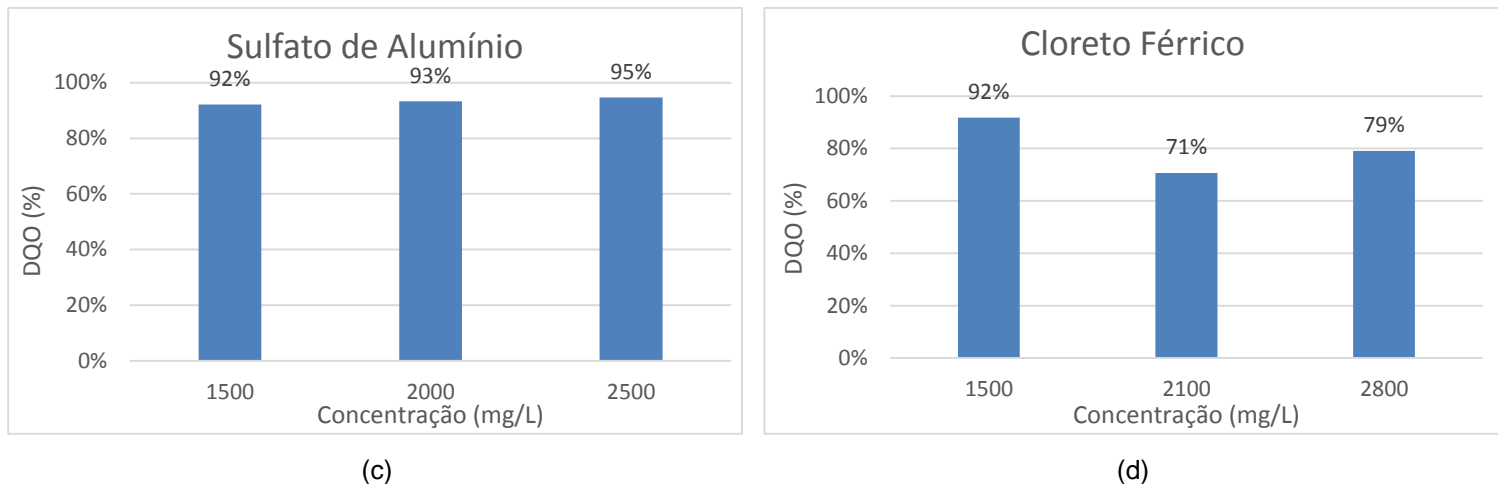


Figura 11: Porcentagem de remoção do parâmetro Demanda Química de Oxigênio para os coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c), e Cloreto Férrico (d).



**Figura 11: Porcentagem de remoção do parâmetro Demanda Química de Oxigênio para os coagulantes *Moringa oleífera* (a), Tanfloc (b), Sulfato de Alumínio (c), e Cloreto Férrico (d). Continuação.**

Ao analisar a Figura 11a, nota-se que a maior remoção de DQO para o coagulante *Moringa oleífera* aconteceu com a concentração de 2700 mg/L, e essa remoção atingiu o valor de 76%. É possível observar também que quanto maior a concentração da solução do coagulante, maior é a remoção de DQO.

Em um estudo feito por Lied (2011), utilizando a *Moringa oleífera* como coagulante em um efluente de fecularia, que possui uma alta taxa de carga orgânica, obteve resultado de 71% de remoção de DQO com uma concentração de 2400 mg/L, desta forma, apresentando resultados semelhantes ao que foi encontrado no atual trabalho, visto que para o efluente de curtume a melhor remoção foi de 76% em uma concentração um pouco superior do que a utilizada no trabalho do autor citado. Portanto é possível afirmar que a *Moringa oleífera* é um eficiente coagulante na remoção do parâmetro DQO para o efluente de curtume.

Para o coagulante Tanfloc (Figura 11b), é possível visualizar que a melhor remoção de DQO foi de 75% na concentração de 600 mg/L, uma remoção com valor semelhante a remoção feita pelo coagulante natural *Moringa oleífera*. O Tanfloc apresentou uma elevada remoção de DQO e pode ser considerado como um eficiente coagulante para remoção de tal parâmetro.

Em relação ao coagulante químico Sulfato de Alumínio (Figura 11c), nota-se que ele obteve ótimos resultados para remoção de DQO ao final do processo. Pode-



se inferir que o seu comportamento foi o de que quanto maior a concentração do coagulante, maior a remoção de DQO, pois o melhor resultado de porcentagem aconteceu na concentração de 2500 mg/L com 95% de remoção. O Sulfato de Alumínio se mostrou o coagulante mais eficiente em relação ao parâmetro de remoção de DQO que a *Moringa oleífera* e o Tanfloc.

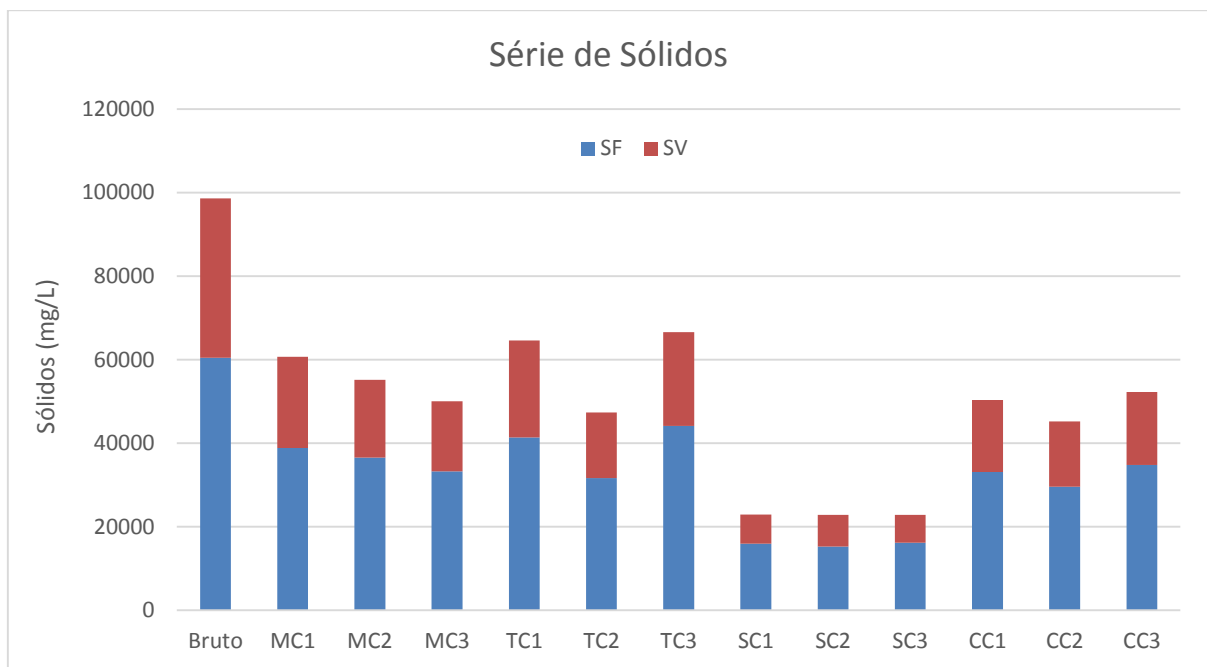
Na Figura 11d, ao observar o comportamento do coagulante químico Cloreto Férrico, é possível visualizar que o ele apresentou bons resultados, assim como o outro coagulante químico Sulfato de Alumínio. A melhor remoção de DQO ocorreu com a menor concentração utilizada no ensaio igual a 1500 mg/L e alcançou o valor de 92%. Em um trabalho feito por Kochenborger (2012), foi obtido com o coagulante químico Cloreto Férrico uma remoção de 57,33% para um efluente de cervejaria, desta forma, pode-se dizer que para o efluente de curtume o Cloreto Férrico é um eficiente coagulante na remoção de DQO.

Para o parâmetro DQO, é possível inferir que os melhores resultados foram obtidos com os coagulantes químicos, sendo que atingiram valores maiores que 90% de remoção de DQO, já os coagulantes naturais, tanto a *Moringa oleífera* quanto o Tanfloc, não obtiveram valores maiores que 80% apresentando, no entanto, valores positivos de remoção deste parâmetro.

Apesar dos coagulantes, principalmente os químicos, apresentarem grande remoção, o efluente ainda não poderia ser lançado no corpo hídrico, pois não atende os padrões estabelecidos pela CEMA n<sup>o</sup> 70/ 2009 (CEMA, 2009) no anexo 7, ultrapassando o valor limite para DQO, que é de 350 mg/L para curtumes.

## 5.5 Análise do parâmetro Série de sólidos

A Figura 12, demonstra o comportamento dos sólidos fixos e voláteis no tratamento do efluente de curtume pelos coagulantes *Moringa oleífera*, Tanfloc, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico. Os valores do efluente bruto para sólidos fixos e para sólidos voláteis são 60.430 e 38.200 mg/L, respectivamente.

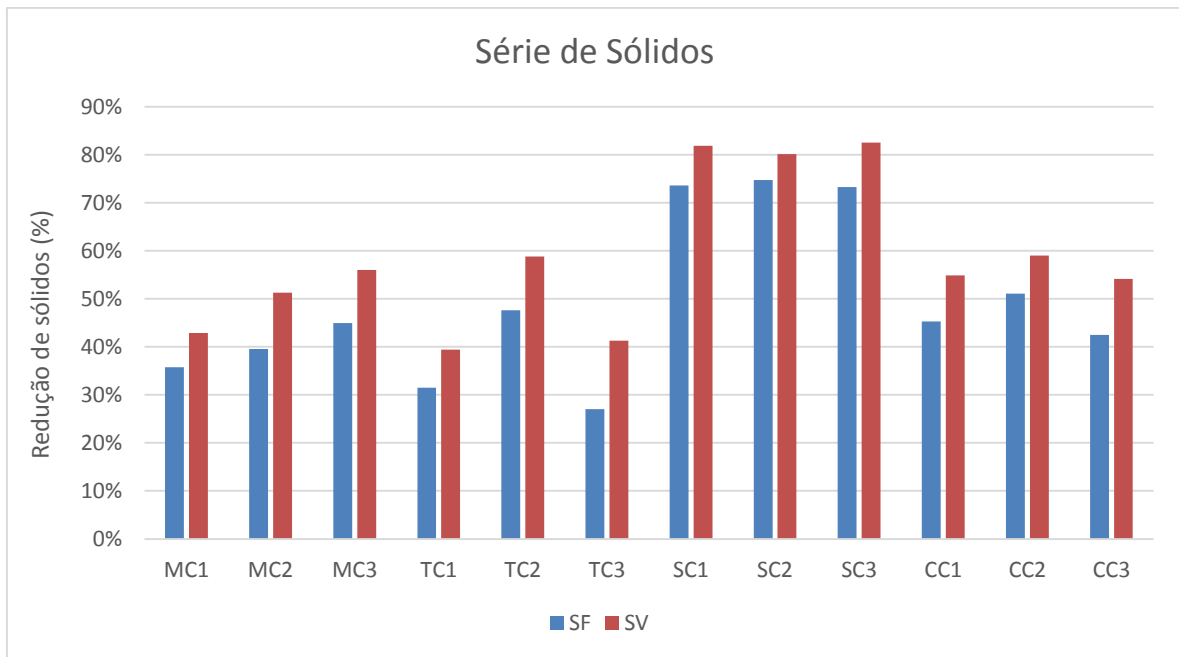


(a)

**Figura 12: Série de sólidos para os coagulantes *Moringa oleífera*, Tanfloc, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, em valores absolutos (a) e em porcentagem de redução (b).**

**Nota:**

MC1 = *Moringa oleífera* 2200 mg/L; MC2 = *Moringa oleífera* 2500 mg; MC3 = *Moringa oleífera* 2800 mg/L; TC1 = Tanfloc 300 mg/L; TC2 = Tanfloc 600 mg/L; TC3 = Tanfloc 900 mg/L; SC1 = Sulfato de Alumínio 1500 mg/L; SC2 = Sulfato de Alumínio 2000 mg/L; SC3 = Sulfato de Alumínio 2500 mg/L; CC1 = Cloreto Férrico 1500 mg/L; CC2 = Cloreto Férrico 2100 mg/L; CC3 = Cloreto Férrico 2800 mg/L.



(b)

**Figura 12: Série de sólidos para os coagulantes *Moringa oleífera*, Tanfloc, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, em valores absolutos (a) e em porcentagem de redução (b). Continuação.**

**Nota:**

MC1 = *Moringa oleífera* 2200 mg/L; MC2 = *Moringa oleífera* 2500 mg; MC3 = *Moringa oleífera* 2800 mg/L; TC1 = Tanfloc 300 mg/L; TC2 = Tanfloc 600 mg/L; TC3 = Tanfloc 900 mg/L; SC1 = Sulfato de Alumínio 1500 mg/L; SC2 = Sulfato de Alumínio 2000 mg/L; SC3 = Sulfato de Alumínio 2500 mg/L; CC1 = Cloreto Férrico 1500 mg/L; CC2 = Cloreto Férrico 2100 mg/L; CC3 = Cloreto Férrico 2800 mg/L.

Ao analisarmos o coagulante *Moringa Oleífera*, podemos notar que a maior remoção de sólidos aconteceu para a concentração de 2800 mg/L, onde houve uma remoção de 45% para os sólidos fixos e 56% para os sólidos voláteis em relação aos valores dos sólidos do efluente bruto. Para um maior esclarecimento todos os resultados brutos encontram-se demonstrados no Apêndice. Pode-se analisar também que quanto menor a concentração da solução do respectivo coagulante, menor é a remoção dos sólidos, desta forma, a concentração de 2200 mg/L obteve a menor remoção.

Para o coagulante natural Tanfloc, observa-se que a concentração intermediária de 600 mg/L foi a que melhor se comportou na remoção dos sólidos, alcançando uma remoção de 48% para os sólidos fixos e 59% para os sólidos voláteis. Ao se comparar os coagulantes naturais *Moringa oleífera* e Tanfloc, pode-se inferir que

que o Tanfloc é mais viável que a Moringa oleífera na remoção de sólidos, pois ele obteve uma maior porcentagem de remoção utilizando uma menor quantidade de coagulante.

Ao observar o comportamento do coagulante químico Sulfato de Alumínio na remoção dos sólidos, nota-se que ele foi muito eficiente atingindo valores acima de 70% em todas as concentrações. A maior remoção de sólidos fixos foi de 75% e ocorreu na concentração intermediária de 2000 mg/L, já a maior remoção de sólidos voláteis foi de 83% e ocorreu na concentração de 2800 mg/L. Analisando a Figura 13, é quase imperceptível a diferença dos valores na remoção dos sólidos para as diferentes concentrações, demonstrando assim que coagulante químico é viável nas três diferentes concentrações.

Em relação ao coagulante químico Cloreto Férrico, assim como o coagulante natural Tanfloc, a maior remoção dos sólidos ocorreu para a concentração intermediária. Na concentração de 2100 mg/L houve uma remoção de 51% de sólidos fixos e 59% de sólidos voláteis, indicando valores semelhantes ao Tanfloc e um comportamento parecido para a remoção dos sólidos, entretanto, o coagulante químico utiliza uma maior concentração para obter essa remoção.

Para o parâmetro Série de sólidos, é visível através do gráfico que o melhor coagulante na remoção dos sólidos é o coagulante químico Sulfato de Alumínio, que atingiu valores de remoção maiores que 70% para sólidos fixos e voláteis nas três concentrações utilizadas no ensaio, enquanto os coagulantes naturais Moringa oleífera e Tanfloc atingiram valores menores que 60%.

## **5.6 Análise Estatística**

Para este trabalho foi realizada a análise estatística apenas dos parâmetros que envolveram coleta de amostras em diferentes tempos de sedimentação. Sendo assim, a análise de variância foi aplicada ao parâmetro pH (5.6.1), cor aparente (5.6.2) e condutividade elétrica (5.6.3) demonstradas em seguida.

### 5.6.1 Análise de variância para o parâmetro pH

Inicialmente, a análise de variância para os valores de pH obtidos no primeiro tempo de sedimentação são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 6 - Resultados da Análise de Variância para o pH no primeiro tempo de sedimentação**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	3	0,411	0,137	490,640	0,00000
Concentração	2	0,000	0,000	0,850	0,451
Coagulante*Concentração	6	0,002	0,000	1,270	0,341
Resíduo	12	0,003	0,000		
Total	23	0,417			

Na Tabela 6 observa-se que o valor-P é igual a 0,341 > 0,1, indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração não é significativa, a 10% de significância. Observando-se os efeitos simples dos fatores, nota-se que a Concentração também não é significativa (valor-P = 0,451 > 0,1), mas o efeito do Coagulante foi significativo (valor-P = 0,000 < 0,1). A mesma situação ocorreu para o terceiro e o quarto tempo de sedimentação, onde apenas o efeito do coagulante foi significativo e por isso foi apresentado apenas a tabela do primeiro tempo de sedimentação como exemplo do resultado das análises de variância. A comparação de médias pelo teste Tukey para o pH no segundo tempo está apresentado logo mais adiante.

Portanto, as comparações de médias foram realizadas apenas para o Coagulante e são apresentadas na Tabela 7, utilizando o teste de Tukey, em que letras iguais indicam médias iguais.

**Tabela 7 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para o pH**

Tempo	Coagulante	Média	Tukey ( $\alpha=10\%$ )
1	Tanfloc	12,918	a
	SAlumínio	12,673	b
	CFérrico	12,643	c
	Moringa	12,570	d
3	Tanfloc	12,910	a
	SAlumínio	12,683	b
	CFérrico	12,662	c
	Moringa	12,612	d
4	Tanfloc	12,922	a
	SAlumínio	12,688	b
	CFérrico	12,672	b
	Moringa	12,620	c

Pela Tabela 7, nota-se que a menor média de pH para o primeiro, terceiro e quarto tempo de sedimentação foi obtida pelo coagulante *Moringa oleífera*, senda esta média diferente das demais. No quarto tempo de sedimentação, no final do ensaio os coagulantes químicos Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico obtiveram médias iguais, significando assim, que os coagulantes químicos tiveram o mesmo efeito para o parâmetro pH.

Também foi realizado uma análise de variância para os dados do pH obtidos no segundo tempo de sedimentação, que é apresentada na Tabela 8.

**Tabela 8 - Resultados da Análise de Variância para o pH no segundo tempo de sedimentação**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	3	0,341	0,114	634,810	0,00000
Concentração	2	0,000	0,000	0,910	0,430
Coagulante*Concentração	6	0,003	0,000	2,770	0,063
Residuals	12	0,002	0,000		
Total	23	0,347			

Na Tabela 8 observa-se que o valor- $P=0,063 < 0,1$ , indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa, a 10% de significância. Portanto, as comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey.

Na Tabela 9 é apresentado um resumo das comparações de médias para os desdobramentos, em que letras iguais indicam médias iguais.

**Tabela 9 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH.**

Coagulante	Concentração		
	C1	C2	C3
Tanfloc	12,915 a A	12,910 a A	12,905 a A
CFérrico	12,670 b A	12,665 b A	12,640 c A
SAlumínio	12,645 b A	12,685 b AB	12,675 b B
Moringa	12,590 c A	12,595 c A	12,610 c A

De acordo com a Tabela 9, observa-se que para o segundo tempo de sedimentação, fixando o fator Coagulante, todos os níveis de concentração entre o Tanfloc, Cloreto Férrico e Moringa são estatisticamente iguais demonstrando assim que o coagulante teve o mesmo efeito nas três concentrações. Já para o Sulfato de Alumínio observa-se que o coagulante apresentou diferença significativa apenas entre as médias obtidas utilizando a primeira e a terceira concentração.

Ao se fixar a concentração, destaca-se que para a primeira e segunda concentração os coagulantes químicos Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico possuem médias estatisticamente iguais, e os coagulantes naturais possuem médias estatisticamente diferentes, sendo que as médias da *Moringa oleífera* são as menores, portanto, infere-se que foi o coagulante que mais reduziu os valores de pH. Para a terceira concentração os coagulantes Cloreto Férrico e *Moringa oleífera* apresentaram médias estatisticamente iguais e os menores valores para o pH em relação aos coagulantes Tanfloc e Sulfato de Alumínio que mostraram médias estatisticamente diferentes.

### 5.6.2 Análise de variância para o parâmetro Cor Aparente

Realizou-se a análise de variância para os dados de cor obtidos nos quatro ensaios e são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Resultados da Análise de Variância para o pH no primeiro tempo de sedimentação**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	3	197195,000	65732,000	22,199	0,000
Concentração	2	443,000	222,000	0,075	0,928
Coagulante*Concentração	6	7754,000	1292,000	0,437	0,841
Residuals	12	35533,000	2961,000		
Total	23	240925,000			

Na Tabela 10 constatou-se que o valor-P=0,841 > 0,1, indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração não é significativa, a 10% de significância e também nota-se que a Concentração não é significativa (valor-P=0,928 > 0,1), porém o efeito do Coagulante foi significativo (valor-P=0,000 < 0,1). O mesmo ocorreu para o segundo, terceiro e quarto tempo de sedimentação, dessa forma, as comparações de médias foram realizadas apenas para o Coagulante e são apresentadas na Tabela 11, utilizando o teste de Tukey.



**Tabela 11 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para a Cor**

Tempo	Coagulante	Média	Tukey ( $\alpha=10\%$ )
1	Moringa	461,000	a
	CFérrico	430,500	a
	SAlumínio	402,333	a
	Tanfloc	227,500	b
2	CFérrico	382,667	a
	SAlumínio	357,333	a
	Moringa	336,000	a
	Tanfloc	185,333	b
3	CFérrico	356,500	a
	SAlumínio	340,500	a
	Moringa	333,500	a
	Tanfloc	161,667	b
4	CFérrico	364,333	a
	SAlumínio	354,500	a
	Moringa	329,167	a
	Tanfloc	139,667	b

Os dados da Tabela 11, indicaram que para os quatro tempos de sedimentação os coagulantes *Moringa oleífera*, Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio apresentaram médias estatisticamente iguais.

O coagulante natural Tanfloc apresentou em todos os tempos de sedimentação médias estatisticamente diferentes e valores estatisticamente menores que os outros coagulantes, comprovando assim a sua maior eficiência na remoção de cor em comparação com os outros coagulantes.

### 5.6.3 Análise de variância para o parâmetro Condutividade elétrica

O desempenho das concentrações de cada coagulante em relação a condutividade elétrica foram realizados e os resultados da análise de variância do respectivo parâmetro são apresentados a seguir.

Os resultados para o terceiro tempo de sedimentação são mostrados na Tabela 12.

**Tabela 12 - Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica no terceiro tempo de sedimentação**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	3	10,387	3,462	32,286	0,000
Concentração	2	0,248	0,124	1,154	0,348
Coagulante*Concentração	6	0,415	0,069	0,645	0,694
Resíduo	12	1,287	0,107		
Total	23	12,337			

Na Tabela 12 observou-se que o valor-P=0,694 > 0,1, mostrando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração não é significativa, a 10% de significância e também analisou-se que a Concentração não é significativa (valor-P=0,348 > 0,1), mas o efeito do Coagulante foi significativo (valor-P=0,000 < 0,1). Portanto as comparações de médias foram realizadas apenas para o Coagulante e são mostradas na Tabela 13, utilizando o teste de Tukey.

**Tabela 13 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para a Condutividade Elétrica**

Coagulante	Média	Tukey ( $\alpha=10\%$ )
Moringa	23,057	a
Tanfloc	22,452	b
CFérrico	21,827	c
SAlumínio	21,305	d

Através da Tabela 13, visualiza-se que o coagulante químico Sulfato de Alumínio obteve a menor média de condutividade elétrica, sendo esta média diferente das demais.

Apesar da diminuição dos valores de condutividade elétrica ter sido pequeno, o melhor coagulante em relação a este parâmetro é o Sulfato de Alumínio, pois foi o que mais reduziu a quantidade de sais presentes no efluente de curtume em relação aos outros três coagulantes.

Também foi feita uma análise de variância para as informações obtidas no primeiro, segundo e quarto tempo de sedimentação, e todos apresentaram interação entre os fatores Coagulante e Concentração, dessa forma, foi apresentada apenas o exemplo da tabela de resultados da análise de variância para o primeiro tempo de sedimentação na Tabela 14.

**Tabela 14 - Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica no primeiro tempo de sedimentação**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	3	7,508	2,503	36,773	0,000
Concentração	2	0,004	0,002	0,030	0,971
Coagulante*Concentração	6	1,172	0,195	2,870	0,057
Resíduo	12	0,817	0,068		
Total	23	9,501			

Na Tabela 14 observa-se que o valor-P = 0,057 < 0,1, indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa, a 10% de significância. A mesma situação ocorreu para o segundo e o quarto tempo de sedimentação. Desse modo, as comparações de médias serão realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey.

A Tabela 15 mostra a comparação das médias para os desdobramentos.

**Tabela 15 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Condutividade elétrica.**

Tempo	Coagulante	Concentração		
		C1	C2	C3
1	Moringa	22,820 aA	23,080 aA	23,240 aA
	Tanfloc	22,130 bA	22,060 bA	21,930 bA
	SAlumínio	22,080 bcA	21,440 bB	22,000 bB
	CFérrico	21,450 cA	21,810 bA	21,340 bA
2	Moringa	22,945 aA	23,110 aA	23,415 aA
	Tanfloc	22,505 aA	22,515 aA	22,080 bA
	SAlumínio	21,750 bA	21,205 bA	21,155 cA
	CFérrico	21,590 bA	21,780 bA	22,130 bA
4	Moringa	22,745 aA	22,950 aA	23,285 aA
	Tanfloc	22,570 aA	22,560 abA	22,530 bA
	SAlumínio	21,730 bA	21,680 cA	20,975 cB
	CFérrico	21,615 bA	21,940 bcA	22,300 bA

Analisando a Tabela 15, conclui-se que para o primeiro tempo de sedimentação, fixando o fator Coagulante, o Sulfato de Alumínio no primeiro nível de concentração obteve uma média estatisticamente diferente do segundo e terceiro nível de concentração. Para os coagulantes *Moringa oleífera*, Tanfloc e Cloreto Férrico, todos os níveis de concentração são estatisticamente iguais e o menor valor de condutividade elétrica obtido foi pelo coagulante químico Cloreto Férrico no terceiro nível de concentração, se destacando como o melhor para um primeiro tempo de sedimentação, pois foi o que mais reduziu a condutividade elétrica do efluente.

Ao se fixar a Concentração, destaca-se que para o segundo e o terceiro nível de concentração, os coagulantes químicos Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico e o coagulante natural Tanfloc possuem médias estatisticamente iguais, diferenciando estatisticamente da *Moringa oleífera*.

Para o segundo tempo de sedimentação, ao fixar o Coagulante, é possível

avaliar que nos três níveis de concentração, todos os coagulantes possuem uma média estatisticamente igual, e ao fixar as Concentrações, observa-se que no primeiro e segundo nível de concentração os coagulantes naturais possuem médias estatisticamente iguais entre si, porém diferentes dos coagulantes químicos. No terceiro nível de concentração os coagulantes *Moringa oleífera* e Sulfato de Alumínio possuem médias estatisticamente diferentes.

No que se refere ao quarto tempo de sedimentação, fixando o Coagulante, visualiza-se que os coagulantes *Moringa oleífera*, Tanfloc e Cloreto Férrico nos três níveis de concentração, possuem médias que são estatisticamente iguais, porém para o coagulante Sulfato de Alumínio no terceiro nível de concentração a média é estatisticamente diferente das demais. Ao fixar a Concentração, destaca-se o terceiro nível de concentração, onde o Tanfloc e o Cloreto Férrico possuem médias estatisticamente iguais, diferentemente da *Moringa oleífera* e o Sulfato de Alumínio que possuem médias estatisticamente diferentes, sendo que este último apresentou o menor valor para a condutividade elétrica para quarto tempo de sedimentação

## 6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir deste trabalho que, dentre os coagulantes naturais *Moringa oleífera* e Tanfloc, o que melhor se comportou foi o Tanfloc, visto que ele obteve a maior remoção de cor em comparação não só com a *Moringa oleífera* mas também em comparação aos coagulantes químicos. Também apresentou porcentagens significativas de remoção de DQO, de sólidos fixos e voláteis, que ficaram em torno de 75%, 70% e 50%, respectivamente.

Para os coagulantes químicos Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, observou-se que o Sulfato de Alumínio foi melhor, pois apresentou as maiores porcentagens de remoção de DQO (95%), sólidos fixos (75%) e voláteis (83%), e ainda apresentou uma característica de sedimentar os sólidos rapidamente, separando o sobrenadante dos sólidos sedimentados que ficam dispostos no fundo dos jarros, comprovando assim, que o Sulfato de Alumínio é um ótimo agente floculante, formando flocos pesados que sedimentam rapidamente.

É possível dizer que tanto os coagulantes naturais quanto os químicos não alteram significativamente os valores de pH e de condutividade elétrica em relação aos valores do efluente bruto, desta forma, os coagulantes tem a característica de manter a condutividade elétrica e o pH do meio, sendo indicado que seja feita uma correção do pH no efluente de curtume para depois fazer seu lançamento no corpo hídrico.

Para a análise estatística verificou-se que esta veio a comprovar o que já se tinha notado por meio dos gráficos plotados na seção 5.1, 5.2 e 5.3, sendo que para o parâmetro pH o coagulante que obteve o menor valor foi a *Moringa oleífera*, para o parâmetro cor o coagulante natural Tanfloc apresentou valores estatisticamente menores que todos os outros coagulantes, o que já era esperado por sua eficiência na remoção de cor, e para a condutividade elétrica, através das comparações de médias pelo teste de Tukey, observou-se que houve pouca variação dos valores das médias, e a menor média foi obtida pelo coagulante químico Sulfato de Alumínio, ou seja, foi o que mais removeu sais do efluente.

A partir da realização deste trabalho, verificou-se que o coagulante químico Sulfato de Alumínio apresentou uma maior eficiência em relação aos outros três coagulantes na maior parte dos parâmetros analisados no efluente proveniente da indústria de curtume, sendo assim a aplicação do Sulfato de Alumínio seria mais viável no que se refere ao tratamento físico-químico do respectivo efluente.

Como sugestões para a continuidade do trabalho sugere-se, que seria importante realizar uma análise do lodo gerado pelos coagulantes naturais e principalmente os químicos para classificá-los segundo a Norma NBR ABNT 10004 e desse modo, saber uma melhor forma para seu tratamento e disposição final, pois o lodo resultante do tratamento do efluente de curtume pode conter metais pesados e causar um dano ambiental se não for disposto corretamente.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ione L. S. **Avaliação da capacidade de adsorção da torta de *Moringa Oleífera* para BTEX em amostras.** 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22 ed. Washington, 2012.

ARANTES, Camila C.; RIBEIRO, Tulio A. P.; PATERNIANI, José E. S. Processamento de sementes de *Moringa oleífera* 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, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600011>>. Acesso em: 18 abr. 2014.

BAYER, Vinicius. **Estudo da extração de cromo hexavalente, pela técnica de membranas líquidas surfatantes, visando o tratamento de efluentes líquidos de Curtumes.** 2005. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

BATTESTIN, Vania; MATSUDA, Luis K.; MACEDO, Gabriela A. Fontes e aplicações de taninos e tanases em alimentos. **Alim. Nutr.** Araraquara, v.15, n.1, p.63-72, 2004. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/58/75>..>. Acesso em: 22 abr. 2014.

BNDES. **Panorama do setor de Couro no Brasil - 2002.** Rio de Janeiro. Disponível em:<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1603.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1603.pdf)> Acesso em: 18 out. 2014.

BONGIOVANI, Milene C.; KONRADT-MORAES, Leila Cristina; BERGAMASCO, Rosângela; LOURENÇO, Beatriz S. S. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.32, n. 2, p. 167-170, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.8238>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da moringa oleífera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** 2001. 76f. Dissertação (Pós-Graduação em



Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 de maio. 2014.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 25 de maio 2014.

CAMPOS, José Roberto; REALI, Marco Antonio P.; MARCHETTO, Solange Aparecida G. D. M.; LIMA, Márcio Rogério A. Tratamento Físico-Químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios. In: XXV CONGRESO INTERAMERICANO INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25., 1996, Cidade del México. **Anais eletrônicos**. México: AIDIS, 1996. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/TRATAMENTO%20F%20C%83%8D%20SICO%20QU%20C%8D%20MICO%20POR%20FLOTA%20C%87%20C%83%8D%20DE%20EFLUENTES%20DE%20REACTORES%20ANAER%20C%93%8D%20BIOS.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

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 oleifera Lam*. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.30, n. 2, p. 193-198, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

CONCEIÇÃO, Vinicius, M. da. **Avaliação da desfluoretação de águas com coagulante de *Moringa Oleífera Lam* e do processo de separação por membranas**. 2012. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental - Área de Concentração: Controle e Monitoramento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

COUTO JUNIOR, Osorio M.; STÖHER, Ana P.; BARROS, Maria A. S. D.; PEREIRA, Nehemias C. Tratamento de efluente da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando coagulantes naturais. **REVISTA CIÊNCIAS EXATAS**, Taubaté, v. 18, n. 1, p. 14-22, 2012. Disponível em: <<http://revistas.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/view/1457/1023>>. Acesso em: 17 out. 2014.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

FRANCO, Elton S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GUEDES, C. D.; REIS, M.; PAIVA, J. F.; LENA, J. C.; BOTTERO, J. Y.; COSTA, G. M. O uso da Moringa Olfeífera na clarificação de águas superficiais de minerações de ferro, um problema ambiental das regiões produtoras de minério de ferro do Brasil. In: Encontro Nacional de Moringa, 2., 2010, Aracaju. **Anais eletrônicos...** Sergipe, 2010. Disponível em: <<http://linux.alfamaweb.com.br/encontromoringa.com.br/site/assets/files/01/13.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

KIMURA, Irene Y. **Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazinapor adsorção e coagulação/floculação com quitosana**. 2001. 200 f. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82106/179180.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 abr. 2014, 23: 43.

Kochenborger, Guilherme. **Tratamento físico-químico para efluente de Cervejaria**. 2012. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2012.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LIED, E.B., KLEN M.R.F., VEIT, M.T. Avaliação da eficiência do tratamento de água residuária de fecularia por coagulação/floculação utilizando extrato de moringa oleífera. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2, 2011, Londrina, **Anais eletrônicos...** Paraná, 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/II-003.pdf>> Acesso em: 8 nov. 2014.

MANCUSO, PEDRO C. S.; SANTOS, F. **Reúso da água**. 3 ed. Barueri: Manuelie, 2003.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acacia mearnsii. **Revista Virtual de Química**, Curitiba, v. 6, n. 1, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewFile/425/338>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

MARTINS, Gilberto A. **Estatística Geral e Aplicada**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A, p. 237- 238, 2006.

NUNES, José A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju:Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed**. Water Research, v. 33, n. 15, pp. 3373-3378, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00046-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00046-9)>

PACHECO, José W. F. **Curtumes**. São Paulo: CETESB, 2005

PARANÁ (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. Resolução 70/2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Curitiba, PR, 11 agosto 2009. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RES\\_OLUCOES/resolucao\\_cema\\_70\\_2009.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RES_OLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf)>. Acesso em: 25 de maio 2014.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/en.php>>. Acesso em: 20 abr. 2014. 21: 38.

PIANTÁ, Cyro A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água.** 2008. 78 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RANGEL, M. S. **Moringa Oleifera:** um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso 21 abril. 2014.

RIBEIRO, Ana T. A. **Aplicação da moringa oleifera no tratamento de água para consumo humano - Remoção de poluentes por coagulação-floculação.** 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2010. Disponível em: <[http://tratamento44.dominiotemporario.com/R10/Lib/Image/art\\_948454995\\_000142851.pdf](http://tratamento44.dominiotemporario.com/R10/Lib/Image/art_948454995_000142851.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2014, 20:12.

RICO, Thiago E. F.; SANTOS, Lucas M.; REIS, Edson M. dos; SILVA, Frederico F.; ZONETTI, Patrícia da C. Tratamento de água residuária de curtume com utilização de sementes de moringa (*Moringa oleifera* L.). **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 96-101, 2010. Disponível em: <<http://www.saes2010.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/292/305>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS, Hélio R. dos. **Coagulação/Precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação.** 2006. 309f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTIAGO, Rafael M.; GIRARDI, F.; GIMENES, Marcelino L. Tratamento de vinhaça com os coagulantes naturais: Quitosana, tanino e moringa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 8, 2009, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** Minas Gerais, 2009. Disponível em:

<<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/89620731.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2014.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999. 85f. Tese (Mestrado, Área de Saúde Pública) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <[http://portalteses.icict.fiocruz.br/transf.php?script=thes\\_chap&id=00005802&lng=pt&nr\\_m=iso](http://portalteses.icict.fiocruz.br/transf.php?script=thes_chap&id=00005802&lng=pt&nr_m=iso)>. Acesso em: 17 abr. 2014.

THEODORO, JOSEANE. D. **Estudo Dos Mecanismos de Coagulação/Floculação Para a Obtenção de Água de Abastecimento Para o Consumo Humano**. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

VANACÔR, Romualdo N. **Avaliação do coagulante orgânico *veta organic* utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público**. 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000492016&loc=2006&l=1a805d0b4f23ccc7>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

VAZ, Luis G. de L.; KLEN, Márcia R. F.; VEIT, Márcia T.; SILVA, Edson A. da; BARBIERO, Tatiany A.; BERGAMASCO, Rosângela. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 14-22, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006> >. Acesso em: 3 nov. 2014.

VERSIANI, Luís C. F. **Caracterização das propriedades coagulantes e adsorventes de íons Cd(II) em soluções aquosas apresentadas por biomateriais derivados da *Moringa oleífera***. 2008. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

YUAN, Shih Y. **Estudo da influência da adição de serragem de couro tratada quimicamente nas características de argamassas de cimento Portland**. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2009.

## APÊNDICE

APÊNDICE A – Valores dos parâmetros para cada tempo de sedimentação

**Tabela 1 – Valores dos parâmetros para o coagulante *Moringa oleífera*.**

Parâmetro		Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Tempo 10 min.	pH	12,60	12,58	12,56	12,57	12,53	12,58
	Cor	498	498	444	442	435	449
	Condut. Elétrica	22,55	23,08	23,08	23,08	23,28	23,20
Tempo 20 min.	pH	12,58	12,60	12,60	12,59	12,60	12,62
	Cor	380	350	301	325	346	314
	Condut. Elétrica	22,74	23,15	22,97	23,25	23,41	23,42
Tempo 30 min.	pH	12,61	12,62	12,62	12,62	12,60	12,60
	Cor	411	331	339	311	318	291
	Condut. Elétrica	22,70	23,26	22,98	23,05	23,41	22,94
Tempo 40 min.	pH	12,63	12,61	12,62	12,62	12,62	12,62
	Cor	390	310	360	294	321	300
	Condut. Elétrica	22,64	22,85	22,88	23,02	23,31	23,26

**Tabela 2 – Valores dos parâmetros para o coagulante Tanfloc.**

Parâmetro		Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Tempo 10 min.	pH	12,93	12,91	12,91	12,91	12,91	12,94
	Cor	231	200	187	265	319	163
	Condut. Elétrica	22,27	21,98	22,33	21,79	21,73	22,12
Tempo 20 min.	pH	12,93	12,90	12,91	12,91	12,91	12,90
	Cor	186	173	162	167	275	149
	Condut. Elétrica	22,46	22,55	22,51	22,52	21,63	22,53
Tempo 30 min.	pH	12,91	12,89	12,91	12,92	12,92	12,91
	Cor	178	150	157	159	189	137
	Condut. Elétrica	22,51	22,59	22,47	22,52	22,06	22,56
Tempo 40 min.	pH	12,91	12,93	12,92	12,92	12,92	12,93
	Cor	136	142	145	137	144	134
	Condut. Elétrica	22,55	22,59	22,54	22,58	22,53	22,53

**Tabela 3 – Valores dos parâmetros para o coagulante Sulfato de Alumínio**

Parâmetro		Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Tempo 10 min.	pH	12,67	12,67	12,68	12,68	12,66	12,68
	Cor	444	355	379	412	472	352
	Condut. Elétrica	22,50	21,65	21,31	21,56	21,38	21,30
Tempo 20 min.	pH	12,63	12,66	12,68	12,69	12,68	12,67
	Cor	411	133	379	389	339	493
	Condut. Elétrica	21,32	22,18	21,31	21,10	21,25	21,06
Tempo 30 min.	pH	12,69	12,69	12,70	12,66	12,68	12,68
	Cor	419	427	340	331	361	165
	Condut. Elétrica	21,26	20,96	21,20	21,21	20,97	22,23
Tempo 40 min.	pH	12,69	12,67	12,69	12,69	12,70	12,69
	Cor	471	136	380	420	352	368
	Condut. Elétrica	21,28	22,18	21,16	22,20	20,98	20,97

**Tabela 4 – Valores dos parâmetros para o coagulante Cloreto Férrico.**

Parâmetro		Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Tempo 10 min.	pH	12,66	12,62	12,65	12,67	12,63	12,63
	Cor	426	371	393	492	479	422
	Condut. Elétrica	21,50	21,40	21,87	21,74	22,00	22,00
Tempo 20 min.	pH	12,67	12,67	12,65	12,68	12,63	12,65
	Cor	410	408	353	368	404	353
	Condut. Elétrica	21,64	21,54	21,87	21,69	22,14	22,12
Tempo 30 min.	pH	12,65	12,69	12,66	12,67	12,65	12,65
	Cor	335	352	369	349	420	314
	Condut. Elétrica	21,60	21,52	21,91	21,74	22,22	21,97
Tempo 40 min.	pH	12,69	12,69	12,67	12,68	12,63	12,67
	Cor	325	398	311	401	359	392
	Condut. Elétrica	21,68	21,55	22,08	21,80	22,33	22,27

APÊNDICE B – Valores para o parâmetro Demanda Química de Oxigênio

Coagulante	Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Moringa oleífera	58,09	18,79	20,99	26,60	24,16	14,64
Tanfloc	13,42	39,29	18,55	21,72	40,51	21,72
Sulfato de Alumínio	7,69	4,88	3,90	6,71	5,73	2,68
Cloreto Férrico	6,10	7,07	29,29	17,57	18,06	15,37

APÊNDICE C – Valores para o parâmetro Série de Sólidos

	Parâmetro	Concentração 1		Concentração 2		Concentração 3	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Moringa	ST	60300	61040	55470	54820	50890	49260
	SF	38770	38910	37550	35540	33620	32920
	SV	21530	22130	17920	19280	17270	16340
Tanfloc	ST	64660	64460	47250	47510	69510	63590
	SF	41540	41280	31340	31950	45160	43080
	SV	23120	23180	15910	15560	24350	20510
Sulfato de Alumínio	ST	22780	23040	23180	22560	23660	22050
	SF	16000	15940	15240	15330	16180	16160
	SV	6780	7100	7940	7230	7480	5890
Cloreto Férrico	ST	56560	44090	45270	45140	53500	51060
	SF	37850	28310	29600	29500	35550	33980
	SV	18710	15780	15670	15640	17950	17080