

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUAN HENRIQUE GUDOSKI  
VIVIAN FERNANDA WIESENHUTTER RODRIGUES

**TRATAMENTO COMBINADO DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO  
COAGULANTE À BASE DE TANINO SEGUIDO POR DEGRADAÇÃO POR  
REATOR FOTOCATALÍTICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2017

LUAN HENRIQUE GUDOSKI  
VIVIAN FERNANDA WIESENHUTTER RODRIGUES

**TRATAMENTO COMBINADO DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO  
COAGULANTE À BASE DE TANINO SEGUIDO POR DEGRADAÇÃO POR  
REATOR FOTOCATALÍTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Ambiental da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná campus Francisco  
Beltrão como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Ticiane Sauer Pokrywiecki  
Coorientadora: Prof. Dra. Elisângela Düsman

FRANCISCO BELTRÃO  
2017



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Francisco Beltrão

Diretoria  
Coordenação de Engenharia Ambiental  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso

### **TRATAMENTO COMBINADO DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO COAGULANTE À BASE DE TANINO SEGUIDO POR DEGRADAÇÃO POR REATOR FOTOCATALÍTICO**

por

**Luan Henrique Gudoski e Vivian Fernanda Wiesenhutter Rodrigues**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 13 horas e 30 min., do dia 02 de fevereiro de 2017, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. Os candidatos foram arguidos pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. A Banca Avaliadora considerou o trabalho **APROVADO**

Banca Avaliadora:

---

**Marcelo Bortoli**

Coordenador do Curso de Engenharia  
Ambiental

---

**Ticiane Sauer Pokrywiecki**

Professora Orientadora

---

**Priscila Conceição Ribeiro**

Membro da Banca

---

**Elisangela Düsman**

Professora Coorientadora

---

**Marcelo Bortoli**

Membro da Banca

---

**Denise Andréia Szymczak**

Professora do TCC2

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer as professoras Dra Ticiane Sauer Pokrywiecki e Dra Elisângela Dusman pela dedicação, incentivo, paciência, confiança e por acreditarem em nosso trabalho, tornando a realização do mesmo possível.

Agradecemos as professoras Dra Denise Andréia Szymczak e Ma. Naimara Vieira do Prado pelo auxílio durante a realização do trabalho.

Agradecemos a indústria têxtil por disponibilizar o efluente para as análises realizadas nesse trabalho. A empresa Tanac por confiar em nosso trabalho e por disponibilizar a amostra do coagulante Tanfloc SG.

Aos técnicos laboratoristas Ronaldo, João, Sinara, Magali e Camila pelo auxílio durante as análises.

Aos bibliotecários Paulo e André pelo auxílio e incentivo durante a realização deste trabalho.

*Luan Henrique Gudoski e Vivian Fernanda Wiesenhutter Rodrigues*

Agradeço a Deus por sempre estar presente em minha vida, por me auxiliar com sua palavra nos momentos de tribulações e preocupações, auxiliando-me e abençoando-me ricamente.

Aos meu pais, Antonio e Leonita, por me darem a vida e seu amor, por sempre acreditar em mim, me apoiar e me incentivar e por me ensinar a acreditar em meus sonhos.

Aos meus avós Angelina, Alcindo (*in memorian*), Ivone (*in memorian*) e Zereno (*in memorian*), e aos demais familiares, por sempre me amar e incentivar.

Aos meus padrinhos Jorge e Adriana, Afonso e Elsa e Rosaní e Gilberto pelos seus conselhos, incentivo e amor.

Ao meu colega de trabalho Luan, por acreditar neste trabalho, pelo esforço e paciência na realização do mesmo.

Ao meu namorado Rafael Kenji, por estar ao meu lado, e me dar seu amor, amizade, incentivo, conselhos, conversas e paciência.

Agradeço a minha amiga Naara, por estar ao meu lado, por sempre me apoiar, incentivar, escutar e por seus conselhos, e principalmente, por me fazer parte de sua família.

A minha amiga de infância Ana Claudia Amaral, que mesmo de longe se fez presente em minha vida e não deixou que a distância afetasse nossa amizade, agradeço pelo carinho, conversas e conselhos.

As minhas colegas Lorrana e Alessandra, por me ajudarem nas análises deste trabalho, com seus conhecimentos e amizade.

As minhas amigas Janice, Paola, Elizete, Jacqueline e Bruna, pelos conselhos, conversas e incentivo.

Aos demais colegas e amigos que conheci ao longo do caminho, pela amizade, conversas e por de algum modo, me fazer crescer como ser humano.

*Vivian Fernanda Wiesenhütter Rodrigues*

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a inteligência, paciência e determinação para que esse momento pudesse se concretizar, trazendo a mim, minha família e amigos, felicidade por tantas conquistas.

Ao meu pai Valdir, minha mãe Soeli e minha irmã Suiana, por sempre acreditarem em meu sonho e não medirem esforços pra que ele se tornasse realidade.

A minha namorada Camila Grünwaldt, por estar presente comigo em todos os momentos, incentivando, apoiando e me ajudando em tudo que eu precisei.

Aos meus familiares que me ajudaram.

Ao minha colega de trabalho Vivian, por acreditar neste trabalho, pelo esforço e paciência na realização do mesmo.

E por fim não menos importante quero agradecer muito, todos meus amigos que de alguma forma me ajudaram, incentivaram não somente neste trabalho, mas em minha vida.

*Luan Henrique Gudoski*

*Os sonhos não determinam o lugar em que  
você vai estar, mas produzem a força  
necessária para tirá-lo do lugar em que está.*

*(Augusto Cury).*

## RESUMO

GUDOSKI, Luan H.; RODRIGUES, Vivian F. W. **TRATAMENTO COMBINADO DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO COAGULANTE À BASE DE TANINO SEGUIDO POR DEGRADAÇÃO POR REATOR FOTOCATALÍTICO.** 2016 - 2017. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2017.

A indústria têxtil destaca-se como grande consumidora de água para sua produção, gerando elevado volume de efluentes. Dentre as etapas de tratamento de efluente destacamos a coagulação/floculação, a qual utiliza-se de compostos chamados coagulantes durante seu processo. O sulfato de alumínio é um coagulante inorgânico amplamente utilizado para o tratamento de efluentes, devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade, porém, a utilização do mesmo apresenta pontos negativos como a presença de resíduos de alumínio no efluente tratado e no lodo gerado, dificultando a sua reutilização ou disposição. Em contrapartida, a possibilidade da utilização de coagulantes orgânicos, como o tanino, vem crescendo devido as suas características de biodegradabilidade e geração de lodo com propriedades que possibilitam a sua reutilização como composto ou para gerar energia. Pensando nisso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade, eficiência e viabilidade econômica do uso do coagulante orgânico tanino no tratamento de um efluente têxtil proveniente de uma indústria situada no município de Dois Vizinhos-PR, quando comparado ao sulfato de alumínio, bem como, a fotocatalise como processo avançado de tratamento. Realizou-se a caracterização físico-química do efluente e foram testadas diferentes concentrações de ambos os coagulantes a fim de comparar a eficiência de remoção e adequação dos parâmetros: demanda química de oxigênio, cor e turbidez. Além disso, foram realizadas análises econômicas e de quantificação e caracterização do lodo gerado. Realizou-se a análise de toxicidade e mutagenicidade dos efluentes (bruto, tratado com tanino, com sulfato de alumínio e o tratado pela indústria) e do lodo gerado nos testes laboratoriais, utilizando os bioindicadores *Artemia salina* L. e *Allium cepa* L. Analisou-se a eficiência do processo de tratamento avançado com reator fotocatalítico, testando o efluente bruto, o tratado com tanino e com sulfato de alumínio. Foi estipulado como concentrações ótimas para o tanino e o sulfato de alumínio 400mg/L e 100mg/L, respectivamente, sendo que ambos os coagulantes adequaram o efluente a legislação vigente, com relação aos parâmetros analisados. O tratamento com sulfato de alumínio gerou menor volume de lodo, porém o mesmo apresentou teor de alumínio cinco vezes maior quando comparado ao lodo gerado pelo tratamento com tanino. Para a *A. salina*, as amostras de todos os efluentes apresentaram toxicidade na concentração de 100%, enquanto o efluente bruto também apresentou toxicidade na concentração de 50%, sendo que na maior concentração o efluente tratado com tanino apresentou a menor toxicidade. Utilizando a *A. cepa*, as amostras de efluente não alteraram o índice mitótico das células das raízes, em contrapartida os lodos gerados dos tratamentos com sulfato de alumínio e tanino reduziram o índice mitótico durante as 24 horas de tratamento. O processo de tratamento fotocatalítico apresentou-se eficaz apenas na remoção da cor verdadeira, utilizando apenas o efluente sem pré-tratamento. De forma geral, deve-se haver maior incentivo em relação à utilização do tanino considerando suas propriedades físico-químicas e toxicológicas.

**Palavras-chave:** sulfato de alumínio; tratamento alternativo; toxicidade; lodo.

## ABSTRACT

GUDOSKI, Luan H.; RODRIGUES, Vivian F. W. **COMBINED TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT USED COAGULANT BASED ON TANIUM FOLLOWED BY DEGRADATION BY PHOTOCATALITIC REACTOR**. 2016 - 2017. 98 f. Course Completion Work (Graduation). Superior Course of Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2017.

The textile industry stands out as a major consumer of water for its production, generating a high volume of effluents. Among the effluent treatment stages we highlight coagulation / flocculation, which uses compounds called coagulants during its process. Aluminum sulphate is an inorganic coagulant widely used for the treatment of effluents, due to its low cost and high availability, however, its use presents negative points such as the presence of aluminum residues in the treated effluent and in the generated sludge, making it difficult Reuse or disposal. On the other hand, the possibility of using organic coagulants, such as tannin, has been increasing due to its biodegradability and the generation of sludge with properties that allow its reuse as a compound or to generate energy. The objective of this study was to evaluate the applicability, efficiency and economic viability of the use of organic coagulant tannin in the treatment of a textile effluent from an industry located in the municipality of Dois Vizinhos-PR, when compared to aluminum sulfate Such as photocatalysis as an advanced treatment process. The physical-chemical characterization of the effluent was carried out and different concentrations of both coagulants were tested in order to compare the removal efficiency and the suitability of the parameters: chemical oxygen demand, color and turbidity. In addition, economic analyzes and quantification and characterization of the sludge generated were carried out. The toxicity and mutagenicity analysis of the effluent (crude, treated with tannin, aluminum sulphate and treated by the industry) and the sludge generated in the laboratory tests using the bioindicators *Artemia salina* L. and *Allium cepa* L. were analyzed. The efficiency of the advanced treatment process with photocatalytic reactor was tested by testing the crude effluent, treated with tannin and aluminum sulphate. The optimum concentrations for tannin and aluminum sulphate of 400mg / L and 100mg / L, respectively, were stipulated, and both coagulants adapted the effluent to the current legislation, in relation to the parameters analyzed. The treatment with aluminum sulphate generated a smaller volume of sludge, but it presented aluminum content five times higher when compared to the sludge generated by the treatment with tannin. For the *A. salina*, the samples of all the effluents showed 100% toxicity, while the crude effluent also showed 50% toxicity, and in the highest concentration the effluent treated with tannin had the lowest toxicity. Using the *A.* strain, the effluent samples did not alter the mitotic index of the root cells, in contrast the sludge generated from the treatments with aluminum sulphate and tannin reduced the mitotic index during the 24 hours of treatment. The photocatalytic treatment process was effective only at the removal of the true color, using only the effluent without pretreatment. In general, there should be greater incentive regarding the use of tannin considering its physico-chemical and toxicological properties.

**Key words:** Aluminum sulfate; Alternative treatment; Toxicity; Sludge.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Polímero Orgânico Catiônico Tanfloc produzido através da extração do tanino da Acácia Negra. Fonte: Mangrich et al. (2014). .....	26
Figura 2 - Esquema de uma partícula semicondutora. Fonte: Nogueira; Jardim (1998).....	32
Figura 3 - Reator Filme fino fixo. Fonte: Lima et al. (2000) .....	32
Figura 4 - Esquema de funcionamento do reator fotocatalítico.....	40
Figura 5 - Cor aparente relacionando a maior absorbância ao comprimento de onda do efluente A .....	43
Figura 6 - Cor verdadeira relacionando a maior absorbância ao comprimento de onda do efluente A .....	43
Figura 7 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro DQO .....	49
Figura 8 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro turbidez .....	49
Figura 9 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro cor verdadeira .....	50
Figura 10 - Porcentagem de remoção após coagulação/floculação com o composto sulfato de alumínio .....	50
Figura 11 - Determinação da dosagem ótima para o tanino no parâmetro DQO .....	52
Figura 12 - Determinação da dosagem ótima para o tanino no parâmetro cor verdadeira .....	53
Figura 13 - Porcentagem de remoção após coagulação/floculação com o composto tanino .....	53
Figura 14 - Porcentagens de remoção das concentrações ótimas.....	55
Figura 15 - Percentual de organismos mortos após 24 horas de exposição aos efluentes têxtil bruto, tratado pela indústria, após tratamento com sulfato de alumínio, após tratamento com tanino, controle positivo (Co+) e negativo (Co-). Percentual de organismos.....	64
Figura 16 - Percentuais médios dos índices mitóticos (IM%) dos grupos controle negativo (Co-) e positivo (Co+) e tratados com as amostras do efluente A (P1), efluente tratado pela indústria (P2), efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), efluente após tratamento com tanino (P4), lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6). .....	69
Figura 17 - Percentuais médios dos anormalidades cromossômicas (AC) dos grupos controle negativo (CO-) e positivo (CO+) e tratados com as amostras do efluente A (P1), efluente tratado pela indústria (P2), efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), efluente após tratamento com tanino (P4), lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6). .....	71
Figura 18 - Comportamento da DQO em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico .....	73

Figura 19 - Comportamento da turbidez em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico .....	73
Figura 20 - Comportamento da cor verdadeira em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características do sulfato de alumínio.....	23
Tabela 2 – Características dos processos durante a análise com jar-test.....	37
Tabela 3- Caracterização do efluente A e após tratamento biológico aeróbio .....	41
Tabela 4 - Teste estatístico aplicado à porcentagem de remoção para o composto sulfato de alumínio .....	51
Tabela 5 - Teste estatístico aplicado à porcentagem de remoção para o composto tanino .....	54
Tabela 6 - Teste estatístico entre as porcentagens de remoção das concentrações ótimas de coagulante .....	56
Tabela 7- Custo de operação para cada concentração ótima .....	57
Tabela 8 - Custo de operação com concentração de 100 mg/L para ambos os coagulantes.....	57
Tabela 9 - Valores obtidos através do tratamento do efluente A e limites de lançamento.....	59
Tabela 10 - Concentração de alumínio presente no efluente A e nos tratados .....	60
Tabela 11 - Resultado do teste de Tukey com os dados de percentual de mortalidade dos grupos tratados por 24 horas com os efluentes têxtil bruto, tratado pela indústria, após tratamento com sulfato de alumínio, após tratamento com tanino, controle positivo (Co+) e negativo (Co-). .....	65
Tabela 12 - Tipos, números, total e percentual de alterações obtidas para o grupo controle negativo (Co-) e positivo (Co+) e os grupos tratados com as amostras do efluente A (P1), efluente tratado pela indústria (P2), efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), efluente após tratamento com tanino (P4), lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6). .....	70
Tabela 13 - Caracterização nova do efluente B para análises de alumínio em lodo e reator fotocatalítico.....	72
Tabela 14 - Porcentagens de remoção e pH das amostras após passar pelo reator fotocatalítico .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FTU	Unidade de Turbidez Formazina
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titânio
uC	Unidades de cor
uH	Unidades Hazen

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ABDI	Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Anomalias cromossômicas
APHA	American Public Health Association
ANOVA	Análise de variância
CEMA	Concelho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COPAM	Conselho estadual de Política Ambiental
DAFA	Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
IEMI	Inteligência de Mercado
IM	Índice mitótico
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
PAC	Policloreto de Alumínio
PAS	Polisulfato de Alumínio
PAFC	Policloreto de Alumínio Férrico
PFC	Policloreto Férrico
POA	Processos Oxidativos Avançados
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINVEPAR	Sindicato das Indústrias de Vestuário
POA	Processos Oxidativos Avançados

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1. SETOR TÊXTIL .....	18
3.2. EFLUENTE TÊXTIL .....	19
3.3. TRATAMENTO CONVENCIONAL DO EFLUENTE .....	19
3.4. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	21
3.4.1. Coagulantes inorgânicos .....	22
3.4.2. Coagulantes orgânicos .....	24
3.5. LODO .....	27
3.6. TOXICIDADE .....	29
3.7. TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTE .....	31
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1. COLETA DE AMOSTRA .....	33
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	34
4.2.1. pH e Temperatura .....	34
4.2.2. Cor .....	34
4.2.3. Turbidez .....	34
4.2.4. Demanda Química de Oxigênio .....	35
4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio .....	35
4.2.6. Sólidos Totais .....	35
4.2.7. Sólidos Suspensos .....	35
4.2.8. Sólidos Dissolvidos .....	36
4.2.9. Oxigênio Dissolvido .....	36
4.2.10 Determinação de Alumínio .....	36
4.3. Teste Estatístico .....	36
4.4. ENSAIO DE COAGULAÇÃO .....	37
4.5. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO .....	37
4.5.1. Quantificação de sólidos sedimentáveis .....	37
4.6. TOXICIDADE .....	38
4.6.1. Teste de imobilidade/mortalidade com <i>Artemia salina</i> L. ....	38
4.6.2. Teste de citotoxicidade e mutagenicidade com <i>Allium cepa</i> L. ....	38
4.7. REAÇÕES FOTOCATALÍTICAS .....	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>39</b>

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	41
5.1.1 pH e Temperatura .....	42
5.1.2 Cor.....	43
5.1.3 Turbidez .....	44
5.1.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	45
5.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) .....	46
5.1.6. Sólidos.....	46
5.1.7. Oxigênio Dissolvido.....	47
5.2. TRATAMENTO DO EFLUENTE.....	48
5.2.1. Coagulação/Floculação utilizando o composto sulfato de alumínio .....	49
5.2.2. Coagulação/Floculação utilizando o composto tanino.....	52
5.2.3. Comparação entre os coagulantes.....	55
5.3. Determinação de Alumínio .....	59
5.4. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO.....	61
5.5. TOXICIDADE .....	63
5.5.1. Teste de imobilidade/mortalidade com <i>Artemia salina</i> L. ....	64
5.5.2. Teste de citotoxicidade e mutagenicidade com <i>Allium cepa</i> L. ....	66
5.6. REAÇÕES FOTOCATALÍTICAS.....	72
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO I – LAUDO LABORATORIAL DBO E OD DO EFLUENTE A.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO II – LAUDO LABORATORIAL DBO E OD DO EFLUENTE BIOLOGICAMENTE TRATADO .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO III – LAUDO LABORATORIAL, DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO EFLUENTE TRATADO COM TANINO.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO IV – LAUDO LABORATORIAL, DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO EFLUENTE TRATADO COM SULFATO DE ALUMINO .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO V – LAUDO LABORATORIAL, DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO EFLUENTE BRUTO.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO VI – LAUDO LABORATORIAL, DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO LODO TRATADO COM TANINO .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO VII – LAUDO LABORATORIAL, DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO NO LODO TRATADO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....</b>	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento populacional influencia diretamente no consumo de produtos, quanto maior a demanda, maior a produção das empresas. Com o aumento da procura por produtos, surgem novas indústrias ou aquelas que já existiam, expandem sua produção, e além de utilizarem recursos hídricos para sua produção, geram efluentes que são devolvidos ao corpo hídrico com ou sem tratamento adequado.

Diante dessa problemática, em que algumas indústrias poluem e contaminam o corpo hídrico lançando efluentes sem o devido tratamento, foram criadas leis que estabelecem condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos como, por exemplo, no Brasil a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011).

O corpo hídrico apresenta múltiplos usos, sendo que a água pode ser utilizada de diversas formas, como abastecimento, recebimento de efluentes, irrigação, abastecimento industrial, dessedentação de animais entre outros. Sendo assim, o mesmo manancial que recebe os efluentes tratados pela indústria também pode ser utilizado para a captação de água para abastecimento, nesse sentido, o lançamento de efluentes ou qualquer outro tipo de descarte deve atender os diversos critérios em relação à qualidade desse corpo hídrico (VON SPERLING, 2005).

Dentre as indústrias que se utilizam da água para sua produção destaca-se a do setor têxtil. O qual foi de fundamental importância na revolução industrial tendo quase 200 anos de mercado no Brasil, também é a segunda maior empregadora na indústria de transformação, gerando 1,7 milhão de empregos diretos (ABIT, 2014).

A indústria têxtil utiliza em média 150 litros de água para a produção de um quilo de tecido, desse total 88% é descartado como efluente líquido (LEÃO, 2002). Essa água utilizada na produção vem diretamente de corpos hídricos, mananciais subterrâneos e em alguns casos do reúso da água da chuva, entretanto o seu destino é quase em sua totalidade o mesmo, o corpo hídrico.

O tratamento dos efluentes oriundos das indústrias têxteis pode variar muito de acordo com os processos empregados na fabricação, a matéria prima utilizada e



qual produto final que se deseja obter. Primeiramente deve-se obter a caracterização do efluente a ser tratado, podendo assim, dimensionar a estação de tratamento de efluentes (ETE) e identificar qual o tratamento poderá ser utilizado para melhor remoção de poluentes, e assim, adequar-se as normas vigentes.

Os principais tratamentos utilizados na indústria têxtil, como nas lavanderias e tinturarias, é de forma combinada com processos físico-químicos e biológicos (ALMEIDA et al., 2004). E ainda, em alguns casos, os processos oxidativos avançados (KUNZ et al., 2002).

Estudos apontam que os processos convencionais apresentam-se eficientes na adequação dos parâmetros de lançamento de efluente, a legislação vigente. Por outro lado, os processos físico-químicos deixam a desejar em alguns aspectos, como resíduos suspensos no meio, um elevado volume de lodo, acarretando problemas na disposição final e impossibilitando qualquer tipo de reaproveitamento (KUNZ et al., 2002).

Considerando os problemas relacionados ao uso do sulfato de alumínio, como a produção de grande volume de lodo, que apresenta alto teor de alumínio, dificultando sua disposição final, a presença de resíduos de alumínio no efluente tratado que será encaminhado ao corpo hídrico, entre outros, este projeto aborda a substituição desse coagulante pela utilização de um coagulante orgânico a base de tanino, que é extraído da casca da acácia-negra, que podem apresentar propriedades de coagulação tão boas ou até melhores que os coagulantes inorgânicos. Além disso, o estudo objetiva avaliar o tratamento do efluente, após a utilização do novo coagulante, com o processo fotocatalítico utilizando reator solar.

Os testes de toxicidade para Costa et al. (2008), são ferramentas importantes, capazes de avaliar a qualidade da água e a carga poluidora de efluentes, identificando substâncias tóxicas que podem comprometer os sistemas biológicos, apresentando riscos ambientais, enquanto as análises físico-químicas não conseguem identificar tais substâncias. A possibilidade das amostras tratadas com os diferentes coagulantes apresentarem algum tipo de toxicidade aos organismos vivos será analisada através de testes de toxicidade.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade, eficiência e viabilidade econômica do uso de coagulante orgânico tanino no tratamento de efluente proveniente de uma indústria têxtil, quando comparado ao sulfato de alumínio, bem como, a fotocatalise como processo avançado de tratamento.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização do efluente bruto;
- Definir a melhor dosagem dos coagulantes tanino e de sulfato de alumínio para o tratamento de efluente têxtil;
- Analisar quantitativa e qualitativamente o lodo gerado após a coagulação com o tanino e o sulfato de alumínio;
- Avaliar a toxicidade e a mutagenicidade dos efluentes líquidos e dos lodos gerados após o processo de coagulação com o tanino e o sulfato de alumínio;
- Comparar as características físico-químicas do efluente após a utilização do tanino e do sulfato de alumínio como coagulantes;
- Investigar a eficiência de reator fotocatalítico após o tratamento físico-químico com os diferentes coagulantes;
- Comparar o tratamento biológico aeróbio utilizado na indústria com o tratamento proposto.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. SETOR TÊXTIL

A cadeia produtiva têxtil destaca-se pelas suas diversas estruturas, onde pequenos negócios familiares sobrevivem em meio a grandes empresas que possuem um alto valor de capital para ser investido em máquinas e processos (ABDI, 2008). Por outro lado, os negócios familiares fazem seu produto de maneira semi-artesanal, e há um leque enorme de produtos, que vão desde decoração até vestuário. Produtos com destaque pela sua variedade devido principalmente a cultura e religião, e poder aquisitivo (ABDI, 2008).

O processo produtivo da indústria têxtil engloba desde a produção de fibras têxteis até o produto final, sendo suas principais etapas a fiação, tecelagem, malharia e beneficiamento (ABDI, 2008).

Esse setor em conjunto com o de confecção movimentou, em 2012, cerca de 744 bilhões de dólares em transações entre países. O Brasil é a quinta maior indústria têxtil e a quarta de confecção, o continente asiático lidera este setor, destacando-se a China como maior produtor têxtil do mundo (ABIT, 2014).

Em 2014, a cadeia têxtil produziu cerca de 126 bilhões de reais, o que equivale a 5,6% do valor total produzido pela indústria de transformação brasileira. Gerando em torno de 1,6 milhões de postos de emprego, o equivalente a 16,95% dos trabalhadores alocados na produção industrial, demonstrando sua importância para a economia e sociedade (IEMI, 2015).

No Brasil, a região sudeste é a principal região produtora têxtil do país, porém o Sul, Centro-oeste e Nordeste vêm se destacando nesse setor (ABDI, 2014). O Paraná, em 2012, possuía a quinta maior indústria têxtil do país, ocupando o 13º lugar em número de trabalhadores de todas as indústrias de transformação (Fiep-PR, 2012).

Na região sudoeste do Paraná, o setor têxtil ganha destaque como sendo um dos segmentos industriais que mais cresce, apresentando sua organização bem consolidada, sendo representado pelo Sindicato das Indústrias de Vestuário (SINVEPAR) desde 1992, formado pelas empresas de confecção da região, que

em parceria com o SEBRAI e SENAI desenvolve ações para o crescimento do setor (SAQUET, 2008).

### 3.2. EFLUENTE TÊXTIL

Dentre as diversas atividades desenvolvidas pelo homem, destacam-se as que utilizam água, principalmente aquelas com geração de bens de consumo. Como consequência da utilização de água, há geração de efluentes líquidos. As indústrias são grandes consumidoras de água, mas a sua utilização e características dependem do processo em que ela é empregada e do produto gerado (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A indústria têxtil é grande consumidora de água, chegando a utilizar 15% de toda a água consumida pelo setor industrial (TOLEDO, 2004), conseqüentemente, são grandes geradoras de efluente. Estima-se que sejam utilizados 150 litros de água para produzir um quilo de tecido, deste montante, 88% é descartado como efluente líquido e os 12 % restantes são perdidos por evaporação e outras perdas (LEÃO, 2002).

Vale ressaltar que a quantidade de água e a vazão das águas residuárias da indústria dependem de vários fatores como tipo e porte da indústria, processos, adoção de praticas de conservação, entre outros (VON SPERLING, 2005).

As características dos efluentes têxteis variam muito dependendo da tipologia da indústria, do produto final, da matéria-prima e dos processos empregados. De modo geral, os efluentes têxteis apresentam em sua composição sólidos suspensos, advindos das fibras e da lavagem das peças, e compostos químicos utilizados no beneficiamento têxtil, que não se fixaram na fibra.

### 3.3. TRATAMENTO CONVENCIONAL DO EFLUENTE

Uma unidade de tratamento ou estação de tratamento de efluente (ETE) tem como objetivo tratar o efluente gerado por uma ou mais indústrias e deverá

promover a remoção dos poluentes presentes no efluente, adequando-os a legislação vigente (LEME, 2014).

O projeto e operação de uma ETE requer o entendimento das operações unitárias que são utilizadas para a remoção dos constituintes poluidores (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012). A escolha e montagem dos processos que serão utilizados requer a execução de quatro tarefas: identificar as características do efluente a ser tratado, os objetivos do tratamento, integrar as operações unitárias em um processo completo, considerando a adequação do efluente e integrar conceitos de engenharia, buscando ultrapassar os padrões requeridos de tratamento e a melhoria ambiental (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012). Von Sperling (2005), determina que a escolha dos processos utilizados para o tratamento do efluente depende da definição de alguns aspectos, tais como: impactos ambientais do lançamento no corpo receptor, objetivos do tratamento, nível do tratamento e eficiência de remoção desejada.

Dependendo das condições do corpo receptor e da eficiência dos processos podemos classificar o tratamento de águas residuárias em diferentes níveis ou fases, são elas o tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário ou avançado (VON SPERLING, 2005; MIHELICIC; ZIMMERMAN, 20012; NUNES, 2012).

O tratamento preliminar prepara a água residuária para a continuação do tratamento e objetiva a remoção dos sólidos grosseiros, flutuantes ou matéria mineral sedimentável. Nessa etapa são utilizados mecanismos físicos para o tratamento, onde os principais processos utilizados são o gradeamento, peneiramento e desarenadores ou caixas de areia (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012; NUNES, 2012).

O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e por consequência uma parte da matéria orgânica em suspensão através da sedimentação. Assim como no tratamento preliminar, o tratamento primário utiliza-se de mecanismos físicos. Os principais processos são decantadores, reatores anaeróbios com baixa eficiência, flotação, neutralização e precipitação química com baixa eficiência. As lagoas anaeróbias únicas e a precipitação química também são consideradas tratamentos primários (NUNES, 2012).

No tratamento secundário há o predomínio de mecanismos biológicos que são utilizados com o objetivo de remoção de matéria orgânica e eventuais nutrientes

(SPERLING, 2005). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e os sólidos inorgânicos são removidos quase que totalmente. Os processos mais utilizados são as lagoas de estabilização, os processos com lodos ativados, reatores anaeróbios com alta eficiência, lagoas aeradas e filtros biológicos. Os reatores anaeróbios, através de digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), e a precipitação química com elevação de pH também são considerados tratamentos secundários (NUNES, 2012).

O tratamento terciário ou avançado é utilizado quando se objetiva obter um efluente de alta qualidade e destina-se a remoção de poluentes específicos, usualmente tóxicos ou não-biodegradáveis, ou ainda poluentes não suficientemente removidos nos tratamentos anteriores (SPERLING, 2005). Os tratamentos terciários são troca iônica, adsorção em carvão ativado, eletrodiálise, osmose reversa, filtros de areia, remoção de nutrientes e patógenos e oxidação química (NUNES, 2012).

É fundamental que os tratamentos sejam eficientes, pois o sucesso do tratamento posterior depende das etapas anteriores, como é o caso do tratamento secundário, que na maioria das vezes depende de um bom tratamento primário para que atinja uma boa eficiência (DEZOTTI, 2008).

Os processos físico-químicos são recomendados para a remoção de poluentes inorgânicos, óleos e graxas, metais pesados, cor, sólidos em suspensão, sedimentáveis ou dissolvidos e matéria orgânica não biodegradável. Para a remoção de sólidos voláteis indica-se tratamentos biológicos e para os sólidos fixos dissolvidos são indicados tratamentos avançados (NUNES, 2012).

### 3.4. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Nos tratamentos físico-químicos, os processos de coagulação e floculação são os métodos mais utilizados para a remoção de partículas e uma parte da matéria orgânica dissolvida (MIHELIC; ZIMMERMAN, 2012). O processo de coagulação objetiva a neutralização das cargas elétricas das partículas em suspensão, e o processo de floculação, após a coagulação, promove o contato dessas partículas desestabilizadas e a formação de blocos a partir da junção das mesmas (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A coagulação é resultado de dois fenômenos, o primeiro, fundamentalmente químico, acontece nas reações do coagulante utilizado, normalmente sais de

alumínio ou de ferro, com o meio formando espécies hidrolisadas de carga positiva. O segundo fenômeno é essencialmente físico e consiste no transporte dessas partículas hidrolisadas para que haja o contato das substâncias presentes no meio, que pretende-se remover (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A superfície das partículas em suspensão apresenta uma carga, que contribui para sua estabilidade, as partículas mais estáveis tendem a ficar em suspensão. A carga da superfície faz com que as partículas sejam repelidas ou atraídas entre si, como as partículas apresentam cargas similares, em sua maioria negativas, as mesmas tendem a se repelir e não flocular naturalmente (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Os coagulantes são adicionados ao líquido que será tratado para desestabilizar as partículas. Ao adicionar o coagulante, as forças repulsivas são reduzidas, possibilitando o agrupamento das partículas, podendo ocorrer floculação rapidamente (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

A floculação consiste na colisão e agregação das partículas desestabilizadas, formando partículas maiores conhecidas como flocos, que serão separados do líquido nas etapas subsequentes de sedimentação e decantação (MIERZWA; HESPANHOL, 2005; MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

#### 3.4.1. Coagulantes inorgânicos

A utilização de coagulantes químicos geralmente no processo de coagulação/floculação em que ocorre a maior remoção de metais pesados no tratamento de efluentes (VAZ, 2010). Tendo como principal objetivo minimizar custos ou o emprego de outros tipos de tratamento ao longo do processo.

A coagulação é um fenômeno complexo e para determinar o quanto essa operação será eficaz em um processo de tratamento de efluente, água ou esgoto, deve-se levar em consideração um leque de parâmetros que caracterizam o efluente que será tratado, como DQO, DBO, cor, turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, óleos e graxas, fósforo, nitrogênio e oxigênio dissolvido.

Segundo Verma et al. (2011) na descoloração da água residual têxtil, os coagulantes químicos podem ser classificados em três grupos, os que realizam hidrólise, os que realizam pré-hidrólise e os polímeros sintéticos catiônicos. O grupo que realiza hidrólise é composto pelos sais metálicos cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), sulfato

férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ) e alumínio. O grupo que realiza pré-hidrólise, é composto pelos sais metálicos policloreto de alumínio (PAC), policloreto férrico (PFC), polissulfato férrico (PFS), policloreto de alumínio férrico (PAFC) e polisulfato de alumínio (PAS). O terceiro grupo são os polímeros sintéticos catiônicos composto por Aminometil Poliacrilamida, Polialquileno, Poliamina, Polietilenimina, Poli dialil dimetil amônio e Cloreto de Dialil Dimetil Amônio.

O sulfato de alumínio ( $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3$ ) é um coagulante inorgânico amplamente utilizado pelas indústrias para o tratamento de efluente (CAVALCANTI, 2007; JUNIOR; BARROS; PERREIRA, 2012). As características do sulfato de alumínio são apresentadas na tabela abaixo (Tabela 1).

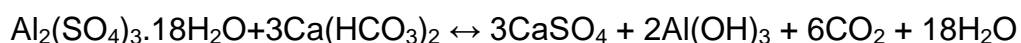
Tabela 1 – Características do sulfato de alumínio. NUNES, 2012.

Coagulante	Sulfato de alumínio
Nome comercial	Alumén
solubilidade	688 g/L de água
Temperatura	20 °C
massa molecular	666,4 g
peso específico	0,95 a 1,2 t/m <sup>3</sup>
Formas encontradas	Líquido em solução e sólido

Devido ao seu procedimento de fabricação, seu baixo custo e disponibilidade em quase todas as regiões do país, é amplamente utilizado na coagulação para o tratamento de água de abastecimento e utilizado em altas concentrações para o tratamento de efluentes industriais (LIBANIO, 2010; NUNES, 2012).

Segundo Nunes (2012), o pH ótimo de coagulação para esse precipitante químico se encontra entre cinco e oito, acima ou abaixo disso o alumínio permanece na forma solúvel na água ou efluente que será tratado. Cavalcanti (2007) aborda que quando o alumínio é adicionado a um efluente que contém alguma alcalinidade, em termos de cálcio ou magnésio, o hidróxido de alumínio é formado e tem como característica um floco gelatinoso e insolúvel que arrasta lentamente o material coloidal e em suspensão no processo de sedimentação, pelo processo de reação:





O coagulante inorgânico atua na decantação, quando não reage como coagulante, geralmente decanta-se na forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (BRITO et al., 2012). Assim, pode permanecer no efluente tratado e no lodo gerado após o tratamento, podendo acarretar riscos à saúde da população e ao meio ambiente. Diante de estudos realizados por Ferreira et al. (2008), inúmeros trabalhos apontam que o alumínio está relacionado a doenças mentais e com grande risco para o desenvolvimento da Alzheimer.

### 3.4.2. Coagulantes orgânicos

A possibilidade da utilização de coagulantes orgânicos vem crescendo no que se diz respeito ao tratamento de águas para abastecimento e efluentes industriais, podendo ser extraído de diversas fontes, como exemplo o tanino que é extraído da *Acacia mearnsii* (MANGRICH et al. 2014).

Verma, Dash, Bhunia, (2012) classifica as fontes de coagulantes naturais em três grupos, os coagulantes à base de plantas: Goma guar, Goma arabic e tanino, a base de sementes: *Moringa oleifera*, Cactos e Nirmali, os coagulantes à base de animais: os microcrustáceos Chitosan, e a base de microorganismos, a goma xantana.

Os coagulantes orgânicos apresentam como principais vantagens, em relação aos coagulantes inorgânicos: a biodegradabilidade, por ser um composto orgânico, o lodo e o efluente tratado apresentam, em sua composição, menos compostos que possam produzir impacto ambiental se disposto da maneira incorreta, e apresenta menores riscos a saúde pública (KAWAMURA,1991; CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009; VERMA; DASH; BHUNIA, 2012; SKORONSKI et al., 2014).

Por serem biodegradáveis, os coagulantes orgânicos pode ser destruídos durante o tratamento, o que resulta na produção de uma maior quantidade nutrientes e favorece o crescimento de microorganismos, fator que pode ser benéfico ao tratamento de efluentes, mas, limitante na utilização para o tratamento de água para abastecimento (CASTRO-SILVA et al., 2004).

Além das vantagens sobre a biodegradabilidade, Kawamura (1991) aborda uma ampla variedade de concentrações dos coagulantes naturais para remoção de

varias suspensões coloidais, apresentando também características não tóxicas, menor quantidade de lodo gerado em relação a coagulante inorgânicos e o preço baixo.

Visando o alto rendimento do processo de coagulação, devido ao seu elevado peso molecular e sua estrutura longa, oferecendo vários sítios de absorção, os polímeros de origem natural podem ser recomendados dependendo das características do efluente (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Miller (2008) apresenta dois mecanismos de coagulação de compostos orgânicos, absorção e neutralização da carga e absorção e formação de ponte, onde a primeira ocorre à desestabilização das partículas por meio de adsorção das partículas e conseqüentemente a sua neutralização pelos íons com cargas opostas, já na formação de pontes é formada uma cadeia de polímeros que podem adsorver as partículas suspensas no efluente.

O tanino tem um valor econômico e industrial muito importante, oriundo de várias fontes como árvores e arbustos, têm como exemplo espécies ricas em tanino, a acácia negra ou casca de mimosa negra (*Acácia mearnsii*). Sendo uma espécie originária da Austrália e cultivada apenas no estado do Rio Grande do Sul (MANDRISH et al., 2014; JUNIOR et al., 2012). Introduzida no estado em 1918, e comercializado a partir de 1930 (JUNIOR et al., 2012). O tanino possui capacidade de complexar proteínas e também outras macromoléculas e minerais, pois são moléculas fenólicas encontradas na forma de oligômeros, polímeros e monômeros (CASTRO-SILVA et al., 2004).

Os taninos possuem duas estruturas, na forma de taninos condensados e taninos hidrolisáveis. Na primeira estrutura são constituídos mais de 90% da produção mundial comercial devido a sua elevada reatividade relacionada aos aldeídos e outros reagentes para a preparação de resinas, adesivos e curtimento de couro. A sua segunda estrutura é bem menos utilizada, pois a sua natureza polimérica pode formar estruturas complexas e difícil utilização (BELGACEM, GANDINI 2008).

As variedades dos usos do tanino como, por exemplo, na indústria de bebidas, aplicações médicas e farmacêuticas, agentes de coagulação e flotação, manufatura de couros, adesivos para madeiras, entre outros vários usos, e tem suas maiores produções no Brasil, África do Sul, Índia, Zimbábue, Tanzânia, Argentina e vários outros países (BELGACEM, GANDINI 2008).

Os taninos atuam na floculação e podem também ser utilizados auxiliando a coagulação, reduzindo a concentração de sais, de alumínio ou de ferro, ou até mesmo os substituindo (MARTINI, 2013; MANGRICH et al., 2014). São atuantes nos sistemas coloidais neutralizando cargas e formando pontes entre partículas, utilizado em ampla faixa de pH, sendo que uma das suas principais propriedades é que ele não consome a alcalinidade do meio e, conseqüentemente, não o altera (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

O tanino serve de base para a produção de coagulante (Figura 1), tendo como princípio o tanino condensado reagindo com cloreto de imínio, formando assim um polímero orgânico catiônico, sendo que essa produção é realizada pela empresa TANAC (MANGRICH et al., 2014).

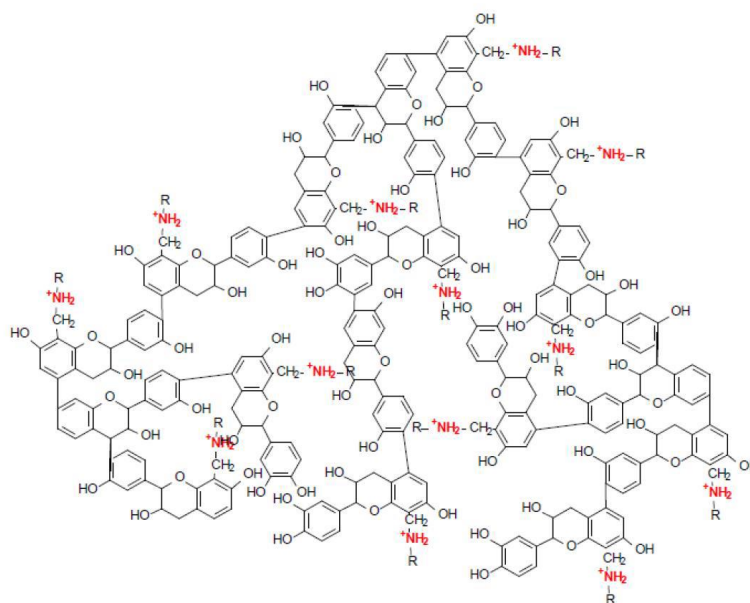


Figura 1 - Polímero Orgânico Catiônico Tanfloc produzido através da extração do tanino da Acácia Negra. Fonte: Mangrich et al. (2014).

A substituição dos compostos inorgânicos por compostos orgânicos gera resíduos menos tóxicos, os flocos formados após a floculação e removidos do sistema podem ser utilizados na produção de energia elétrica por combustão e até mesmo na produção de fertilizantes para o solo (MANGRICH, 2014).

Os preceitos de Mangrich et al. (2014) vão de encontro a alguns dos doze princípios da química verde descritos por Lenardão et al. (2003), podendo ser citados os princípios de prevenção, a síntese de produtos e o desenho de produtos seguros e o princípio da preservação, que descreve a não produção de resíduos

tóxicos evitando que eles precisem ser tratados. A síntese de produtos menos perigosos, relaciona-se com a não utilização do sulfato de alumínio, e ao fato de diminuir a toxicidade por parte dos resíduos deixados no efluente por ele na solução final. O desenho de produtos seguros relaciona-se ao tanino ser um produto orgânico de origem natural, sua utilização não é tóxica, podendo até ser utilizada em alimentos e remédios e desenho para a degradação, e sendo um produto orgânico, não há restrições de disposição, pois são biodegradáveis.

### 3.5. LODO

O lodo é o material que sedimenta e é removido no fundo de decantadores ou em alguns casos pode ser removido na superfície do líquido quando o material tem a característica de flotar. Pode ser descritos da seguinte forma, lodo primário geralmente constituído de sólidos em suspensão que decantam, lodo secundário são lodos removidos de decantadores situados após reatores biológicos, lodo químico são aqueles oriundos de processos físico-químicos e o lodo biológico que é proveniente de tratamentos biológicos do efluente (NUNES, 2012).

O volume de lodo é dobrado na adição de coagulantes do que na sedimentação simples, devido à formação de novos compostos pelas reações químicas que acontecem e a quantidade de sólidos removidos do efluente ser maior (IMHOFF, IMHOFF 1986).

O lodo que é removido dos sistemas de adensamento ou de decantadores deverá ser desaguado em um sistema de desidratação, que varia de acordo com o tipo de lodo a ser desidratado e, pode ser natural ou mecânico.

A desidratação do lodo deve ser realizada visando à redução de seu volume para o devido acondicionamento final. A capacidade de desidratação do mesmo é relacionada ao tipo de sólido e qual tipo de ligação está sendo feita entre as partículas. Busca-se através da desidratação, a redução de custos de transporte para a destinação final, melhorias na hora do manuseio do lodo, poder calorífico alto devido à remoção da umidade e a redução do volume para disposição em aterro sanitário ou industrial (GONÇALVES et al., 2001).

Os processos de desidratação classificam-se em naturais e mecânicos, dentre esses, Gonçalves et al. (2001) cita os leitos de secagem, lagoas de lodo,

centrífugas, prensas desaguadoras e filtros-prensa. Nunes (2012) acrescenta o filtro a vácuo e o landfarming.

Após o processo de desidratação do lodo, ele passa a ser considerado um resíduo sólido, que deve ser disposto de maneira adequada devida sua classificação.

Tem-se como principal referência no Brasil a ABNT - NBR 10004 (2004), a qual aborda que resíduos nos estados sólidos ou semi-sólidos tendo origem em atividade industrial são definidos como resíduos sólidos. O lodo proveniente de estações de tratamento de efluentes enquadra-se nesse parâmetro, devendo assim, seguir as normas ditas nessa NBR.

Alguns resíduos oriundos de sistemas de tratamento de efluentes são: material gradeado, como sólidos grosseiros retirados em grades ou peneiras, espuma que é separada em decantadores primários e secundários, lodos químicos, resíduos de processos de troca iônica (CAVALCANTI, 2009).

Segundo a NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos devem ser classificados seguindo por etapas tendo em vista todos os processos das indústrias, começando pela identificação de processos que deram origem ao resíduo, constituição e característica do mesmo e quanto ao impacto a saúde e ao meio ambiente.

Devido ao seu enquadramento, a fonte geradora deve informar qual a característica do resíduo de acordo com a NBR 10004 (2004) que os classifica como:

- Resíduos de classe I – Perigosos, são aqueles resíduos que contem uma periculosidade devido as suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que trazem risco a saúde pública, acentuando índices de mortalidade e doenças e riscos ao meio ambiente quando tratada de maneira inadequada, ou classificada como inflamável, corrosível, reativa, tóxica ou patogênica.
- Resíduos de classe II A – Não inertes, são aqueles que se enquadra em propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solúveis em água, e ainda todos aqueles resíduos que não estão enquadrados na Classe I – Perigosos ou Classe II B – Inertes, sendo esse ultimo qualquer resíduo em temperatura ambiente submetido a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, conforme a ABNT NBR 10006 (2004) - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, e aos procedimentos de amostragem de acordo com a ABNT NBR 10007 (2004) - Amostragem de resíduos sólidos. Não sofrendo

nenhuma alteração, não sofrendo nenhuma solubilização este resíduo é classificado como inerte.

Aqueles resíduos sólidos não perigosos originados da desidratação do lodo oriundos de sistemas de tratamento podem ser dispostos no ambiente da seguinte maneira: lançamento ao mar com a devida autorização dos órgãos competentes, compostagem, aterros sanitários, incinerados e através do método de landfarming. Já aqueles lodos desidratados de indústrias que realizam o tratamento juntamente com esgoto sanitário que são dispostos no solo devem ter cuidado com a presença de ovos de áscaris, não utilizar o lodo cru, e não utilizarem em hortas. A destinação dos lodos perigosos devem ser em aterros industriais, incinerados e após suas cinzas devem ser encaminhadas para o aterro industrial, encapsulamento, quando podem ser biodegradadas a utilização do landfarming e a queima em fornos de cimento e a incorporação da cinza ao clínquer (NUNES, 2012).

### 3.6. TOXICIDADE

Segundo Oga, Camargo e Batistuzzo (2008), a ecotoxicidade é a caracterização, entendimento e prognóstico dos efeitos deletérios de substâncias ou produtos químicos oriundos de atividades antrópicas sobre o meio ambiente, sendo assim, estuda os efeitos tóxicos de substâncias químicas e efluentes sobre uma população, comunidade ou ecossistema e as medidas necessárias para mitigar ou conter os danos causados.

Para Zagatto e Bertoletti (2008), a ecotoxicologia é a disciplina que estuda a relação entre seres humanos e meio ambiente, podendo ser o estudo da distribuição de energia pelo sistema, enquanto a toxicologia estuda os efeitos adversos das substâncias nos organismos buscando clarear os mecanismos de ação tóxica dessas substâncias.

A toxicologia tem por objeto de estudo todos os aspectos da intoxicação e, como objetivo principal, o gerenciamento do risco, estabelecendo medidas de segurança na utilização de produtos químicos e assegurando a proteção do meio ambiente e da saúde humana (AZEVEDO e CHASIN, 2004).

A toxicologia divide-se nos seguintes ramos: toxicologia clínica, que estuda os efeitos das drogas sobre pacientes, toxicologia forense, que detecta o uso de

componentes tóxicos para fins legais, e a toxicologia ambiental, que estuda os efeitos dos agentes tóxicos no meio ambiente e nos organismos, bem como, em suas cadeias alimentares (HODGSON, 2004). Para Yu (2005), a toxicologia ambiental preocupa-se com a influencia dos agentes tóxicos ambientais exercem sobre o bem-estar e a saúde de animais e plantas, sendo uma ciência altamente eclética e multidisciplinar que envolve diversas áreas de estudo.

As mutações genéticas são eventos normais que ocorrem em todos os seres vivos, sendo considerados uma das bases da diversidade biológica e fundamentais no processo de evolução (CARMO, 2013). As mutações intrínsecas ou espontâneas ocorrem naturalmente, geralmente em baixas frequências, resultados de erros na replicação do material genético, sendo facilmente corrigidas por mecanismos de reparo, enquanto, as mutações induzidas, que podem aparecer devido à exposição dos organismos a agentes mutagênicos, induzindo impactos sobre organismos vivos (MARIN-MORALES, 2009).

Segundo Caritá (2007), em algumas situações, os efeitos maléficos não podem ser observados de imediato nos organismos, pois muitas mutações não implicam em mudanças detectáveis de imediato nas atividades metabólicas e celulares dos organismos. Sendo assim, é indicado o uso de testes capazes de avaliar os efeitos de agentes tóxicos sobre os organismos expostos, podendo estimar e comparar os impactos desses agentes no meio ambiente (SILVA e FONSECA, 2003).

Os testes de toxicidade para avaliar a qualidade ambiental apresentam-se como uma alternativa para complementar as análises químicas (WILKE et al., 2008). Entre os contaminantes ambientais mais prejudiciais, principalmente dos meio aquáticos, estão os efluentes industriais, que podem possuir moléculas metálicas bioativas (CARMO, 2013).

Dentre os bioindicadores utilizados nos testes de toxicidade, Matsumoto (2004), aponta a cebola como um bom bioindicador pois as células das raízes constituem um sistema conveniente para parâmetros macroscópicos, com análises de crescimento e deformidade, e para parâmetros microscópicos, ou seja, aberrações cromossômicas. Já a *Artemia salina* é considerado um microrganismo de fácil acesso, pois apresenta baixo custo e resultados rápidos, sendo que seus cistos podem ser conservados com facilidade.

### 3.7. TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTE

O efluente têxtil, devido à sua composição por possuírem compostos tóxicos oriundos de tingimentos, é um efluente de difícil tratamento. Em função disso, vários processos de tratamento vêm sendo estudados, dentre eles os processos oxidativos avançados (POA), carvão ativado, incineração e tratamento biológico (NOGUEIRA; JARDIM, 1998; FREIRE et al., 2000).

Os POA são baseados principalmente na formação de radicais hidroxilas (OH), entre outros radicais, devido ao fato de seu radical ser altamente reativo e poder reagir com uma gama de compostos promovendo a mineralização para compostos não nocivos (NOGUEIRA; JARDIM, 1998; BASSEGATO; SANTOS; LINDINO, 2012).

Os POA podem ocorrer em dois sistemas, heterogêneos e homogêneos onde a irradiação ultravioleta está ou não presente para geração de radicais hidroxilas, dentre esses sistemas tem-se como exemplo os processos que envolvem a utilização de ozônio, peróxido de hidrogênio e os semicondutores como o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) (NOGUEIRA; JARDIM, 1998).

A fotocatalise heterogênea é um processo oxidativo avançado, onde uma espécie semicondutora é ativada pela irradiação solar ou artificial para que ocorra a chamada bandgap (Figura 2) que é a região originada pela promoção de um elétron da banda de Valencia (BV) para a banda de condução (BC), com a lacuna gerada pelo elétron promovido de BV para BC. Um sítio redutor e oxidante são criados capazes de catalisar reações que podem ser empregadas para tratamento de efluentes, onde a matéria orgânica é degradada pela oxidação e será produzido  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (FREIRE et al., 2000).

O semicondutor dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é um dos mais utilizados devido as suas propriedades mecânicas, óticas e elétricas e estabilidade química, tendo sua excitação com uma energia baixa de 3.2 eV, correspondente a uma radiação que faz parte da emitida pelo sol, que é menor que 390 nm (SALAZAR, FILHO, 2009).

Os reatores fotocatalíticos se dividem em duas classes relacionadas à absorção de luz, a primeira são os reatores que utilizam apenas as radiações diretas que são chamadas de concentrados, e a segunda são aqueles que utilizam a radiação direta e também a difusa, dita não concentrada. Temos como exemplo o reator não concentrado de leito fixo de filme fino, utilizado nesse trabalho, que é



formado por uma placa impregnada com o fotocatalisador semiconductor ( $\text{TiO}_2$ ) (Figura 3) (LIMA et al. 2000).

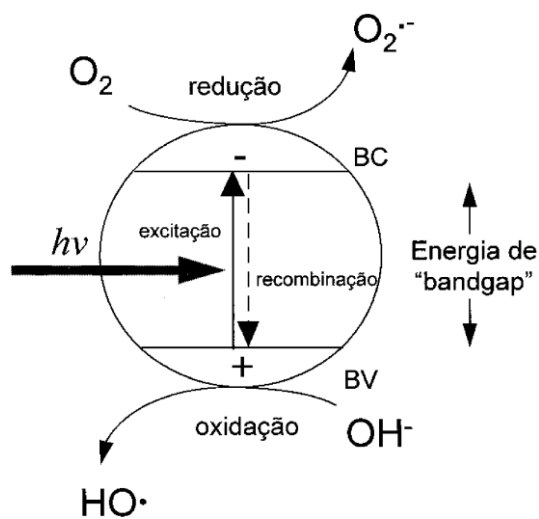


Figura 2 - Esquema de uma partícula semicondutora. Fonte: Nogueira; Jardim (1998)

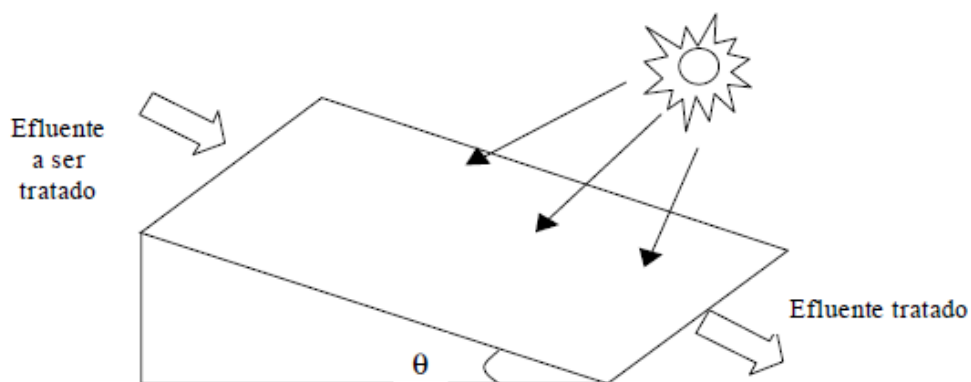


Figura 3 - Reator Filme fino fixo. Fonte: Lima et al. (2000)

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas amostras de efluente têxtil provenientes de uma empresa localizada no município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná, onde são realizados os processos de corte, costura, tingimento e lavagem de tecidos.

As análises laboratoriais: pH, temperatura, cor, turbidez, DQO, sólidos, ensaios de coagulação, sólidos sedimentáveis, toxicidade e as reações fotocatalíticas foram realizadas no laboratório de Águas e Efluentes e de Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão. As análises de DBO, OD, alumínio em efluente foram enviadas para o laboratório LGQ em Francisco Beltrão, a determinação de alumínio em lodo foram enviadas para análise no laboratório A3Q na cidade de Cascavel e seguiram a metodologia Standard Methods (APHA, 2012).

O coagulante a base de tanino denominado nesse trabalho apenas por tanino, foi obtido através de doação feita pela empresa TANAC SA, localizada no Rio Grande do Sul. O coagulante tem como nome comercial Tanfloc SG, podendo ser obtido a granel ou em tonéis de 50 kg, sendo que a amostra utilizada possuía forma líquida. O coagulante sulfato de alumínio em pó PA que foi utilizado nesse trabalho, foi fornecido pela universidade.

### 4.1. COLETA DE AMOSTRA

O efluente foi coletado, preservado e transportado de acordo com as normas do Standard Methods (APHA, 1999). As amostras foram coletadas na saída do efluente da lavanderia, após passar por processo de gradeamento e decantação simples. Em seguida foram encaminhadas ao laboratório de Águas e Efluentes para a realização das análises.

Para realização das análises de alumínio em lodo e o reator fotocatalítico, foi realizada uma nova coleta e novas caracterizações dos parâmetros DQO, cor, turbidez e pH.

Para haver uma distinção entre os efluentes a primeira coleta o efluente foi denominado efluente A e para a segunda coleta denomina-se efluente B.

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

A caracterização do efluente foi realizada em triplicata e seguiu a metodologia descrita no Standard Methods (Apha, 1999).

##### 4.2.1. pH e Temperatura

O potencial hidrogenionico (pH) e a temperatura foram medidos com o auxílio de um pH metro digital microprocessado modelo DLA - PH da marca Del Lab.

##### 4.2.2. Cor

A cor aparente e verdadeira foi determinada pelo método espectrométrico, que consiste na determinação de absorvância. Para tal análise foi utilizado um espectrofotômetro UV-VIS thermospectronic da marca Aquamate.

##### 4.2.3. Turbidez

Para a determinação da turbidez, foi preparada uma solução padrão de 40 UNT, utilizando sulfato de hidrazina, hexametileno e água destilada. A solução padrão foi diluída formando um conjunto de padrões que foram utilizados para gerar uma curva de calibração. Foi utilizado para esta análise o espectrofotômetro UV-VIS thermospectronic da marca Aquamate.

#### 4.2.4. Demanda Química de Oxigênio

O método de determinação da DQO baseia-se na oxidação do material oxidável da amostra em meio fortemente ácido, para tal, adiciona-se ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) à amostra. A mesma é colocada em refluxo fechado, que faz com que os compostos orgânicos voláteis que eventualmente desprendam-se da amostra sejam condensados e retornem para a conseguinte oxidação. A reação é catalisada pela adição do sulfato de prata ( $Ag_2SO_4$ ) ao ácido sulfúrico. Foi utilizado para esta análise o espectrofotômetro UV-VIS thermospectronic da marca Aquamate e digestor modelo HI 839800 da marca Hanna Instruments.

#### 4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio

A determinação da DBO consiste na incubação de amostras por cinco dias à temperatura de aproximadamente  $20^{\circ}C$ , e medição de oxigênio dissolvido antes e após do período de incubação.

#### 4.2.6. Sólidos Totais

O teor de sólidos totais foi determinado a partir da evaporação de uma amostra em um cadinho, anteriormente seco e pesado, em uma estufa a aproximadamente  $110^{\circ}C$ . O aumento de peso no cadinho após a evaporação representa os sólidos totais. Para tal análise foi utilizada a estufa de secagem da marca Deleo.

#### 4.2.7. Sólidos Suspensos

As amostras foram filtradas em filtro poroso, o resíduo retido no filtro, que foi seco e pesado anteriormente, foi levado à estufa à  $110^{\circ}C$  para secagem. O aumento em peso do filtro representa o total de sólidos suspensos. Para esta análise foram

utilizadas a bomba de vácuo modelo 131 da marca Primatec e a estufa de secagem da marca Deleo.

#### 4.2.8. Sólidos Dissolvidos

A determinação de sólidos dissolvidos foi realizada com base nas análises de sólidos totais e sólidos suspensos.

#### 4.2.9. Oxigênio Dissolvido

A determinação do oxigênio dissolvido baseia-se na adição de uma solução de manganês bivalente, seguido por alcalino forte, na amostra. Isso faz oxidar rapidamente uma quantidade equivalente do bivalente disperso precipitando de hidróxido de manganês em hidróxidos de estados de valência superior. Na presença de íons iodeto numa solução acida, o manganês oxidado reverte para o estado bivalente, com a libertação de iodo equivalente ao conteúdo original de oxigênio dissolvido. O iodo é então titulado com uma solução padrão de tiosulfato. O ponto final da titulação pode ser detectado visualmente.

#### 4.2.10 Determinação de Alumínio

A determinação do alumínio na amostra líquida foram realizada através do método colorimétrico, e espectrofotômetro, em um comprimento de onda de 535 nm.

### 4.3. Teste Estatístico

As análises estatísticas para a determinação da melhor dosagem foram feitas com auxílio do software XLSTAT versão 18.06 (ADDINSOFT, 2016) com um nível de significância de 5 %.

#### 4.4. ENSAIO DE COAGULAÇÃO

Para a definição da melhor dosagem dos coagulantes, foi utilizado o aparelho de bancada “jar-test” (Tabela 2). Para o coagulante tanino e sulfato de alumínio foram utilizados as mesmas dosagens que são de 100, 200, 400, 600, 800, 1000 mg/L.

Tabela 2: Características dos processos durante a análise com jar-test.

Processo	Tempo (min)	Velocidade (rpm)
Mistura rápida	5	95
Mistura lenta	35	35
Decantação	30	0

Após o processo de decantação, o sobrenadante foi coletado e realizado a caracterização do mesmo. Para tal análise foi utilizado o aparelho de Jar Test Microcontrolado modelo JT-203 da marca Milan.

#### 4.5. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO

O lodo gerado através dos ensaios anteriormente propostos foi analisado em relação a sua quantidade através da utilização de Cone Imhoff especificado a seguir, e a característica em relação aos resíduos restantes após os ensaios.

##### 4.5.1. Quantificação de sólidos sedimentáveis

Após os ensaios com os coagulantes, o efluente foi encaminhado para o cone Imhoff, para decantação em repouso pelo tempo de uma hora, sendo que os resultados são expressos em mL/L, realizando assim a quantificação do lodo gerado.

## 4.6. TOXICIDADE

### 4.6.1. Teste de imobilidade/mortalidade com *Artemia salina* L.

O teste de imobilidade/mortalidade com *Artemia salina* L. como bioindicador seguiu a metodologia descrita por Migliore *et al.* (1997) e Guerra (2001), com modificações. Foram analisadas amostras de efluente têxtil A, tratado pela indústria, após tratamento com sulfato de alumínio e com tanino, em suas dosagens ótimas.

Para realização do ensaio, foram depositados cistos (ovos) em uma solução salina preparada com vinte gramas de sal marinho para cada litro de água. Aguardou-se um período de 48 horas para ocorrer a eclosão dos ovos. Após este período, de seta a dez naúplios foram transferidos para tubos de ensaio com 2 mLs das variações da concentração das amostras, de 3,1%, 6,2%, 12,5%, 25%, 50% e 100%, diluídas em solução salina, e as soluções controle positivo (Co+) (0,1 µL de metilmetanosulfonato/ mL água mineral) e negativo (Co-) (água salgada).

Os tubos de ensaio foram mantidos a temperatura e iluminação ambiente por 24 horas. Após esse período foi realizada a contagem dos indivíduos mortos/imóveis, e a análise estatística foi feita através do teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

### 4.6.2. Teste de citotoxicidade e mutagenicidade com *Allium cepa* L.

A citotoxicidade e a mutagenicidade foi avaliada utilizando como sistema-teste as células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. (cebola), preparadas pela reação de Feulgen e coradas com o reativo de Schiff (FISKESJÖ, 1985).

Primeiramente, os bulbos das cebolas foram limpos e colocados para enraizar em recipientes contendo água mineral, aerada, a temperatura ambiente e com ausência de luminosidade. Foram utilizadas cinco cebolas para cada grupo amostral. Antes de cada tratamento, duas raízes de cada cebola foram coletadas, para servirem de controle do próprio bulbo (Co-0h).

Após, as raízes foram expostas as amostras do efluente A (P1), do tratado pela indústria (P2), do efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), do

efluente após tratamento com tanino (P4), do lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5), do lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6), e com uma solução de de ciclofosfamida/ mL água mineral (controle positivo – Co+), por 24 horas (Tr-24h). Então, os bulbos foram colocados novamente em água filtrada, para recuperarem-se de eventuais danos ocorridos, por 24 horas (Re-24h). O controle negativo (CO-) permaneceu todo o tempo em água mineral.

As raízes coletadas nos três tempos de coleta (Co-0h, Tr-24h, Re-24h), de todos os tratamentos, foram fixadas com cinco mililitros da solução de 3 metanol: 1 ácido acético e permaneceram em refrigerador por no mínimo 24 horas. Após, as raízes foram lavadas duas vezes com água destilada e expostas a cinco mililitros de ácido clorídrico (HCl 1N a 60°C). As raízes passaram por hidrólise ácida em estufa a 60°C por 10 minutos. Logo após, as raízes foram novamente lavadas duas vezes seguidas, e expostas a cinco mililitros do reagente de Schiff, por 45 minutos, no escuro. Então, a região meristemática das raízes de cebola foi coletada e corada com orceína acética e esmagada para a confecção das lâminas.

As lâminas foram analisadas empregando-se o teste cego em microscópios de luz (aumento de 40x). De cada cebola foram contadas 1000 células, diferenciando-as de acordo com as fases mitóticas (Intérfase, Prófase, Metáfase, Anáfase, Telófase), para determinar o percentual do Índice Mitótico (IM%) de cada tempo amostral dos grupos avaliados, utilizando a seguinte fórmula:  $IM\% = (\text{número de células em divisão} / \text{número total de células analisadas}) \times 100$ . Para avaliar o potencial mutagênico das amostras, foi calculado o Percentual de Alterações Cromossômicas, razão do número de células alteradas pelo número total de células analisadas, multiplicado por 100.

A análise estatística dos IMs médios e do Percentual de Alterações Cromossômicas foi feita pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ,  $n=5$ ), por meio do software InStat.

#### 4.7. REAÇÕES FOTOCATALÍTICAS

As reações fotocatalíticas foram realizadas no reator solar disponível no laboratório de Águas e Efluentes.



O reator possui uma chapa metálica de 60x36 cm, que foi revestida com uma mistura de resina poliuretânica e dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ). Através de uma bomba o efluente é bombeado e distribuído uniformemente sobre a chapa com uma vazão de escoamento de 0,25 L/min que foi disposto à luz solar para que as radiações UV possam entrar em ação (Figura 4).

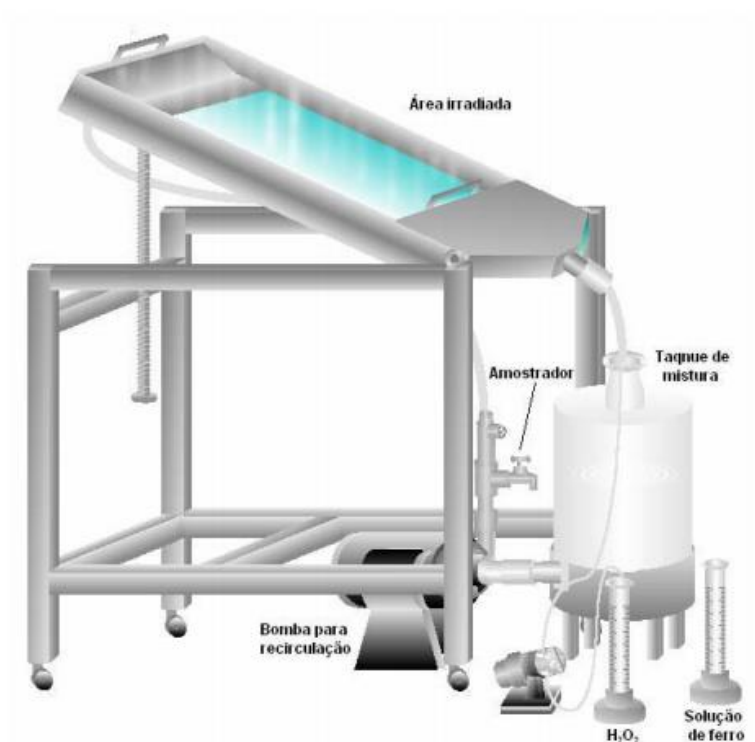


Figura 4 - Esquema de funcionamento do reator fotocatalítico. Fonte: Mota (2005).

O efluente escorre pela placa e é direcionado para um reservatório de 5 litros, onde se encontra o efluente, esse ciclo fechado deve-se repetir por 2 horas, foi coletado amostras nos tempos de 30, 60, 90 e 120 min para serem realizadas as análises de DQO, cor e turbidez do efluente.

O processo será realizado com o efluente B, e com o efluente B após o tratamento com o coagulante tanino e sulfato de alumínio com as concentrações ótimas de 400 e 100 mg/L respectivamente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Devido à imensa variedade de processos e compostos que fazem parte da indústria têxtil, a caracterização do efluente é de extrema importância na determinação de um melhor processo de tratamento visando não apenas a redução de custos, mas também de impactos ao meio ambiente.

Foram realizadas duas coletas de efluente bruto, sendo que o efluente bruto proveniente da primeira coleta foi nomeado de efluente A e o efluente bruto proveniente da segunda coleta, nomeado efluente B. A caracterização do efluente, se deu utilizando o efluente A e tratado biologicamente pela empresa, e embasou todas as análises seguintes, sendo os resultados obtidos apresentados a seguir (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização do efluente A e após tratamento biológico aeróbio

Variáveis	Unidade	Efluente A	Tratado
Temperatura	°C	23,70	20,10
pH	-	6,39	6,81
Cor Aparente	-	0,555 <sup>660nm</sup>	0,131 <sup>400nm</sup>
Cor Verdadeira	-	0,317 <sup>660nm</sup>	0,013 <sup>400nm</sup>
Turbidez	FTU	70,85	12,51
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	1036,88	263,55
DBO	mg/L	72,00	28,00
Sólidos totais	mg/L	2174	913
Sólidos Suspensos	mg/L	16,63	15
Sólidos dissolvidos	mg/L	2158	897
OD	mg/L	6,11	6,47

Os dados referentes ao efluente com tratamento biológico aeróbio foram comparados ao efluente sujeito aos tratamentos de coagulação e floculação realizados com o composto tanino e o sulfato de alumínio.

### 5.1.1 pH e Temperatura

De acordo com as amostras analisadas, o valor médio obtido para o pH foi de 6,39.

Na caracterização de um efluente têxtil bruto, Junior, Barros e Pereira (2012), obtiveram um valor de pH entre 7,19 e 7,49, já Ströher et al. (2013) atingiram um valor de 6,89, Üstün, Solmaz e Birgül (2007) tiveram um valor variando entre 7,2 e 7,8, Mezourk, Madani e Sekki (2010) chegaram ao número de 7,86.

O resultado obtido nesse estudo aproximou-se apenas de um dos autores citados acima, este fato pode-se dar por diferenças nas características da água utilizada na lavagem das peças e nas técnicas associadas ao processo produtivo, por variações nos produtos químicos empregados, como corantes até os materiais constituintes das máquinas e tubulações.

O pH influencia diretamente no processo de coagulação e floculação devendo estar na faixa de 5 a 8 para o coagulante sulfato de alumínio (CAVALCANTI, 2009). Para o coagulante tanino tem-se que a faixa de pH com melhor atuação e que não consome alcalinidade do meio é de 4,5 a 8 (TANFLOC, s.d). Tendo como base tais dados, o resultado apresentado aqui está dentro dos valores propostos pelos autores para que o processo ocorra sem nenhuma interferência.

A temperatura coletada das amostras teve um valor médio de 23,7 °C, comparando ao resultado adquirido por Gozávez-zafrilla et al. (2008), em que apresentou um valor de 35 a 40 °C antes do tratamento biológico. Neste trabalho o dado alcançado pode-se dar pelo fato em que a temperatura ambiente no dia da coleta estava baixa, com uma média de 11,2 °C para o mês de agosto (SOMARMETEOROLOGIA, 2016), e as atividades que podem mudar drasticamente a temperatura do efluente no momento da coleta ainda não estavam sendo realizadas, como lavagem e tingimento de vestuário.

A temperatura está ligada diretamente com a solubilização do oxigênio e as reações bioquímicas, influenciando também na performance de processos químicos e biológicos de tratamento sendo que para tratamentos biológicos, como é o que acontece na indústria estudada, a variação da temperatura encontra-se próxima a faixa ótima de 25 a 35 °C (CAVALCANTI, 2009).

## 5.1.2 Cor

A cor aparente e a cor verdadeira do efluente A analisado são apresentadas nas figuras a seguir (Figura 5 e 6), que relacionam o valor da absorvância no comprimento de onda visível que varia de 400 a 700 nm. O resultado da cor aparente e verdadeira encontrou um pico no comprimento de onda de 660 nm na faixa espectral avaliada, tendo como sua máxima absorvância o valor de 0,555 e 0,317 respectivamente.

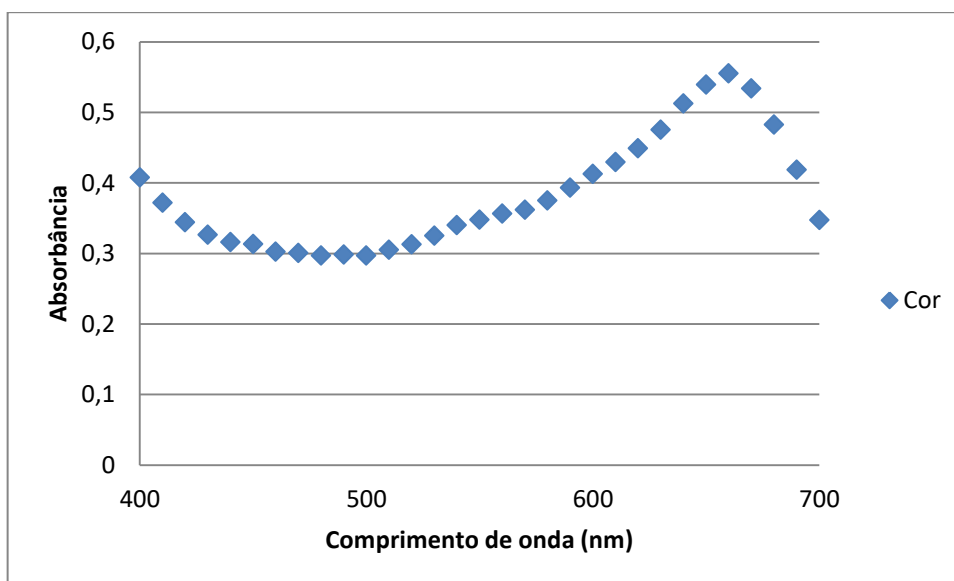


Figura 5 - Cor aparente relacionando a maior absorvância ao comprimento de onda do efluente A

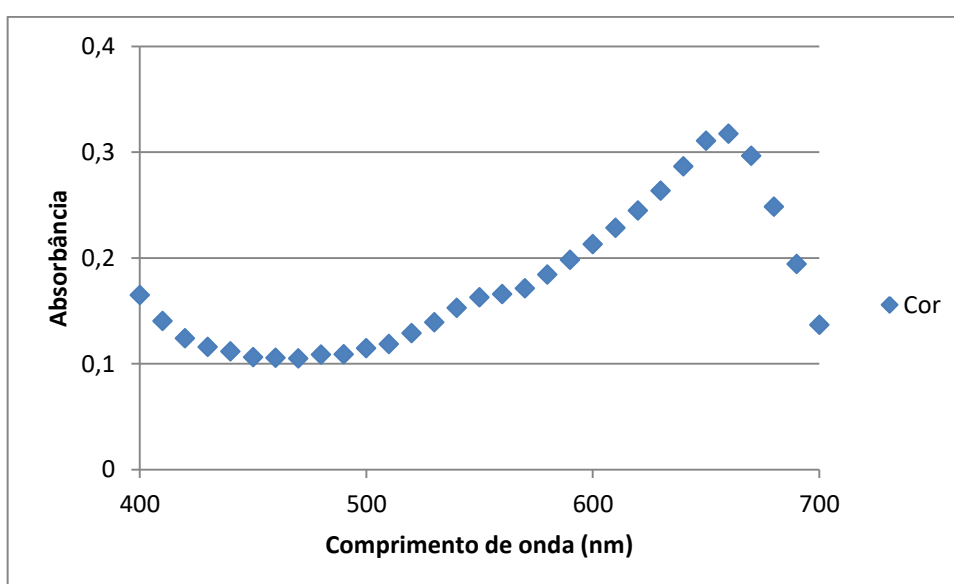


Figura 6 - Cor verdadeira relacionando a maior absorvância ao comprimento de onda do efluente A

Quando a água apresenta uma coloração há indícios da presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, sendo que não há uma correspondência direta entre a concentração de substâncias corantes e a cor resultante (RITCHER; AZEVEDO NETO, 1991).

Pode-se comparar o comprimento de onda a uma faixa de luz visível em que apresenta várias cores, com 400 nm referindo-se ao azul até 700 nm, representante da cor vermelha (JACOBS, 2004). O comprimento de onda obtido neste experimento remete a cor vermelha para ambas as análises.

Não há uma metodologia normatizada para a determinação de cor em efluentes industriais, sendo assim a difícil comparação desse parâmetro com outros autores (HASSEMER; SENS, 2002).

Comparando os resultados obtidos nesse trabalho com os autores Haroun, Idris (2009), após filtração do efluente têxtil para remoção de matérias em suspensão, que se refere à cor verdadeira, o comprimento de onda onde houve um maior pico de absorbância foi de 669 nm obtendo um valor de máxima absorção de 0,15.

As amostras foram analisadas nos comprimentos de onda de 436, 525 e 620 nm, após o efluente bruto passar por um filtro de membrana, referindo-se à cor verdadeira, obtiveram os seguintes valores para a máxima absorbância em cada comprimento de onda respectivamente, 1,24; 1,37; 1,02 (SELCUK, 2005).

Utilizando um comprimento de onda na faixa visível de 666 nm, Hassemer, Sens (2002), obtiveram uma máxima absorbância de 1,08 para o efluente bruto têxtil.

Para a caracterização da cor verdadeira do efluente têxtil descrito por SALGADO et al. (2009), foram utilizados os comprimentos de onda de 480 a 600 nm, tal faixa corresponde aos espectros moleculares dos corantes sintéticos presentes nos efluentes têxteis, onde foi determinado um valor de 500 nm e uma máxima absorbância de 0,181.

### 5.1.3 Turbidez

Através da curva de leitura das amostras no espectrofotômetro obteve-se os resultados da turbidez do efluente A, que foi de 70,85 FTU.

A presença de turbidez no efluente de indústria têxtil deve-se, sobretudo ao beneficiamento do jeans por existir no processo a utilização de pedras e pó abrasivo para o desgaste das peças, através do atrito conseqüentemente há liberação de fibras de algodão e resíduos minerais (DOS SANTOS RIBEIRO; DA SILVA VOLPE; TAVARES, 2012).

Estudos semelhantes em que também foram determinados valores para a turbidez, como os de Mezourk, Madani e Sekki (2010), Souza, Souza e Pereira (2015), Ströher et al. (2013), Ciabatti, Tognotti e Lombardi (2010), apresentaram resultados de 130 FTU, 71 a 4278 FTU, 375 FTU e 15 a 200 FTU, respectivamente, permitem observar que diferentes locais de estudo e processos utilizados dentro da indústria promovem variações na turbidez.

#### 5.1.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na caracterização do efluente, a DQO é um dos parâmetros fundamentais a serem discutidos nesse trabalho, sendo que o efluente A analisado apresentou o valor de 1036,88 mgO<sub>2</sub>/L.

Para Aquino, Silva e Chernicharo (2006), a DQO é muito utilizada no acompanhamento de estações de tratamento, podendo ser mensurada em porções que contenham substâncias orgânicas e/ou inorgânicas que possam ser oxidadas. Ainda de acordo com os autores, nos efluentes industriais têxteis as concentrações de substâncias inorgânicas reduzidas podem ser altas causando a DQO.

Segundo Selcuk (2005), no seu estudo utilizando efluente da indústria têxtil sua DQO apontou um valor de 1150 mgO<sub>2</sub>/L. Haroun, Idris (2009), obtiveram um valor de 810 mgO<sub>2</sub>/L. Hasamer, Sens (2002) alcançaram um valor de 961 mgO<sub>2</sub>/L, Hoohi et al. (2016) chegaram ao total de 1129 mgO<sub>2</sub>/L, já Zagonel, Buss, Menezes (2015) em seu trabalho obtiveram resultados entre 211,5 à 1564,11. Neste trabalho nota-se que o valor apresentado está dentro do que os autores anteriormente citaram.

Podem-se relacionar os altos valores de DQO principalmente aos processos empregados na produção de peças descoloridas e vários produtos químicos no caso de haver necessidade (ZAGONEL; BUSS; MENEZES, 2015).

As cargas de corantes utilizadas nos processos de tingimento, os tensoativos espessantes e produtos químicos variados fazem com que o efluente da indústria

têxtil se torne de difícil tratamento e com elevadas concentrações de DQO, devido à variação das sequências utilizadas no processo de uma indústria têxtil para obtenção do produto final (HASSAMER; SENS, 2002).

#### 5.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Por meio de laudo laboratorial (Anexo I), verificou-se que o efluente A em questão apresentou um valor de DBO igual a 72 mg/L.

Os corantes são uns dos principais problemas para o tratamento dos efluentes têxteis, influenciam e contribuem diretamente com a maior parte para a DBO. A faixa típica em que o parâmetro se encontra em outras indústrias fica entre 150 – 350 mg/L (PRIYA; SELVAN, (2008).

Segundo Ali, Hameed, Ahmed (2014), 548 mg/L foi o valor encontrado para DBO, Rodrigues, Madeira, Boaventura (2009), obtiveram uma média de 243 mg/L para tal parâmetro. O processo de *superstone*, em que são utilizados enzimas, pedras, pó ou tampinhas plásticas e outros produtos químicos, pode, de acordo com Tosato, Halasz (2011) resultar em uma DBO de 106,3 mg/L no efluente final.

Processos variados podem atingir inúmeros valores para o parâmetro DBO, a lavagem pode ficar entre 2500 a 3500 mg/L, já o branqueamento entre 100 e 500 mg/L, e o tingimento entre 100 e 400 (KRANDEGAR; SAHOHA, 2013).

Como o efluente analisado neste trabalho, foi coletado apenas na saída da lavanderia, após o processo de gradeamento e decantação simples, no período de início das atividades pela manhã, e sem a entrada do esgoto doméstico, o valor da DBO encontra-se relativamente baixo em relação aos autores citados acima.

#### 5.1.6. Sólidos

Os valor obtido de sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvido do efluente A foram respectivamente 2174 mg/L, 16,63 mg/L e 2158 mg/L e do efluente tratado foram 913 mg/L, 15 mg/L e 897 mg/L (Tabela 3).

Quando comparados com outros autores, os resultados obtidos se divergem, em relação aos sólidos em efluente bruto, Tosato e Halasz (2011) obteve 1783,9 mg/L para sólidos totais dissolvidos, 411,3 mg/L para sólidos suspensos e 32,8 mg/L

para sólidos sedimentáveis, já Machado (2007) obteve 2807 mg/L para sólidos totais, 2093 mg/L para sólidos voláteis e 714 mg/L para sólidos fixos.nior et al (2013) obteve apenas o valor de sólidos suspensos totais, de 1632 mg/L e Hassemer et al (2002) o valor de sólidos suspenso de 179 mg/L.

Em relação ao efluente tratado, os valores também variam quando comparados a outros autores, Machado (2007), obteve 2663 mg/L para sólidos totais, 2144 mg/L para sólidos voláteis e 519 mg/L para sólidos fixos.

O efluente das lavanderias industriais apresentam muitas impurezas que são removidas das roupas ou adicionadas no processo de lavagem das peças. Segundo Silva (2006) a presença de sólidos sedimentáveis no efluente depende do tipo de processo de beneficiamento aplicado a fibra, ao tecido e ao tipo de tratamento utilizado, sendo que seu teor em geral, varia entre valores abaixo de 50 mL/L.

As resoluções CONAMA 430 (BRASIL, 2011) e CEMA 70 (PARANÁ, 2009) não abordam sobre sólidos em lançamento de efluentes industriais. Apenas a resolução CONAMA 430 discorre sobre o lançamento de esgoto doméstico, onde não deve haver a presença de sólidos grosseiros e materiais flutuantes e deve ter uma redução de no mínimo 20% em sólidos suspensos totais.

A resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que apresenta os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, determina que a concentração limite de sólidos dissolvidos é de 500 mg/L para as classes de águas 1, 2 e 3, águas passíveis de uso para abastecimento público.

#### 5.1.7. Oxigênio Dissolvido

Segundo Costa e Olivi (2007), o oxigênio apresenta capacidade de atuar como regulador em processos metabólicos dos organismos e comunidades. O mesmo é a principal variável controladora das reações metabólicas em sistemas aquáticos e indiretamente traduz a qualidade da água (Sperling, 1996)

Os valores obtidos para oxigênio dissolvido na amostra de efluente A foi de 6,11 mgL<sup>-1</sup> e no efluente tratado pela indústria foi encontrado o valor de 6,47 mg.L<sup>-1</sup>. Ao compararmos os resultados obtidos com outros autores observamos que Awomeso *et al.* (2010), ao quantificar os impactos de descargas industriais de efluente têxtil em corpo d'água, através de análise de doze pontos ao longo do corpo d'água, observou que os teores de oxigênio dissolvido variaram de 0,0 a 3,25 mgL<sup>-1</sup>.



As resoluções CONAMA 430 (BRASIL, 2011) e CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que apresentam os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos não abordam sobre oxigênio dissolvido em lançamento de efluentes industriais.

O estado do Paraná não possui nenhuma legislação específica que trata dos teores de oxigênio dissolvido em efluentes.

No estado de São Paulo, o Decreto nº 8468 (SÃO PAULO, 1976), que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, estabelece os padrões de lançamento conforme as classes de água dos corpos receptores. Para as águas de classe 2, o efluente só poderá ser lançado com oxigênio dissolvido não inferior a  $5 \text{ mgL}^{-1}$ , para a classe de água 3 o efluente deve possuir oxigênio dissolvido não inferior a  $4 \text{ mgL}^{-1}$  e para as águas de classe 4 o efluente deve apresentar oxigênio dissolvido superior a  $0,5 \text{ mgL}^{-1}$ . Sendo assim, quando comparado a legislação do estado de São Paulo, o efluente têxtil, bruto e tratado, atendem aos padrões de lançamentos, considerando como parâmetro o teor de oxigênio dissolvido.

## 5.2. TRATAMENTO DO EFLUENTE

Segundo Nunes (2012), a caracterização das águas residuárias é fundamental, uma vez que é determinante na seleção do tratamento e posterior projeção da estação. Ainda de acordo com o autor, o efluente pode apresentar particularidades de indústria para indústria operando em um mesmo ramo, devido as diferenças entre processos e produtos empregados.

Para realizar o tratamento do efluente A foram realizados ensaios no Jar Test, com as concentrações de 100, 200, 400, 800 e 1000 mg/L de tanino e sulfato de alumínio. A partir dos resultados do experimento foram definidas as porcentagens de remoção para cada composto e respectiva concentração ótima.

### 5.2.1. Coagulação/Floculação utilizando o composto sulfato de alumínio

Após os ensaios com o coagulante sulfato de alumínio, coletou-se o sobrenadante e foram obtidos os resultados dos parâmetros DQO, cor e turbidez para as dosagens, como pode ser observado nas figuras (7, 8 e 9).

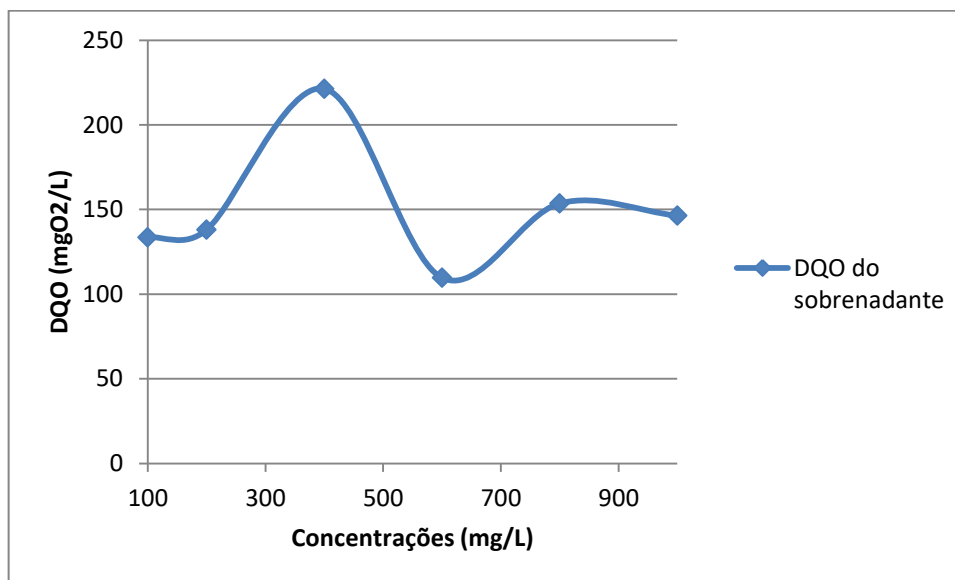


Figura 7 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro DQO

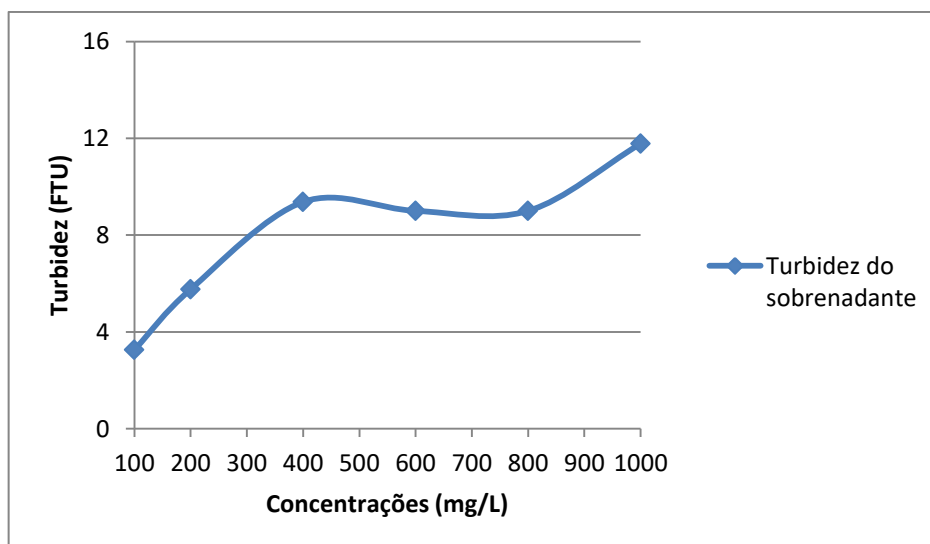


Figura 8 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro turbidez

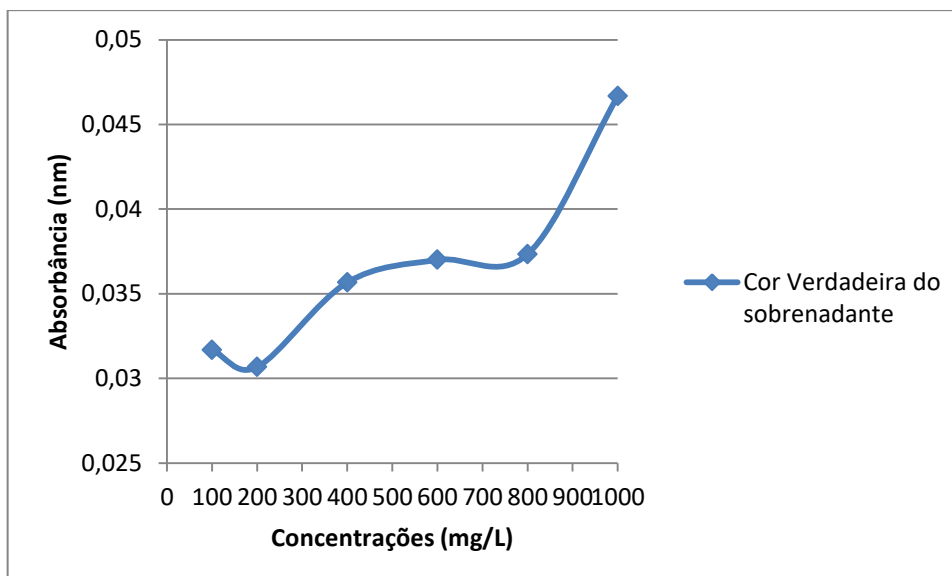


Figura 9 - Determinação da dosagem ótima para o sulfato de alumínio no parâmetro cor verdadeira

As porcentagens de remoção obtidas podem ser observadas decrescendo pouco com o aumento da concentração quase mantendo uma constância nos parâmetros (Figura 10), foi obtida a concentração ótima para o coagulante sulfato de alumínio (Tabela 4), através da utilização da normalidade, testes de variância, ANOVA e teste de Tukey com um nível de significância de 5%.

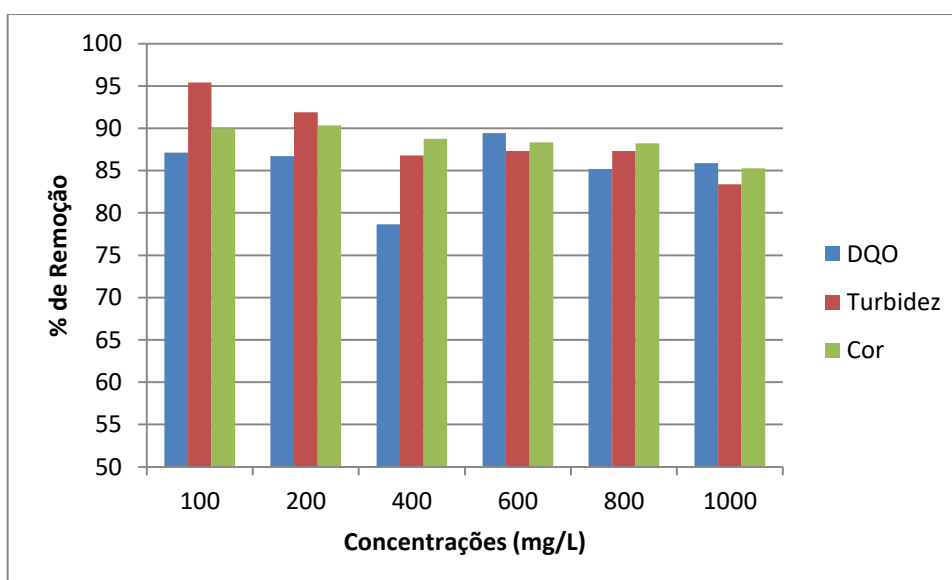


Figura 10 - Porcentagem de remoção após coagulação/floculação com o composto sulfato de alumínio

Tabela 4 - Teste estatístico aplicado à porcentagem de remoção para o composto sulfato de alumínio

Concentração (mg/L)	% Remoção		
	DQO	Turbidez	Cor
100	87,12 <sup>a</sup>	95,40 <sup>a</sup>	90,01 <sup>a</sup>
200	86,69 <sup>a</sup>	91,87 <sup>a</sup>	90,33 <sup>a</sup>
400	78,65 <sup>a</sup>	86,77 <sup>a</sup>	88,75 <sup>a</sup>
600	89,42 <sup>a</sup>	87,30 <sup>a</sup>	88,33 <sup>a</sup>
800	85,19 <sup>a</sup>	87,30 <sup>a</sup>	88,22 <sup>a</sup>
1000	85,89 <sup>a</sup>	83,38 <sup>a</sup>	85,28 <sup>a</sup>

\* Letras iguais na mesma coluna não representam diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre as amostras analisadas.

Os parâmetros analisados DQO, turbidez e cor verdadeira (Tabela 2), ao nível de significância de 5%, temos que as concentrações do coagulante são estatisticamente iguais, dando a liberdade para a escolha da concentração ótima sem que ela afete o tratamento.

Neste caso escolheu-se a concentração de 100 mg/L de sulfato de alumínio, que apresentou 87,12%, 95,40% e 90,01%, de remoção para a DQO, turbidez e cor verdadeira respectivamente.

A concentração ótima do coagulante para o efluente têxtil estudado por Selcuk (2005), foi de 1500 mg/L para a cor verdadeira e 1000 mg/L para DQO, sendo que seu efluente bruto apresentou características como DQO igual à 1150 mg/L e cor verdadeira nos comprimentos de onda de 436, 525, e 620 com a máxima absorvância de 1,24; 1,37 e 1,02 respectivamente obtendo preceituais de remoção chegando a 60% para cor e 56% para DQO, ficando entre 20 e 30% a baixo dos resultados encontrados neste trabalho.

Souza, Souza e Pereira (2015) através da variação da concentração do sulfato de alumínio de 300 a 900 mg/L obtiveram a concentração ótima de 300 mg/L, alcançando um percentual de remoção para os parâmetros cor, turbidez e DQO respectivamente de 56%, 96% e 39% que anteriormente possuíam um valor para cor variando de 445 a 12320 unidades de Pt-Co e turbidez variando de 71 a 4278 FTU, sendo próximo a porcentagem de remoção apenas na turbidez comparado ao presente estudo.

Para as características do efluente têxtil em que a turbidez apresenta um valor de 2550 FTU e a cor 9488 uH, foram utilizadas as concentrações do composto sulfato de alumínio variando de 20 mg/L até 120 mg/L, apresentando uma porcentagem de remoção de 63% para cor e 64% para turbidez sendo a concentração ótima de 120 mg/L (SILVA et al., 2001).

Podendo variar de 500 a 2000 mg/L de sulfato de alumínio para a coagulação de um efluente têxtil, no estudo de Hassemer, Sens (2002) a concentração ótima obtida foi de 500 mg/L, sendo que a cor em um comprimento de onda de 666 nm reduziu de 1,08 para 0,052 e a turbidez de 270 para 32,1 FTU.

### 5.2.2. Coagulação/Floculação utilizando o composto tanino

Após os ensaios com o coagulante tanino foram obtidos os resultados das dosagens, como pode ser observado na figura (11 e 12).

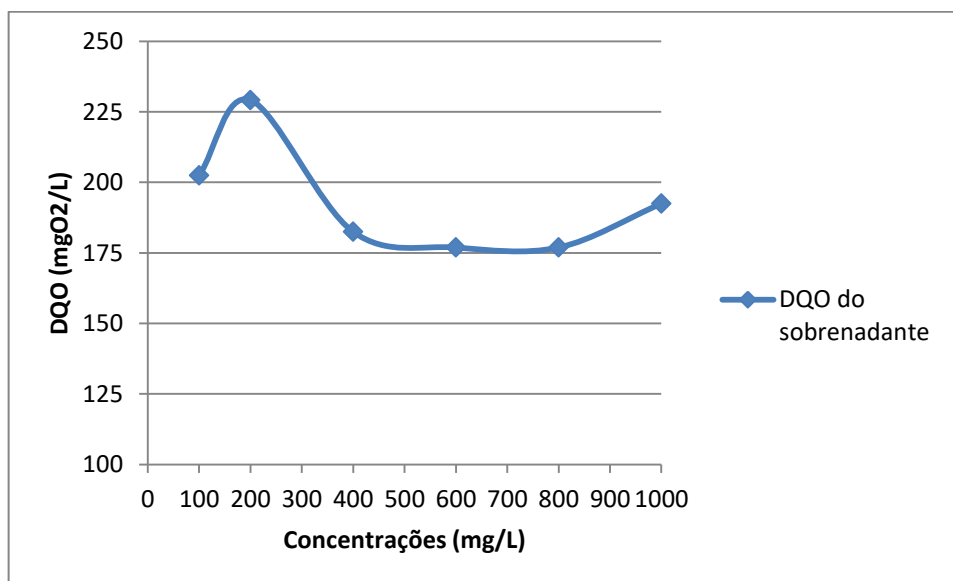


Figura 11 - Determinação da dosagem ótima para o tanino no parâmetro DQO

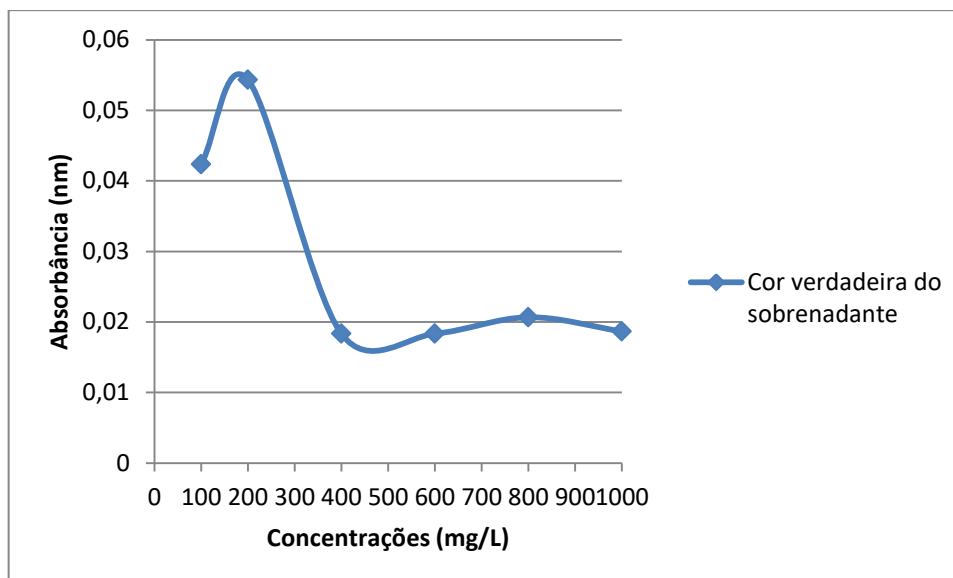


Figura 12 - Determinação da dosagem ótima para o tanino no parâmetro cor verdadeira

Observa-se que a porcentagem de remoção para o coagulante tanino (Figura 13), cresce juntamente com o aumento da concentração, até o valor de 400 mg/L em que praticamente fica estabilizado até a concentração de 1000 mg/L.

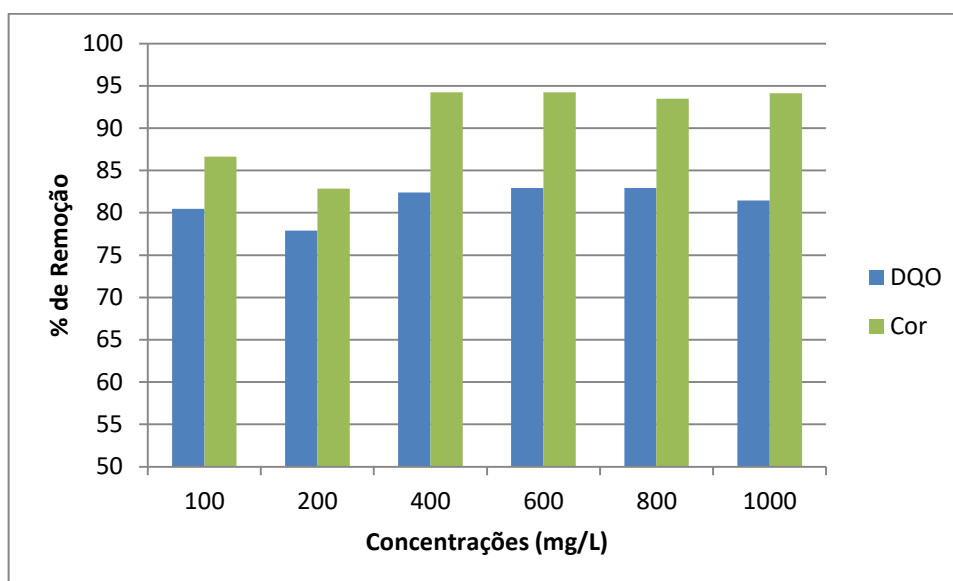


Figura 13 - Porcentagem de remoção após coagulação/floculação com o composto tanino

A partir das porcentagens obtidas, determinou-se a concentração ótima para o coagulante tanino (Tabela 5), por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis com um nível de significância de 5%, pois os valores obtidos não seguiam normalidade e variância exigidas.

Tabela 5 - Teste estatístico aplicado à porcentagem de remoção para o composto tanino

Concentração (mg/L)	% Remoção	
	DQO	Cor
100	80,48 <sup>a</sup>	86,65 <sup>a</sup>
200	77,90 <sup>a</sup>	82,86 <sup>a</sup>
400	82,40 <sup>a</sup>	94,22 <sup>a</sup>
600	82,94 <sup>a</sup>	94,22 <sup>a</sup>
800	82,94 <sup>a</sup>	93,48 <sup>a</sup>
1000	81,44 <sup>a</sup>	94,11 <sup>a</sup>

\* Letras iguais na mesma coluna não representam diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre as amostras analisadas.

Ao nível de 5% de significância nos parâmetros DQO e cor verdadeira (Tabela 5), as concentrações utilizadas são estatisticamente iguais.

Dentre as concentrações que obtiveram a maior porcentagem de remoção, foi utilizada a de 400 mg/L, que apresentou uma redução de aproximadamente 82% e 94% para DQO e cor, respectivamente, permitindo assim que se escolhesse a menor dosagem sem comprometer a eficiência do tratamento.

As concentrações do coagulante tanino utilizadas por Junior *et al.* (2012) variaram de 100 a 800 mg/L, cujos parâmetros analisados do efluente têxtil variaram de 1410,3 à 6977,6 mgO<sub>2</sub>/L para DQO e cor em unidades Pt-Co de 7392 até 31185. O mesmo autor, determinou como, concentração ótima para o coagulante tanino o valor de 400 mg/L obtendo porcentagens de remoção para DQO entre 86 e 94% e cor entre 98 e 99%, valores muito próximos aos encontrados no presente estudo.

Para Souza *et al.* (2015) a faixa de concentração utilizada variou entre 80 e 150 mg/L do coagulante tanino, em que a melhor dosagem foi de 80 mg/L para um efluente têxtil, com os valores para DQO de 224,03 mg O<sub>2</sub>/L e cor verdadeira de 154,67 em unidades de Pt-Co/L, removendo 55 % da DQO e 40% da cor verdadeira.

Segundo Souza *et al.* (2016), a melhor concentração de tanino em seu experimento foi de 110 mg/L em efluente de indústria têxtil que o coagulante variou sua concentração de 80 a 150 mg/L. As características do efluente bruto para a DQO foram de 407,87 mgO<sub>2</sub>/L e cor verdadeira 138,88 gPt-Co/L, tendo 70% de remoção para DQO e cor verdadeira com 77% de remoção, observando os resultados obtidos na caracterização do efluente e após o tratamento feita pelos

autores, diferem-se do presente estudo em que as porcentagens de remoção foram quase 20% a mais.

### 5.2.3. Comparação entre os coagulantes

Diante das análises realizadas entre o composto tanino e o sulfato de alumínio, relacionam-se as duas concentrações ótimas para obtenção do melhor coagulante para o efluente em questão (Figura 14).

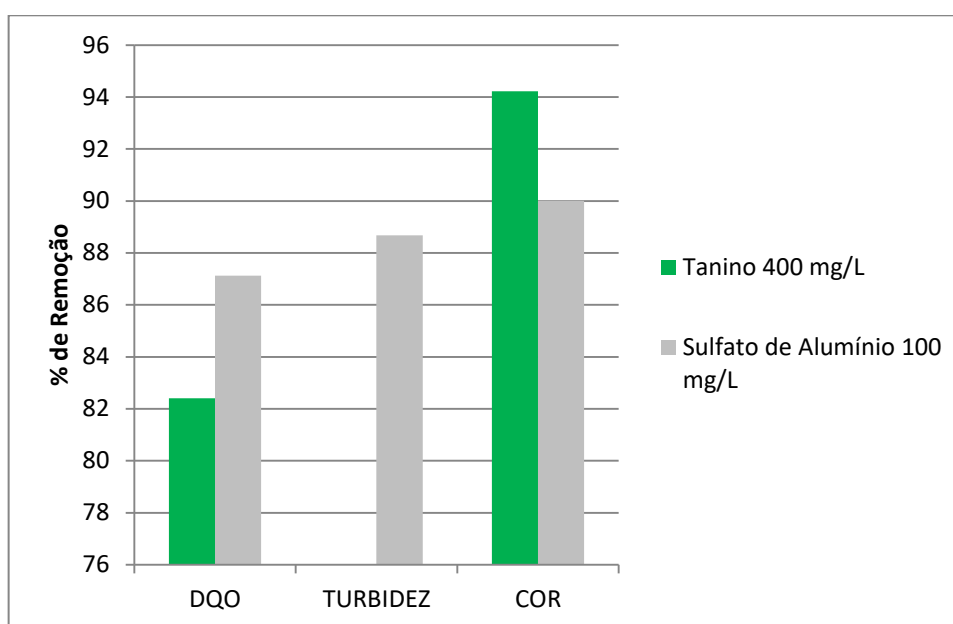


Figura 44 - Porcentagens de remoção das concentrações ótimas

Nas melhores concentrações, realizou-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis (Tabela 6), pois a normalidade e a variância não seguiram valores adequados.



Tabela 6 - Teste estatístico entre as porcentagens de remoção das concentrações ótimas de coagulante

Concentração ótima	% Remoção		
	DQO	Turbidez	Cor
Tanino 400 mg/L	82,40 <sup>a</sup>	-	94,22 <sup>a</sup>
Sulfato de alumínio 100 mg/L	87,12 <sup>a</sup>	95,40	90,01 <sup>a</sup>

\* Letras iguais na mesma coluna não representam diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre as amostras analisadas.

Por meio de avaliação com 5% de significância das porcentagens de remoção das referidas concentrações ótimas, pode-se notar que os parâmetros DQO e cor não apresentam diferença estatística significativa.

Comparando as duas concentrações, nota-se que no parâmetro cor verdadeira o coagulante tanino obteve maior porcentagem de remoção de 94,22 % para cor verdadeira, e o coagulante sulfato de alumínio no parâmetro DQO com 87,12 %. O parâmetro turbidez utilizando o coagulante sulfato de alumínio chegou a um valor de remoção de 95,4%. Pensando na conservação ambiental o uso do coagulante orgânico torna-se importante (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009), pois devolve o efluente ao corpo receptor com características menos agressivas ao mesmo.

Na escolha do melhor coagulante, além de levar em consideração as porcentagens de remoções dos compostos com suas concentrações ótimas, deve-se também considerar os aspectos econômicos envolvidos na substituição de coagulantes, na tabela 7 são apresentados os valores de cada um dos compostos, considerando as dosagens ótimas, em uma situação onde são gastos 28 m<sup>3</sup> por dia.

Tabela 7 - Custo de operação para cada concentração ótima

Coagulante	Tanino	Sulfato de alumínio
Vazão de efluente	28 m <sup>3</sup> /dia	28 m <sup>3</sup> /dia
Custo (R\$/kg)	R\$ 2,56	R\$ 1,10
Concentração ótima	400 mg/L	100 mg/L
Dias de operação	30	30
Total mensal	R\$ 860,16	R\$ 92,40

\* O preço do produto a base de tanino foi fornecido pela empresa TANAC.

\* O preço do produto sulfato de alumínio foi obtido por meio dos autores Paulus et al. (2016)

Mesmo o gasto mensal utilizando o sulfato de alumínio seja 10% do que seria pago caso fosse utilizado o coagulante tanino, os benefícios a longo prazo oriundos da utilização do coagulante orgânico são melhores, começando por características menos agressivas ao corpo receptor, a redução de compostos indesejados e prejudiciais ao meio ambiente como o alumínio no efluente citado no item 5.3 , e alumínio em lodo citado no item 5.4.

Como foi demonstrado anteriormente, as dosagens do coagulante tanino, não apresentam entre si diferença estatística significativa, em relação à adequação do efluente aos parâmetros de DQO e cor, portanto, para o tratamento deste efluente pode ser utilizado a dosagem de 100 mg/L de tanino. Considerando a situação citada anteriormente, onde são gerados 28 m<sup>3</sup>/dia de efluente, e a dosagem dos coagulantes sulfato de alumínio e tanino como 100 mg/L, temos o seguinte custo (Tabela 8).

Tabela 8 - Custo de operação com concentração de 100 mg/L para ambos os coagulantes.

Coagulante	Tanino	Sulfato de alumínio
Vazão de efluente	28 m <sup>3</sup> /dia	28 m <sup>3</sup> /dia
Custo (R\$/kg)	R\$ 2,56	R\$ 1,10
Concentração ótima	100 mg/L	100 mg/L
Dias de operação	30	30
Total mensal	R\$ 215,04	R\$ 92,40

\* O preço do produto a base de tanino foi fornecido pela empresa TANAC.

\* O preço do produto sulfato de alumínio foi obtido por meio dos autores Paulus et al. (2016)

Utilizando a mesma dosagem para ambos os coagulantes, temos que o tratamento com tanino apresenta maior custo, quando comparado ao tratamento com sulfato de alumínio. Como o coagulante tanino possui uma menor procura no mercado, conseqüentemente, há menor produção, elevando o preço do produto. Com incentivos a troca dos coagulantes inorgânicos por coagulantes orgânicos, podemos ter uma maior demanda do mesmo, reduzindo o seu preço em relação ao coagulante orgânico sulfato de alumínio, que é amplamente utilizado.

A diferença nos valores resulta consideravelmente na escolha do produto a ser utilizado, ressaltando as porcentagens de remoção dos parâmetros, não houve grandes diferenças significativas abrindo a possibilidade da escolha do coagulante sem afetar o tratamento.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430, que dispõe sobre padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos (BRASIL, 2011), e a Resolução CEMA nº 70 anexo 7, que também aborda sobre limites para o lançamento de efluentes e é a norma vigente no estado do Paraná (PARANÁ, 2009), o efluente devolvido ao corpo hídrico deve receber tratamento e atender aos limites descritos na norma estadual, caso o limite não esteja presente na Resolução CEMA nº 70, deve-se atender então aos limites presentes na Resolução CONAMA nº 430.

No tratamento do efluente A provindo da indústria têxtil com o coagulante a base de tanino e o sulfato de alumínio deve-se atender as leis vigentes presentes no município, estado e país, nesta mesma ordem hierárquica.

Para que ocorra uma melhor visualização dos tratamentos realizados para remoção de DQO e cor para o coagulante tanino e o item turbidez a mais para o coagulante sulfato de alumínio, os três tratamentos são analisados, o realizado pela indústria, e os dois coagulantes utilizados nesse trabalho (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores obtidos através do tratamento do efluente A e limites de lançamento

Tratamentos	Parâmetros			
	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	Turbidez (FTU)	Cor verdadeira	pH
Tanino (400 mg/L)	182,44	-	0,018 <sup>400nm</sup>	4,2
Sulfato de alumínio (100 mg/L)	133,55	3,25	0,031 <sup>400nm</sup>	4,34
Biológico aeróbio	263,55	12,51	0,013 <sup>400nm</sup>	6,81
CONAMA 430	-	-	-	5 a 9
CEMA 70	200 mg/L	-	-	5 a 9

Após a finalização do processo de coagulação o efluente tratado com o sulfato de alumínio apresentou pH de 4,34, com tanino obteve-se o valor de 4,2 e por fim, 6,81 para o efluente oriundo do tratamento empregado pela indústria.

Relacionando aos padrões de lançamento de efluentes descrito pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) e o anexo 7 da Resolução CEMA nº 70 (PARANÁ, 2009), após o tratamento realizado pela empresa, o pH encontra-se dentro do que é estabelecido, já o processo de coagulação/floculação reduziu o pH do efluente deixando-o abaixo do que o padrão exige que varia de 5 à 9.

A Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) não aborda nenhum valor para a DQO, mas sendo esse valor importante na determinação da DBO, onde a resolução exige para este uma remoção de 60%.

A Resolução CEMA nº 70, anexo 7 (PARANÁ, 2009) especifica um valor para a DQO de 200 mg/L, analisando os valores obtidos, o tratamento realizando a coagulação/floculação atenderam a exigência, já o processo biológico aeróbio extrapolou o valor descrito na legislação.

### 5.3. Determinação de Alumínio

Após a realização dos ensaios de Jar test, foram determinados os valores de alumínio presentes no efluente A e tratado com o composto a base de tanino e o sulfato de alumínio (Tabela 10), a fim de verificar se o efluente que será devolvido ao corpo receptor contém resquícios de alumínio.

Tabela 10 - Concentração de alumínio presente no efluente A e nos tratados

Tratamentos	Concentração de Alumínio (mg/L)
Efluente A	0,01
Tanino	0,14
Sulfato de alumínio	0,22

Os valores de alumínio residual do efluente A e após os processos de coagulação e decantação utilizando as concentrações ótimas de tanino e sulfato de alumínio, foram obtidos junto a um laboratório particular por meio de laudo técnico (Anexo III, IV, V).

Nota-se na tabela 10 que a maior concentração de alumínio aparece quando o coagulante sulfato de alumínio é utilizado, sendo menor a concentração com o coagulante orgânico tanino e quase próximo de zero no efluente A.

Por meio das reações de complexação o alumínio gerado e solúvel não participa das reações ocorridas no processo de coagulação, ficando presentes em solução na forma hidróxido de alumínio (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2003)

De acordo com Nunes (2012) quando o pH do efluente fica fora da faixa de 5 à 8 onde ele tem melhor atuação, o íon  $Al^{+3}$  permanece no líquido em estado solúvel. Contendo uma elevada concentração de alumínio, o efluente tratado pode resultar em um efluente mais tóxico (SOUZA et al., 2016).

Com uma concentração ótima de 100 mg/L e 200 mg/L dos coagulantes tanino e sulfato de alumínio respectivamente após a coagulação, Souza et al. (2016) obtiveram concentrações de alumínio no efluente tratado de aproximadamente 8 mg/L quando utilizado o coagulante tanino e 10 mg/L quando empregado o sulfato de alumínio na coagulação.

Queiroz et al. (2016) aborda em seu estudo que houve elevação da concentração de alumínio dissolvido devido a utilização do sulfato de alumínio na

coagulação de um valor de 0,19 mg/L, na entrada da ETE, para 2,75 mg/L no final do tratamento, os valores da concentração de alumínio na entrada e saída da ETE descrita pelo autor é bem maior que as apresentadas nesse trabalho.

A Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) e a Resolução CEMA nº 70 anexo 7 (PARANÁ, 2009) não especificam nenhum limite de emissão de concentração de alumínio em corpos receptores, já a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre classificação de corpos hídricos e lançamento de efluente, esta última complementada pela CONAMA 430, descreve como padrões de qualidade da água o limite máximo de 0,2 mg/L de alumínio dissolvido para águas doces de classe 3 e 0,1mg/L de alumínio dissolvido para classe 1 de águas doces.

O aspecto organoléptico é o que controla a qualidade da água em relação à presença de alumínio, tal metal está em constante debate no círculo da medicina, sendo relatado como um propenso composto a doença de Alzheimer (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

Silva et al. (2002) ressalta a necessidade da pesquisa sobre os mecanismos celulares da neurotoxicidade do alumínio para avaliar os riscos à saúde e ambientais.

Segundo Tatsch, Gonçalves, Meurer (2010), o alumínio foi recentemente constatado como um metal tóxico ao nosso organismo em altas concentrações podendo provocar danos à saúde.

Em um estudo realizado por Kaizer (2002), foi verificado que pacientes que apresentaram características da doença de Alzheimer, possuíam níveis elevados de alumínio em áreas cerebrais, como nas placas senis e emaranhados neurofibrilares. Essa relação ainda não foi confirmada cientificamente (TATSCH; GONÇALVES; MEURER, 2010).

#### 5.4. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO

Os resíduos sólidos gerados durante o tratamento do efluente, chamados de lodo, em geral, é um material semissólido, composto por matéria orgânica e inorgânica, que apresenta difícil processo de tratamento e alto custo de disposição final (Dias *et al.*, 2014). Obteve-se o volume de 30 mL.L<sup>-1</sup> de lodo gerado após o tratamento com sulfato de alumínio e 35 mL.L<sup>-1</sup> de lodo gerado no tratamento do efluente com tanino.

O lodo proveniente do tratamento de efluente é considerado resíduo sólido, pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). Dias *et al.* (2014), analisou lodo têxtil proveniente de uma lavanderia industrial e o classificou, considerando a concentração de elementos químicos lixiviados e solubilizados das amostras, segundo a NBR 10004, como não perigoso e não inerte, enquadrando-se na Classe II- A. Vale ressaltar que cada efluente e lodo apresenta características próprias e devem ser analisada individualmente.

Filho e Waelkens (2009), estimaram através de equações, que no tratamento de água para abastecimento, para cada 1 mg de Al.L<sup>-1</sup> utilizado no processo de tratamento seriam formados de 4,22 a 5,56 mg de massa seca de sólidos por litro.

Analisou-se também o teor de alumínio nas amostras de lodo, através da espectrometria de emissão atômica por meio de laudos laboratoriais (Anexo VI, VII). O lodo utilizado para esta análise é proveniente de uma segunda coleta.

O lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio apresentou 120 mg/L de resíduo de alumínio, enquanto o lodo gerado através do tratamento com tanino obteve 21,6 mg/L de resíduo de alumínio.

As características dos lodos de estações de tratamento industriais variam de acordo com o tipo de atividade desenvolvida, sendo que cada indústria constitui-se como um caso distinto, com despejos diferentes, portanto, lodos com características distintas. As frações sólidas dos lodos variam de acordo com a natureza do efluente, características físicas e químicas, as quantidades e tipos de aditivos utilizados durante o processo de produção e tratamento de efluente, e com as reações que acontece durante os tratamentos (ROSA, 2004).

Cruz (2004), ao comparar a utilização de coagulantes para o tratamento de efluente proveniente de uma lavanderia industrial, observou que o lodo obtido através do tratamento com tanino apresentou maior teor de material volátil, principalmente matéria orgânica, quando comparado ao lodo proveniente do

tratamento com sulfato de alumínio, apresentando maior perda de massa após tratamento térmico.

Herek et al. (2009), ao caracterizar lodo têxtil, observou que o mesmo apresentou altos teores de alumínio e ferro, 15,9 g/Kg e 16 g/Kg, respectivamente. Teixeira et al (2006) ao analisar o lodo gerado por uma estação de tratamento de água, observou que entre os metais pesados encontrados no lodo, está o alumínio, em concentração de 0,43 ppm.

Junior (2013), ao analisar lodo têxtil proveniente de uma lavanderia industrial, observou que o mesmo apresentou teores elevados de alumínio, ferro e sódio, sendo que o alumínio e ferro foram provavelmente provenientes dos floculantes, sulfato de alumínio e cloreto férrico, utilizados no processo de tratamento. O sódio é característico dos processos de tingimento, onde é utilizado na forma de cloreto de sódio.

Para Cruz (2004) o lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio é de difícil utilização, sendo geralmente encaminhado para aterros de resíduos sólidos industriais, já o lodo gerado através do tratamento com tanino apresenta características orgânicas.

O lodo produzido pelo processo de tratamento com tanino tem potencial para valorização deste resíduo, como fertilizante através de compostagem ou uso para produção de energia por biodigestão ou processos térmicos (SKORONSKI, 2014).

Furtado et al (2014), demonstrou a possibilidade de compostagem do lodo gerado em uma estação de tratamento de água, utilizando tanino como coagulante. Fernandes et al (2015) testou a utilização do lodo, gerado pela aplicação do tanino como coagulante no reuso de água de lavagem de automóveis, na agricultura e observou que, o lodo produzido apresentou resultado favorável para a sua utilização como substrato para a agricultura.

## 5.5. TOXICIDADE



### 5.5.1. Teste de imobilidade/mortalidade com *Artemia salina* L.

O percentual de organismos mortos após a exposição às amostras dos efluentes encontram-se na figura 15. Os dados mostram que, de forma geral, o percentual de mortalidade aumentou conforme o aumento da concentração da amostra (de 3,1% a 100%). Para o efluente têxtil com sulfato de alumínio este aumento foi progressivo, com pequena elevação na concentração de 12,5, se comparada à concentração de 25%. Para o tratamento com o efluente tratado com tanino e tratado pela indústria, o crescente aumento no percentual de mortalidade se deu a partir da concentração de 6,2%. Em ambos os tratamentos, a concentração de 3,1% resultou em maior mortalidade se comparada à concentração de 6,2%, sendo acima de 60% para o efluente tratado com tanino e de 11% para o efluente tratado pela indústria. Já para o efluente A, as variações no percentual de mortalidade foram nas concentrações de 6,2% e 12,5%. Mas, de forma geral, as menores concentrações (<25%) apresentaram mortalidade inferior a 40% e as maiores concentrações (50% e 100%) mortalidade acima de 80%.

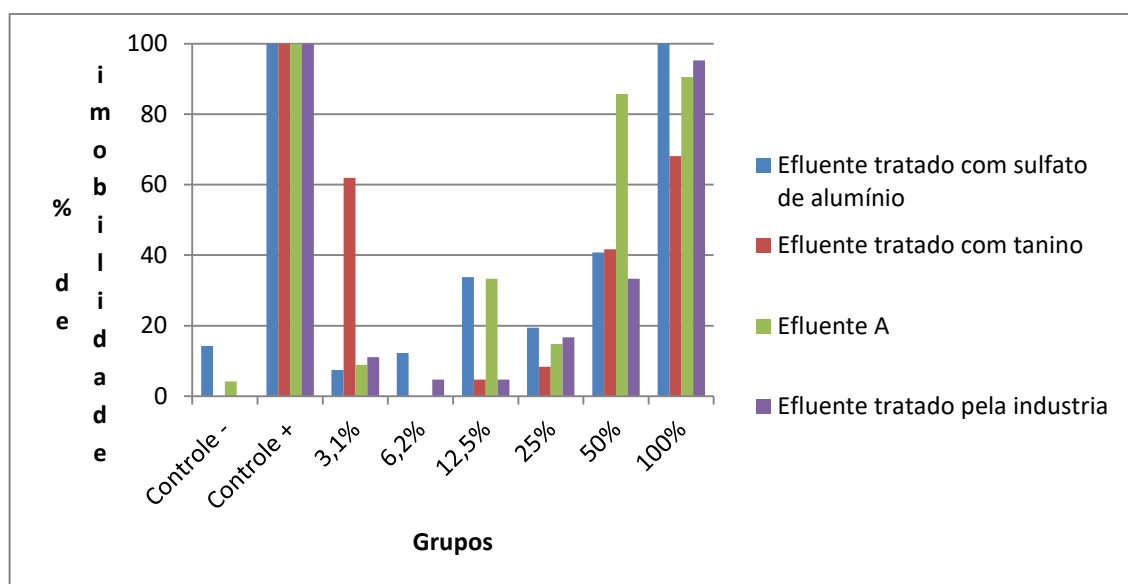


Figura 15 - Percentual de organismos mortos após 24 horas de exposição aos efluentes têxtil bruto, tratado pela indústria, após tratamento com sulfato de alumínio, após tratamento com tanino, controle positivo (Co+) e negativo (Co-). Percentual de organismos

Os dados do teste estatístico de Tukey (Tabela 11) mostram que as amostras de todos os efluentes (tratado com sulfato de alumínio, tanino, efluente A e o efluente tratado da indústria), na concentração de 100%, e a concentração de 50% do efluente A, foram estatisticamente semelhantes ao controle positivo, que

apresentou elevada toxicidade (100% dos organismos). Vale ressaltar que na concentração de 100%, o efluente tratado com tanino, foi o que apresentou o menor percentual de mortalidade, ficando abaixo de 70%, enquanto as demais amostras apresentam percentual de mortalidade acima de 90%. As demais concentrações testadas, de todos os efluentes, assemelharam-se estatisticamente ao controle negativo, o qual apresentou níveis baixos ou nulos de toxicidade.

Tabela 11 - Resultado do teste de Tukey com os dados de percentual de mortalidade dos grupos tratados por 24 horas com os efluentes têxtil bruto, tratado pela indústria, após tratamento com sulfato de alumínio, após tratamento com tanino, controle positivo (Co+) e negativo (Co-).

Concentração	Percentual de mortalidade			
	Alumínio	Tanino	Bruto	Tratado industrial
3,1%	7,407 <sup>a</sup>	61,905 <sup>ab</sup>	8,889 <sup>a</sup>	11,111 <sup>a</sup>
6,2%	12,262 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	4,762 <sup>a</sup>
12,5%	33,730 <sup>a</sup>	4,762 <sup>a</sup>	33,333 <sup>a</sup>	4,762 <sup>a</sup>
25%	19,444 <sup>a</sup>	8,333 <sup>a</sup>	14,815 <sup>ab</sup>	16,667 <sup>a</sup>
50%	40,741 <sup>a</sup>	41,667 <sup>ab</sup>	85,714 <sup>b</sup>	33,333 <sup>a</sup>
100%	100 <sup>b</sup>	68,056 <sup>b</sup>	90,476 <sup>b</sup>	95,238 <sup>b</sup>
Co-	14,286 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	4,167 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>
Co+	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>

\* Letras iguais na mesma coluna não representam diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre as amostras analisadas.

Souza et al. (2015), ao analisarem amostras de efluente têxtil, bruto e após passar por processo de tratamento pela reação de foto-fenton, obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo, pois observaram que em todas as amostras houve indícios de elevados níveis de toxicidade para a *Artemia salina*.

Já Pizato (2013) observou que a concentração letal do efluente têxtil bruto, capaz de causar a morte de 50% dos organismos (CL50), foi de aproximadamente 14,72%, demonstrando toxicidade mais elevada deste efluente se comparado ao do presente estudo, em que a CL50 ficou entre 25% e 50%.

A resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011) estabelece que o efluente não deve causar ou apresentar potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, conforme critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Desta forma, os dados do presente estudo servem de alerta, pois as elevadas concentrações ocasionaram a mortalidade do bioindicador

*A. salina*. A Lei Federal 9433 (BRASIL, 1997), conhecida como Política Nacional de Recursos Hídricos, considera a toxicidade como parâmetro para a cobrança pelo lançamento de esgotos e demais resíduos nos corpos hídricos.

No estado do Paraná, a Resolução CEMA 81 (PARANÁ, 2010), estabelece critérios e padrões de emissões relativos à ecotoxicidade de efluentes líquidos para fontes geradoras, que lancem seus efluentes em águas doces, salinas e salobras no estado, para fins de licenciamento e automonitoramento exigido pelos órgão ambiental competente na outorga e cobrança sobre o lançamento de efluente.

Alguns estados brasileiros também adotam legislações descritas por seus órgãos ambientais. As resoluções SMA 03 (SÃO PAULO, 2000), CONSEMA 129 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), FATMA 017 (SANTA CATARINA, 2002), COPAM 1 (MINAS GERAIS, 2008) e a Norma Técnica INEA 202 (RIO DE JANEIRO, 1986), que estabelecem padrões de toxicidade nos efluentes que serão lançados em corpos hídricos.

#### 5.5.2. Teste de citotoxicidade e mutagenicidade com *Allium cepa* L.

Os dados dos índices mitóticos médios (Figura 16) mostram que o tratamento por 24 horas com o efluente tratado pela indústria (P2) e efluente após o tratamento com sulfato de alumínio (P3) apresentaram IMs estatisticamente maiores que os obtidos para o controle negativo (24 horas) e positivo (24 horas), indicando estímulo das divisões celulares após o tratamento com estas amostras.

Para Rodrigues e Bianchini (2007), a matéria orgânica ou a matéria não removida durante o tratamento e os macronutrientes presentes no efluente bruto podem estimular o alongamento radicular, diminuindo a sensibilidade do teste ou mascarando possíveis efeitos tóxicos. Eremektar et al. (2007) diz que, assim como os nutrientes, parte da carga orgânica pode vir com o efluente bruto, proveniente do processo industrial e parte pode ser adicionada pelo tratamento biológico.

Semelhantemente aos dados do presente estudo, Alvin et al. (2011), ao analisar um efluente têxtil, observou que todas as concentrações de efluente testado apresentaram valores maiores de IM comparados ao controle negativo, sendo que os maiores valores foram das concentrações de 100%, isso pode estar relacionado a menor diluição dos componentes tóxicos como corantes e metais pesados, possivelmente presentes no efluente. Por outro lado, Samuel et al.

(2010), observaram evidente diminuição do IM com o aumento das concentrações de efluente têxtil e no estudo conduzido por Jadhav et al. (2010), ao testar efluentes têxteis tratados por um consorcio de bactérias, observou-se que as amostras apresentaram IM na mesma faixa do controle negativo.

Na comparação dentro do mesmo grupo, observa-se que as amostras do efluente têxtil A (P1), dos efluentes após tratamento com sulfato de alumínio em sua dosagem ótima (P3) e tanino em sua dosagem ótima (P4) e dos lodos gerados pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e tanino (P6) apresentaram diminuição do índice mitótico do tempo 0 hora para 24 horas (após passar pelo tratamento com as amostras). Entretanto, esta redução foi estatisticamente significativa somente para P5 e P6. Porém após o período de recuperação, o índice mitótico aumentou para as amostras P1, P5 e P6. Nas amostras P3 e P4 houve diminuição ainda maior do índice mitótico do período de tratamento para o período de recuperação, indicando que os efeitos sobre a inibição das divisões celulares destas amostras ainda podem ser evidenciados mesmo após a interrupção do contato das raízes de cebola com os efluentes. A amostra P2 foi a única que apresentou leve aumento do índice mitótico durante o tratamento e redução do índice mitótico após o período de recuperação.

Segundo Leme e Marin-Morales (2009), IM significativamente menores que os apresentados pelo controle negativo podem indicar alterações provenientes de ações de substâncias químicas no crescimento dos organismos expostos, enquanto, IM maiores que o controle negativo resultam do aumento na divisão celular, podendo apresentar prejuízos as células, o que leva a proliferação celular desordenada, e consequentemente, a formação de tumores.

Para Kochian et al (2004), o principal efeito do alumínio em vegetais é a diminuição do crescimento radicular, consequentemente diminuindo a expansão celular e o alongamento, e em seguida, a divisão celular. Esse efeito pode ser causado pelo acúmulo de lignina nas raízes, enrijecendo suas paredes celulares e impedindo tal alongamento (PEIXOTO et al., 2007). Isso pode ser observado, quando analisamos o lodo do tratamento com sulfato de alumínio, que é a amostra que apresenta maior índice de alumínio, apresentou também o menor índice mitótico entre todas as amostras.

Barbosa et al (2013), em seu estudo, ao testar a sensibilidade da cebola para determinados substâncias, observou que a mesma apresenta sensibilidade ao alumínio. Esse metal pode ser bioacumulativo, podendo ser transferido via cadeia

trófica, sendo, portanto, prejudicial para os ecossistemas e à saúde humana (PEIXOTO et al., 2007).

Já Palácio et al. (2005), ao pesquisarem a sensibilidade da *A. cepa* à concentrações de determinados metais pesados sulfatados, como o cobre, zinco e chumbo, no rio Toledo, no Distrito Federal, observaram que esses metais foram responsáveis por toxicidade, que influenciou no crescimento das raízes, indicando que embora alguns elementos sejam essenciais ao metabolismo de plantas e animais, dependendo de sua concentração e combinação com outros elementos, podem tornar-se tóxicos.

Para Matsumoto e Marin-Morales (2004), determinados metais em solução aquosa, são capazes de atravessar a membrana celular ou entrar por processos de fagocitose ou pinocitose, podendo causar danos à estrutura do DNA.

Segundo Kranner e Colville (2011), a tolerância ao estresse por metais e as concentrações que os fazem contaminantes ou micronutrientes variam de acordo com a espécie. Para Rodrigues et al (2013), alguns metais em baixas concentrações podem ser essenciais, enquanto, em altas concentrações podem apresentar efeitos fitotóxicos.

Jadhav et al. (2010), observaram decréscimo da fitotoxicidade do efluente têxtil tratado em relação ao efluente bruto, para os parâmetros de germinação de sementes e alongamento de raízes nas espécies *Triticum aestivum* e *Phaseolus mungo* indicando, que os efluentes têxteis brutos representam perigo para o meio ambiente. O mesmo pode ser observado neste trabalho, em que o efluente tratado apresentou menor toxicidade em relação ao efluente bruto.

Nas amostras P1, P2, P3, P4 e controle positivo, ao compararmos o índice mitótico (IM) inicial, após o tratamento e após o tempo de recuperação em cada tratamento, verifica-se que os mesmos são estatisticamente semelhantes, portanto, não ocorreu redução ou estímulo das divisões celulares mitóticas das células de cebola.

Nas amostras P5 e P6, pode-se observar que, o percentual do índice mitótico após o tratamento é estatisticamente diferente do índice mitótico inicial, enquanto o índice mitótico após o tempo de recuperação, na amostra P5, é estatisticamente diferente do índice mitótico após o tratamento, portanto, houve redução do estímulo das divisões celulares mitóticas após o tratamento, porém, após o tempo de recuperação o índice mitótico aumenta e fica estatisticamente semelhante ao índice

mitótico original, ou seja, a toxicidade apresentada pelas amostras pode ser considerada reversível.

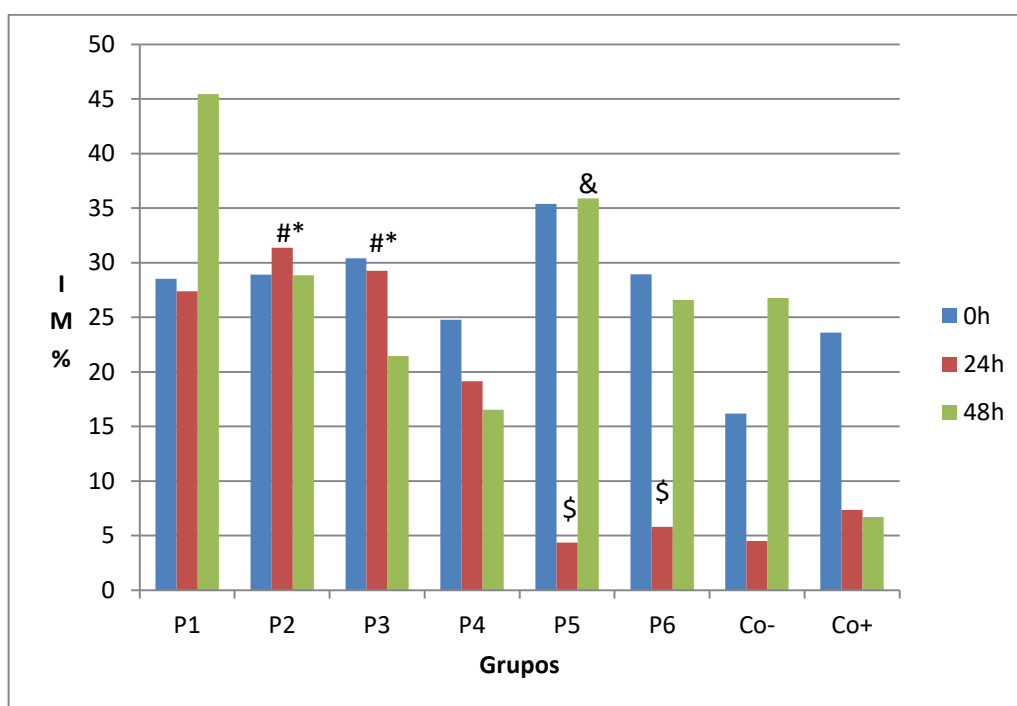


Figura 16 - Percentuais médios dos índices mitóticos (IM%) dos grupos controle negativo (Co-) e positivo (Co+) e tratados com as amostras do efluente A (P1), efluente tratado pela indústria (P2), efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), efluente após tratamento com tanino (P4), lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6).

\* Resultado estatisticamente diferente do controle negativo (24h).

# Resultado estatisticamente diferente do controle positivo (24h).

\$ Resultado estatisticamente diferente do controle de bulbo do próprio ponto (0h)

& Resultado estatisticamente diferente do tratamento do próprio ponto (24 h)

As células das raízes constituem um sistema conveniente para parâmetros macroscópicos, com análises de crescimento e deformidade, e para parâmetros microscópicos, ou seja, aberrações cromossômicas (MATSUMOTO et al, 2004).

Foram analisadas também as anormalidades cromossômicas (AC) (Tabela 12 e Figura 17) e, a partir do percentual de alteração cromossômica pode-se observar que a amostra P5 (0h) e P2 (0h) foram as que apresentaram maiores percentuais de anomalias cromossômicas. Inclusive, o tempo 0 hora do P5 foi diferente do controle negativo (0h) e tempo de tratamento e recuperação do seu próprio grupo (P5 24 h e P5 48h). A amostra P2 apresentou-se estatisticamente semelhante entre os tempos de controle de bulbo, tratamento e recuperação. Porém, todas as amostras apresentaram percentual de AC menores que 2,5%.



										(Conclusão)
P3	0h	0	0	0	0	0	0	0	2	0,040
	24h	0	29	0	0	16	20	0	66	1,328
	48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
P4	0h	0	10	0	0	0	3	0	13	0,254
	24h	0	1	0	0	0	1	0	2	0,039
	48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
P5	0h	0	21	0	23	13	30	0	107	2,139
	24h	0	1	0	0	0	0	0	0	0,000
	48h	0	3	0	0	0	0	0	1	0,045
P6	0h	0	0	0	0	6	10	0	37	0,923
	24h	0	0	0	0	0	0	0	1	0,020
	48h	0	0	0	0	0	2	0	5	0,216

MN= Micronúcleo; CT= Cromossomo tardio; CS= Cromossomos Solto; DS= Desordenada; FG= fragmentada; PT= Ponte.

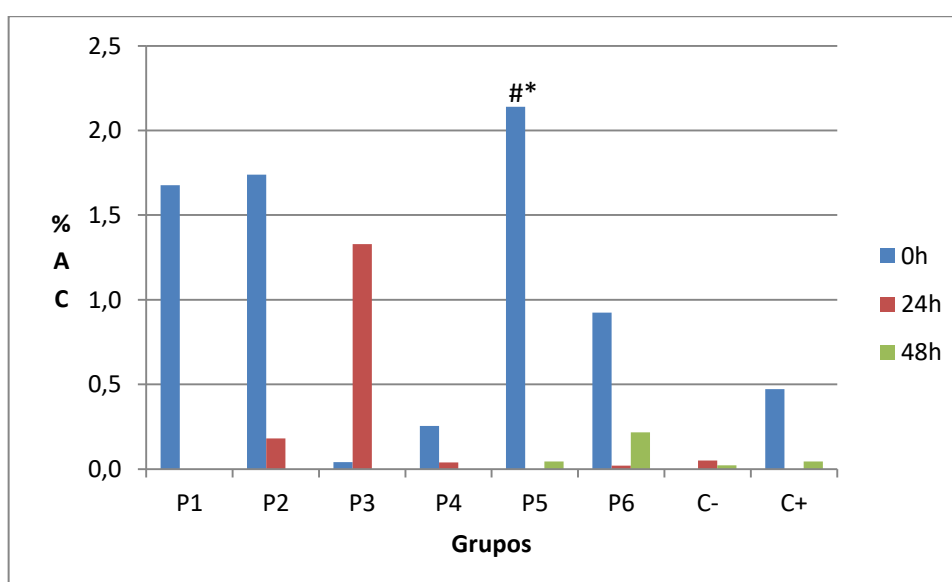


Figura 17 - Percentuais médios dos anormalidades cromossomicas (AC) dos grupos controle negativo (CO-) e positivo (CO+) e tratados com as amostras do efluente A (P1), efluente tratado pela indústria (P2), efluente após tratamento com sulfato de alumínio (P3), efluente após tratamento com tanino (P4), lodo gerado pelo tratamento com sulfato de alumínio (P5) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (P6).

\* Resultado estatisticamente diferente do controle negativo (0 h).

# Resultado estatisticamente diferente do controle positivo (0h).



O lançamento indiscriminado de efluentes decorrentes de atividades industriais, agrícolas e domésticas, que apresentam substâncias químicas, aumenta a degradação dos recursos hídricos e expõe todos os seres vivos a uma grande variedade de compostos mutagênicos e citotóxicos, afetando diretamente os organismos que vivem nesses ambientes e os seres humanos que venham a entrar em contato com o mesmo, evidenciando a necessidade de monitoramento constante de fontes de água por testes rápidos, sensíveis e baratos, instigando o desenvolvimento de metodologias para diminuir tais impactos ambientais (AMARAL et al., 2007).

## 5.6. REAÇÕES FOTOCATALÍTICAS

Para as reações fotocatalíticas uma nova coleta foi realizada, esse novo efluente foi denominado efluente B. Essa nova coleta foi necessária por alguns motivos entre eles o desperdício de efluente e com isso algumas análises não puderam ser realizadas. A caracterização do efluente B pode ser observada na tabela 13.

Tabela 13 - Caracterização nova do efluente B para análises de alumínio em lodo e reator fotocatalítico

Parâmetros	Unidade	Efluente B
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	885,77
Turbidez	FTU	95,75
Cor Verdadeira	-	0,336 <sup>660nm</sup>
pH	-	5,86

As reações fotocatalíticas foram realizadas com o efluente B e o efluente após passar por coagulação/decantação com as concentrações ótimas de cada coagulante e um controle branco. Foram coletadas amostras do efluente a cada 30 minutos, para análises de DQO, turbidez cor verdadeira e pH, por um período de duas horas. Com tais dados averiguou-se se a contribuição do reator fotocatalítico para o tratamento do efluente.

Nas figuras 18, 19 e 20 é possível observar o comportamento dos parâmetros analisados ao longo da reação.

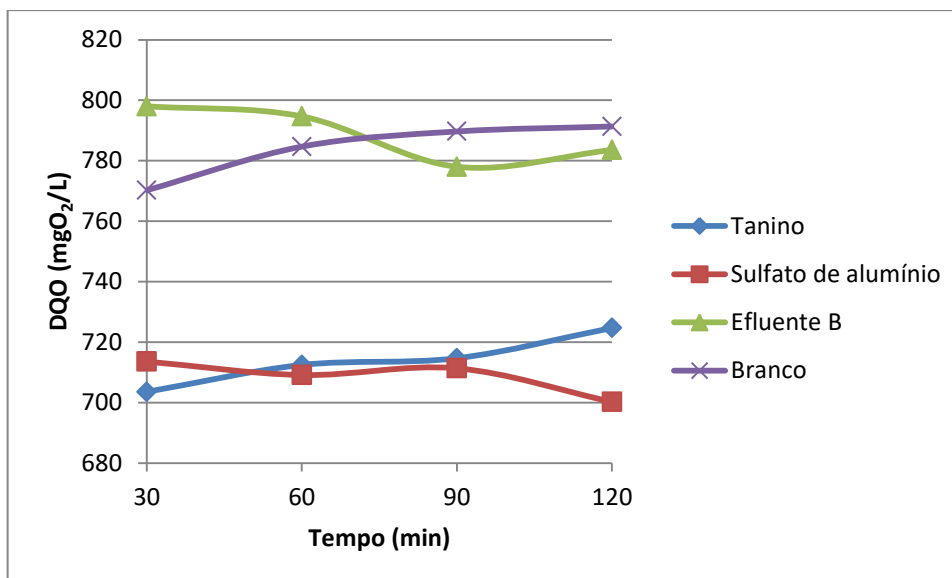


Figura 18 - Comportamento da DQO em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico

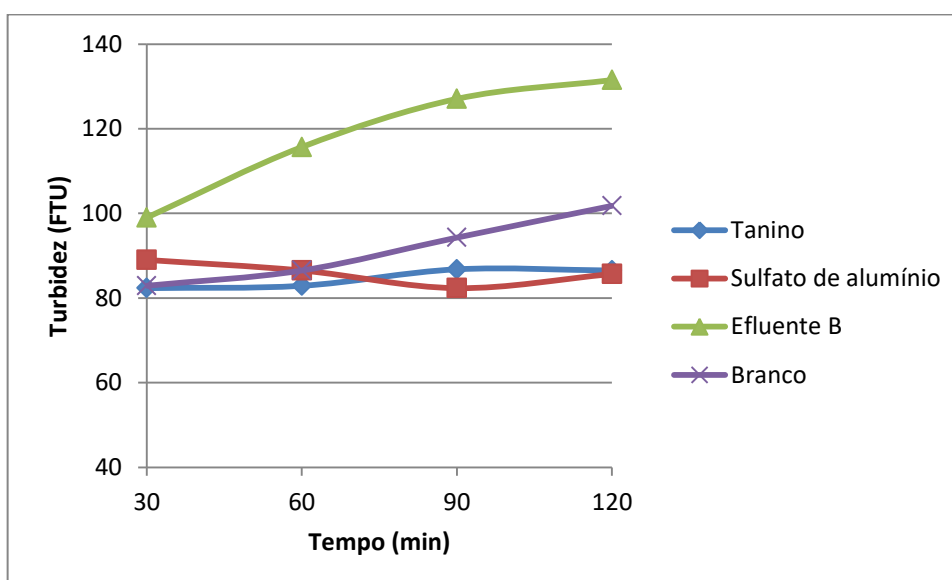


Figura 19 - Comportamento da turbidez em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico

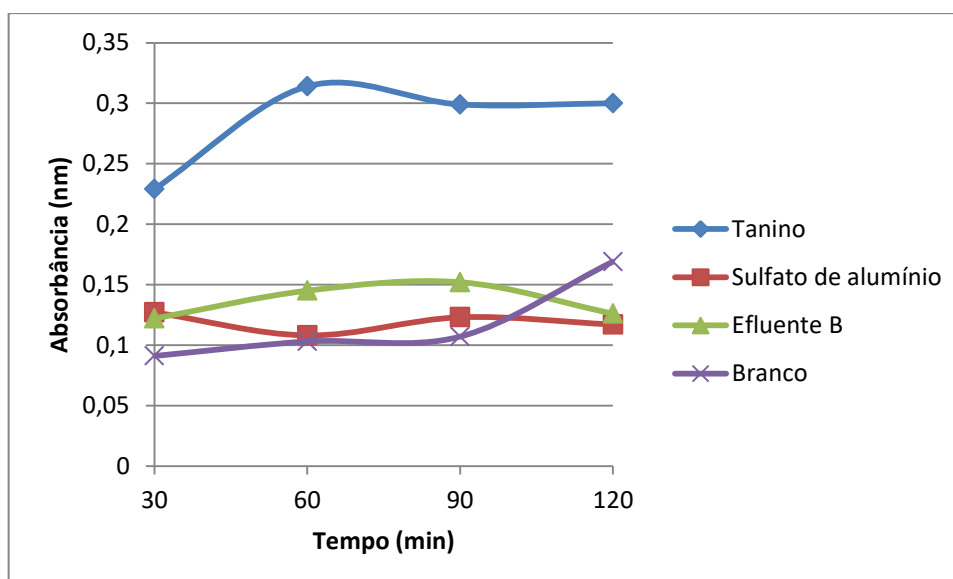


Figura 20 - Comportamento da cor verdadeira em relação ao tempo de exposição no reator fotocatalítico

O experimento ocorreu em três datas diferentes no mesmo horário, das 12 horas às 14 horas, com intuito de se obter um índice de radiação o mais próximo possível para todas as corridas. O primeiro experimento foi realizado com o efluente B e o controle branco, com uma variação na irradiação de  $1812 \text{ KJ/m}^2$  às 12 horas até uma intensidade de  $3208 \text{ KJ/m}^2$  às 14 horas. No segundo experimento foi utilizado o coagulante tanino para a coagulação do efluente antes de ser levado ao reator, a variação da intensidade de irradiação foi de  $1308 \text{ KJ/m}^2$  a  $3075 \text{ KJ/m}^2$ . O último teste foi realizado com o efluente tratado por coagulação utilizando o sulfato de alumínio como coagulante, tendo uma intensidade de  $1765 \text{ KJ/m}^2$  ao meio dia, até uma irradiação de  $2961 \text{ KJ/m}^2$  às 14 horas (INMET, 2017).

As porcentagens de remoção em relação ao efluente bruto e na utilização de cada coagulante estão descritos na Tabela 14.

Tabela 24 - Porcentagens de remoção e pH das amostras após passar pelo reator fotocatalítico

Compostos	Parâmetros	% Remoção			
		30 min	60 min	90 min	120 min
Efluente B	DQO	9,91	10,29	12,17	11,54
	Turbidez	-3,38	-20,79	-32,68	-37,32
	Cor	63,69	56,85	54,76	62,50
	pH	5,01	5,03	5,04	5,07
Branco	DQO	13,05	11,41	10,85	10,66
	Turbidez	13,44	9,67	1,55	-6,29
	Cor	72,92	69,35	68,15	49,70
	pH	4,94	4,99	5,01	4,99
TANINO	DQO	-2,51	-3,80	-4,13	-5,59
	Turbidez	-16,51	-17,30	-22,80	-22,41
	Cor	25,41	-2,28	2,61	2,28
	pH	4,80	4,79	4,75	4,74
Sulfato de Alumínio	DQO	-1,26	-0,63	-0,95	0,63
	Turbidez	-3,89	-0,97	3,89	0,00
	Cor	-18,69	-0,93	-14,95	-9,35
	pH	4,30	4,06	3,83	3,67

\* Os valores negativos apresentados na tabela representam que houve um acréscimo naquele parâmetro.

O efluente B, apresenta um pH de 5,86 já estando abaixo do limite descrito na Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011). Pode-se observar que em todos os tratamentos, o reator consumiu alcalinidade do meio, devendo então ser corrigido para devolução ao corpo receptor.

Para a DQO, a maior porcentagem de remoção ocorreu com o efluente B não tratado com os coagulantes, alcançando um valor de 12,17% aos 90 minutos. Para o efluente controle onde não houve exposição ao  $TiO_2$ , a remoção da DQO foi de 13,05 % aos 30 minutos chegando à 10,66% após 2 horas. Na reação que foi utilizado o coagulante sulfato de alumínio, houve uma variação ao longo da reação, porém após 2 horas houve remoção de 0,63% de DQO. Utilizando o coagulante tanino ao longo da reação houve 5,59% de aumento na DQO.

A turbidez do efluente B e do tratamento realizado com tanino, foi aumentando com o passar do tempo, possivelmente pela presença do catalizador e a agitação do sistema. Já o efluente tratado com sulfato de alumínio ao final do processo, sua turbidez manteve-se a mesma. O efluente controle que recebeu

apenas radiação UV, aumentou sua turbidez no final do processo chegando a 6,29%.

No decorrer do tempo à cor verdadeira apresentou porcentagens de remoção significativas apenas nas corridas do efluente B e no controle branco chegando à remoção de 62,5% e 49,7% respectivamente. Para o efluente tratado com tanino, a porcentagem de remoção foi apenas de 2,28% e no experimento realizado com o coagulante sulfato de alumínio houve um acréscimo na cor verdadeira de 9,35%.

Esses resultados apontam que o catalizador em contato com esses coagulantes pode estar provocando algumas reações químicas, promovendo assim o aumento da cor. Porém é evidente que a radiação solar atua diretamente na remoção da cor.

O efluente têxtil utilizado por Melo et al. (2016), apresentou as seguintes características, DQO 422,38 mgO<sub>2</sub>/L, turbidez de 21,50 FTU e um pH de 7,51. O processo de degradação oxidativa foi realizado adicionando concentrações de TiO<sub>2</sub> juntamente com o efluente em erlenmeyers e disposto a luz do sol sob uma mesa agitadora onde permaneceu sob exposição solar por 120 minutos. O mesmo autor cita que para um efluente real, o método de degradação oxidativa com TiO<sub>2</sub> não apresentou resultados significativos na remoção da cor, mas para o azul de metileno de um efluente sintético a remoção chegou próxima a 99,5%, para o parâmetro DQO obteve-se uma porcentagem de remoção de 16,46%, e o processo reduziu o pH para 7.

Santana; Machado (2002) avaliaram um efluente têxtil e observaram que em um período de 360 minutos, utilizando o TiO<sub>2</sub> como agente catalizador, misturado ao efluente têxtil 1 que é composto por cerca 70% de cores claras e 30% de cores escuras, e utilizando luz artificial, obteve-se uma descoloração de 34% e uma remoção de 12% para o parâmetro DQO.

## 6. CONCLUSÃO

Por meio do presente trabalho, através dos ensaios comparativos entre os coagulantes, tanino e sulfato de alumínio, permitiu-se analisar qual a concentração ideal em que podem ser utilizados no tratamento desse efluente. Tendo em vista as dificuldades e limitações os resultados obtidos foram satisfatórios em relação aos objetivos propostos no início da pesquisa.

Foram definidas as concentrações ótimas para o composto tanino e para o composto sulfato de alumínio de 400 mg/L e 100 mg/L respectivamente, através dos ensaios de jar-test, e comparação de porcentagens de remoção dos parâmetros DQO e cor verdadeira.

Tais resultados apontam para ambos os coagulantes, porcentagens de remoção para a DQO e cor verdadeira do efluente aceitáveis, estando de acordo com as legislações vigentes no estado e no país. O mesmo acontece com a turbidez relacionada à coagulação com sulfato de alumínio.

Nos parâmetros, DQO e turbidez a remoção foi maior utilizando os coagulantes em relação ao tratamento realizado pela indústria, já em relação à cor verdadeira o tratamento biológico aeróbio obteve uma melhor remoção.

Comparando os dois compostos utilizados no processo físico-químico de coagulação as porcentagens de remoção nos parâmetros cor verdadeira e DQO não houve diferenças significativas.

O tratamento com o tanino apresentou custo mais elevado em relação ao tratamento com sulfato de alumínio, até mesmo caso seja utilizado a mesma dosagem dos coagulantes. O custo do tanino é mais elevado pois o produto apresenta uma menor demanda e conseqüentemente menor produção, porém este coagulante apresenta como benefícios a sua biodegradabilidade, é um produto orgânico, geração de lodo também com características orgânicas, sendo que o mesmo pode ser utilizado como composto para o solo, entre outros.

Em relação à geração de lodo, o tratamento com sulfato de alumínio gerou menor volume de lodo. Ambos apresentaram presença de alumínio em sua composição, sendo que o lodo tratado com sulfato de alumínio apresentou teor mais elevado, mais de 5 vezes, que o teor de alumínio do lodo gerado pelo tratamento com tanino.

Ao analisar a toxicidade dos efluentes utilizando *Artemia salina* constatou-se que os efluentes tratados com sulfato de alumínio e tanino, e tratado pela indústria, apresentaram toxicidade apenas na concentração de 100%, sendo que o efluente bruto apresentou níveis de toxicidade nas concentrações de 25, 50 e 100%, podemos, portanto, relacionar que parte da toxicidade vem do próprio efluente e os processos que o mesmo passa na indústria.

Quando utilizamos *Allium cepa L.* para testar a toxicidade das amostras de efluente e lodo, observamos que nas amostras de efluente, bruto, tratado pela indústria e tratados com sulfato de alumínio e tanino, não ocorreu estímulo ou redução da divisão celular mitótica das células. Nos lodos provenientes do tratamento com tanino e sulfato de alumínio houve diminuição do índice mitótico durante o tratamento, porém os organismos conseguiram se recuperar. Todas as amostras apresentaram baixo índice de anomalias cromossômicas, menor que 2,5%, sendo que o efluente após o tratamento com sulfato de alumínio foi o que mais apresentou anomalias cromossômicas nas raízes da cebola durante o tratamento.

Deve-se ainda ressaltar para a escolha do melhor coagulante os valores ambientais da empresa devido aos custos empregados para aquisição de coagulantes, apesar de apresentar um valor maior, ambientalmente o melhor coagulante entre os dois estudados nesse trabalho é o composto a base de tanino, por apresentar melhores porcentagens de remoções em mais parâmetros, mas possui um custo de aquisição quase três vezes maior, desconsiderando os valores de transporte devido que o composto a base de tanino utilizado nesse trabalho é apenas fabricado no estado do Rio Grande do Sul.

Com relação ao processo realizado pela indústria que não esta sendo efetivo na remoção do parâmetro DQO, a combinação do tratamento físico-químico com o biológico aeróbio poderia suprir tal necessidade de remoção.

Como complementação ou até substituição de alguns processos de tratamento, o reator fotocatalítico realizado neste estudo foi eficaz apenas na remoção da cor verdadeira com o efluente, obtendo porcentagens de remoção significativas, podendo assim ser empregado quando o efluente possuir cor elevada.

## REFERÊNCIAS

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Agenda de prioridades Têxtil e Confecção 2015-2018**. São Paulo, 2014.

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL ; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Relatório de acompanhamento setorial: têxtil e confecção**. Campinas, Junho de 2008. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/textil%20e%20confeccao%20junho%2008.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2016.

ADDINSOFT, 2016. Xlstat. Version trial. Software e Guia do Usuário. Disponível em: <<http://www.xlstat.com>>. Acesso em: 1 nov. 2016.

ALI, N.; HAMEED, A.; AHMED, S. Physicochemical characterization and Bioremediation perspective of textile effluent, dyes and metals by indigenous Bacteria. **Journal of hazardous materials**, v. 164, n. 1, p. 322-328, 2009.

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, v. 27, p. 818-824, 2004.

ALVIM, L.B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L.A.; LIMA, C.A.A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 2, 2011.

AMARAL, A.M.; BARBÉRIO, A.; VOLTOLINI, J.C.; BARROS, L.; Avaliação preliminar da citotoxicidade e genotoxicidade, de água da bacia do rio Tapanhon (SP – Brasil) através do teste *Allium* (*Allium cepa*). **Revista Brasileira de toxicologia**, v. 20, n. 1 e 2, p. 67-72, 2007.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. 20 ed. Washington, 1998. 2671 p.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L.. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado à análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 11, n. 4, p. 295 – 304, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.



AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M; As bases toxicológicas da ecotoxicologia. 1. ed., São Carlos: Rima, São Paulo: Intertox, 340 p., 2004.

BARBOSA, R. M.; GALTER, I. N.; PEREIRA, C. L.; BARRETO, L. M.; MARTINS, H. T.; ANDRADE-VIEIRA, L. F.; Competência do *Allium cepa* como modelo em bioensaios de fitotoxicidade. **I Congresso Nacional de Ciências Biológicas**, 2013 Recife, Pernambuco.

BESSEGATO, G. G.; SANTOS, V. P.; LINDINO, C. A. Degradação fotoeletroquímica do herbicida bentazona sobre eletrodos de carbono modificados por TiO<sub>2</sub>. **Quim. Nova**, v. 35, n. 2, p. 332-336, 2012.

BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. **Monomers, polymers and composites from renewable resources**. Editora Elsevier, 2008, 562 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº. 357. **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. Brasília. 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº. 430. **Dispõe sobre as 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. Brasília. 13 mai. 2011.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.433. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Diário Oficial da União. 08 jan. 1997.

BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P.; RAMALHO, T. C. Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação. **Química Nova**, v. 35, n. 4, p. 728-732, 2012.

CARITÁ, R. **Avaliação do potencial genotóxico e mutagênico de amostras de lodos provenientes de estações de tratamento de esgotos de grandes centros urbanos do estado de São Paulo, pela metodologia de aberrações cromossômicas em *Allium cepa***. 2007. 63p. Trabalho de Conclusão (Bacharel e Licenciatura – Ciências Biológicas), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP, 2007.

CARMO, V.A.M.; Recursos hídricos sob influencia de efluentes industriais do polo industrial de Santa Gertrudes. 2013. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Ciências Biológicas) – Instituto de biociência de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2013.

CASTRO-SILVA, M. A.; RÖRIG, L. R.; LAMB, L. H.; HECK, C. A.; DECUSATI, O. G. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulantes orgânicos vegetais (tanato quaternário de amônio)–I. microrganismos filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de efluentes industriais**. Editora Engenho Técnica Ltda, São Paulo, 2009, p 453.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS; ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Têxtil e Confecção: Inovar, Desenvolver e Sustentar / Confederação Nacional da Indústria Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Brasília : CNI/ABIT, 2012. 74 p. (Cadernos setoriais Rio+20).

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. **International workshop advances in cleaner production**, p. 20-22, 2009.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G.; A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n.7, p. 1820-1830, 2008.

COSTA J. S. S.; MANGUEIRA, E. S. V.; SENA, R. F. Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação. **53º Congresso Brasileiro de Química**, 2013, Rio de Janeiro. Química Ampliando Fronteiras, 2013.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.

CRUZ, J.G.; Alternativa para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial. 2004. 76 f. Trabalho de conclusão de Curso (Mestrado profissionalizante em engenharia – engenharia ambiental e tecnologias limpas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004.

DAGUANO, J.K.M.F.; SANTOS, C.; ROGERO, S.O.; Avaliação da citotoxicidade de biocerâmicas desenvolvidas para uso em sistemas de implantes. **Revista Matéria**, v. 12, n. 1, p. 134-139, 2007. Disponível em :< <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10847>>, acesso em: 12 dez 2016.

DEZOTTI, M. **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. 1 ed. Rio de Janeiro. E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2008. 360 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos, SP: RiMa, 2005. 2 v.

DIAS, M.L.J.; RIBEIRO, V.A.S.; ALMEIDA, P.H.S.; Incorporação de lodo têxtil em blocos cerâmicos. **4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2014, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul.

DOS SANTOS RIBEIRO, V. A.; DA SILVA VOLPE, A. L.; TAVARES, C. R. G. Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO e classificação do resíduo sólido gerado. **In: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves – RS, 2012.

EREMEKTAR , G.; SELCUK, H.; MERIC S. Investigation of the relation between COD fractions and the toxicity in a textile finishing industry wastewater: Effect of preozonation. **Desalination**, Amsterdam, v. 211, p. 314-320, 2007.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_textil.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2016.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ. **Panorama da indústria de têxtil no Paraná**. Disponível em: < [http://www.fiepr.org.br/para-sindicatos/estudos-economicos/uploadAddress/Textil13\[35595\].pdf](http://www.fiepr.org.br/para-sindicatos/estudos-economicos/uploadAddress/Textil13[35595].pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2016.

FERNANDES, M.; SKORONSKI, E.; TREVISAN, V.; ALVES, M.V.; ELY, C.; JUAREZ, J.; Aplicação de tanino como coagulante no reuso da água de lavagem de automóveis e a utilização do lodo na agricultura. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, Brasil, v. 9, n. 1, p. 06-16, jan./jun. 2015.

FERREIRA, P. C.; PIAI, K. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 16, n. 1, p. 151-157, 2008.

FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, n. 1, p. 99-112, 1985.

FILHO, S.S.F.; WAELKENS, B.E.; Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso de cloreto de polialumínio e sua disposição em esgotos de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v.14, n.3, p. 317-326, 2009.

FREIRE, R. S., PELEGRINI, R., KUBOTA, L. T., DURÁN, N., PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 651-60, 2001.

FURTADO, M.M.; ZIMMER, A.P.; MEDEIROS, J.S.; SOUZA, H.R.A.J.; SKORONSKI,E; Estudo de obtenção de composto a partir de lodo gerado em

estação de tratamento de água a base de tanino como coagulante. **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014, Florianópolis, Santa Catarina.

GAUTHIER, L.; TARDY, E.; MOUCHET, F.; MARTY, J. Biomonitoring of the genotoxic potential (micronucleus assay) and detoxifying activity (EROD induction) in the River Dadou (France), using the amphibian *Xenopus laevis*. **Science of the Total Environment**. v. 323, p. 47–61, 2004.

GONÇALVES, M.W.; VIEIRA, T.B.; MACIEL, N.M.; CARVALHO, W.F.; LIMA, L.S.F.; GAMBALE, P.G.; CRUZ, A.D.; NOMURA, F.; BASTOS, R.P.; SILVA, D.M. Detecting genomic damages in the frog *Dendropsophus minutus*: preserved versus perturbed areas. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 22, n. 5, p. 3947-3954, 2015.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M. R. P.; RAMALDES, D. L. C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Desidratação de Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, C. V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES – RJ, 2001, 257 p.

GOZÁLVEZ-ZAFRILLA, J. M.; SANZ-ESCRIBANO, D.; LORA-GARCÍA, J.; LEÓN HIDALGO, M.C. Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry. **Desalination**, v. 222, n. 1, p. 272-279, 2008.

GUERRA, R. Ecotoxicological and chemical evaluation of phenolic compounds in industrial effluents. **Chemosphere**. v. 44, n. 8, p. 1737-1747, 2001.

HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L.; Tratamento do efluente de uma indústria têxtil processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Florianópolis, Santa Catarina, v. 7, n.1 e 2, p. 30-36, 2002.

HAROUN, M.; IDRIS, A. Treatment of textile wastewater with an anaerobic fluidized bed reactor. **Desalination**, v. 237, n. 1, p. 357-366, 2009.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

HEREK, L.C.S.; JUNIOR, A.T.S.; PAVEZZI, C.C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G.; Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. **Cerâmica**, v. 55, p. 326-331, 2009.

HODGSON, E..E; *A Textbook of Modern Toxicology*; ; 3rd ed., John Wiley & Sons: New Jersey, 2004.

IEMI – INTELIGENCIA DE MERCADO. **Brasil têxtil 2015: relatório setorial da indústria têxtil**. São Paulo: IEMI, 2015.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26. ed. São Paulo. Editora Edgard blücher Ltda., 1986, 302 p.

INMET. Estações Automáticas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 23 dez. 2017.

JADHAV, J. P.; KALYANI, D. C.; TELKE, A. A.; PHUGARE, S. S.; GOVINDWAR, S. P. Evaluation of the efficacy of a bacterial consortium for the removal of color, reduction of heavy metals, and toxicity from textile dye effluent. **Bioresource Technology**, Barking, v.101, p. 165-173, 2010.

JUNIOR, Mauro Lúcio Dias. **Incorporação de lodo de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos para aplicação na construção civil**. 2013. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013.

JUNIOR, O. M. C.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry-doi: 10.4025/actascitechnol.v35i1.11685. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 1, p. 83-88, 2012.

JUNIOR, O. M. C.; STRÖHER, A. P.; BARROS, M. A. S. D.; PERREIRA, N. C. Tratamento de efluente da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando coagulantes naturais. **Revista Ciências Exatas**, v. 18, n. 1, 2012.

JACOBS, A. SynthLight Handbook, 2004. Disponível em: <<http://www.new-learn.info/packages/synthlight/handbook/doc/chapter1.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

KAIZER, R. R.; MALDONADO, P. A.; SPANEVELLO, R. M.; CORRÊA, M. C.; GONÇALVES, J. F.; BECKER, L. V.; SCHETINGER, M. R. C. The effect of aluminium on NTPDase and 5'-nucleotidase activities from rat synaptosomes and platelets. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v. 25, n. 6, p. 381-386, 2007.

KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal (American Water Works Association)**, p. 88-91, 1991.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—A review. **Journal of environmental management**, v. 128, p. 949-963, 2013.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PIÑEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils: mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology, **Palo Alto**, v. 55, n. 1, p. 459-493, 2004.

KRANNER, I.; COLVILLE, L. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v.72, p.93-105, 2011.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LEÃO, M. M. D. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. Belo Horizonte. Segrad Editora e Gráfica, 2002. 356 p.

LEME, D.M.; MARIN-MORALES, M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p. 71-81, 2009.

LEME, E. J. A. **Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias**. 2 ed. São Carlos. EduFSCar, 2014. 599 p.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. Green chemistry: the 12 principles of green chemistry and its insertion in the teach and research activities. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

LIBÂNIO, M.; **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. ed, Campinas: Editora Átomo, 2010.

LIMA, G. G. C.; LIMA, C. A. P.; VIEIRA, F. F.; SILVA, Z. E.; SANTOS, C. A. C. Estudo e Análise de Reatores Fotocatalíticos. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Natal- RN, Brasil, 2000. 1 disco laser.

MACHADO, L. L. **Utilização de composto carvão/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e pirita como catalisadores da peroxidação de efluentes têxteis**. 2007. 150 f. Dissertação (pós-graduação em engenharia química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007

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**, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.

MARIN-MORALES, M. M. **Mutagênese ambiental: revisão da produção científica**. 2009. Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro/SP.

MARTINI, M. V. P.; MORUZZI, R. B. Tratabilidade de águas pluviais utilizando coagulante natural a base de tanino visando fins não potáveis. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 22, p. 15-23, 2013.

MATSUMOTO, S.T.; MARIN-MORALES, M.A. Mutagenic potential evaluation of the water of a river that receives tannery effluents using the *Allium cepa* test system. **Cytologia**, Tokyo, v.69, n.4, p.399-408, 2004.

MELO, M. M. M.; ROCHA, E. M. R.; SILVA, E. L.; CAHINO, A. M.; SILVA, E. S.; Aplicação da fotocatalise solar heterogênea em efluente oriundo de indústrias têxteis. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande, 2016.

MERZOUK, B.; MADANI, K.; SEKKI, A. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. **Desalination**, v. 250, n. 2, p. 573-577, 2010.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria : uso racional e reuso**. São Paulo. Oficina de textos, 2005. 144 p.

MIGLIORI, L. et al. **Toxicity of several important agricultural antibiotics to *Artemia***, Roma, Italy, v.31, p. 1801-1806, jul, 1997.

MIHELICIC, J. R.; ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia Ambiental: fundamentos, sustentabilidade e projetos**. Tradução Ramira Maria Silveira da Silva Peres; Revisão técnica Eduardo Cleto Pires. Rio de Janeiro. LTC, 2012. 617 p.

MILLER, S. M., FUGATE, E. J.; CRAVER, V. O.; SMITH, J. A.; ZIMMERMAN, J. B. Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 12, p. 4274-4279, 2008.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. Deliberação Normativa Conjunta nº 1. **Dispões 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 providências**. Belo Horizonte. 2008.

MOTA, A. L. N. Desenvolvimento de um reator fotoquímico aplicável no tratamento de efluentes fenólicos presentes na indústria do petróleo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química nova**, v. 21, n. 1, p. 69-72, 1998.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. rev. atual. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012. 315 p.

OGA, S.; CAMARGO, M.M.A.; BATISTUZZO, J.A.O.; **Fundamentos de toxicologia**, 3. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.

PALÁCIO, S.M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; GALANTE, R.M.; ZENATTI, D.C.; SEOLATTO, A.A.; LORENZ, E.K.; ZACARKIM, C.E., ROSSI N.; RIZZUTO M.A.;

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. Resolução nº. 70. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais**. Curitiba. 2009.

PAULUS, M.; COLISELLI, N.; SPECHT, T. M.; SCHNEIDER, M. Consumo e custos da água tratada de um pequeno município do Extremo Oeste Catarinense. **Revista Infinity**, n. 1, 2016.

PEIXOTO, P.H.P.; PIMENTA, D.S.; CAMBRAIA, J.; Alerações morfológica e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio, **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 17-25, Campinas, São Paulo, 2007.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)—An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment—A review. **Arabian Journal of Chemistry**, 2014

QUEIROZ, M. T. A.; DE LIMA, L. R. P.; ALVIM, L. B.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1991.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente – INEA. Norma Técnica nº 202. **Estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP**. Rio de Janeiro. 1986.

RIO GRANDE DE SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 129. **Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2006.

RODRIGUES, C. S. D.; MADEIRA, L. M.; BOAVENTURA, R. A. R. Treatment of textile effluent by chemical (Fenton's Reagent) and biological (sequencing batch reactor) oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 2, p. 1551-1559, 2009.

RODRIGUES, L.C.A.; BARBOA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B.S.; BEIJO, L.A.; KUMMROW, F.; Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimentos de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v.17, n.10, p. 1099 – 1108, 2013.

RODRIGUES, S. C.; BIANCHINI, A. Extraction and concentration of freshwater – and seawater – derived dissolved organic matter for use in aquatic toxicology studies. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, Rio Grande, v. 2, n. 3, p. 275-281, 2007.

ROOHI M.; RIAZ M.; ARIF M. S.; SHAHZAD S. M.; YASMEEN T.; RIAZ M. A.; TAHIR S.; MAHMOOD K. Varied effects of untreated textile wastewater onto soil carbon mineralization and associated biochemical properties of a dryland agricultural soil. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 530-540, 2016.

ROSA, E. V. C. da. **Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: estudos dos aspectos físicos-químicos, agrônômicos, e ecotoxicológicos**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2004.



SALAZAR, R. F. S.; FILHO, H. J. I. **Aplicação de processo oxidativo avançado baseado em fotocatalise heterogênea (TiO<sub>2</sub>/UV solar) para o pré-tratamento de afluente lácteo.** AUGMDOMUS, v. 1, 2009.

SALGADO, B. C. B., NOGUEIRA, M. I. C., RODRIGUES, K. A., SAMPAIO, G., BUARQUE, H. L. D. B., ARAÚJO, R. D. S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 1-8, 2009.

SAMUEL, O. S.; OSUALA, F. I.; ODEIGAH, P. G. C. Cytogenotoxicity evaluation of two industrial effluents using *Allium cepa* assay. **African Journal of Environmental Science and Technology**, Victoria Island, v. 4, n. 1, p. 21-27, 2010.

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente – FATMA. Portaria nº 17. **Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens, e dá outras providências.** Florianópolis. 2002.

SANTANA, V. S.; MACHADO, N. R. C. F. Degradação fotocatalítica de efluentes de indústria têxtil empregando TiO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sob irradiação visível. **Acta Scientiarum Technology**, v. 24, p. 1681-1686, 2008.

SÃO PAULO. Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 8.468. **Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.** São Paulo. 1976.

SÃO PAULO. Secretária do Meio Ambiente – SMA. Resolução nº 03. **O secretário do Meio Ambiente, no uso de suas atribuições legais e, em face da deliberação da Diretoria Plena da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental que aprovou a necessidade de implementar o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo.** São Paulo. 2000.

SAQUET, D. B. A expansão da indústria de confecção no Sudoeste do Paraná. **Geosul**, Florianópolis, v. 23, n. 46, p 55-78, jul./dez. 2008.

SELCUK, H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. **Dyes and Pigments**, v. 64, n. 3, p. 217-222, 2005.

SILVA, A. C. **Degradação de corantes em meio salino por ozonização.** 123 f. Tese (Doutorado em ciências em engenharia química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, F. J. A.; NETO, J. W. D. S.; MOTA, F. S. B.; SANTOS, G. P. Descolorização de efluentes de indústria têxtil utilizando coagulante natural (moringa oleifera e quitosana). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, p. 1-5. 2001.

SILVA, J.; FONSECA, M. B. Estudos Toxicológicos no Ambiente e na Saúde Humana. In: SILVA, Juliana da; ERDTMANN, Bernardo; HENRIQUES, João Antonio Pegas. **Genética Toxicológica.** Porto Alegre: Alcance, 2003.

SILVA, V. S.; CORDEIRO, J. M.; MATOS, M. J.; OLIVEIRA, C. R.; GONÇALVES, P. P. Aluminum accumulation and membrane fluidity alteration in synaptosomes isolated from rat brain cortex following aluminum ingestion: effect of cholesterol. **Neuroscience research**, v. 44, n. 2, p. 181-193, 2002.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC/Study of the application of tannin in the treatment of drinking water from the Tubarão River at Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, p. 679, 2014.

SOMAR METEOROLOGIA. Temperaturas Médias Mensais do município de Dois Vizinhos. Disponível em: <[www.somarmeteorologia.com.br](http://www.somarmeteorologia.com.br)>. Acesso em 13 dez. 2016.

SOUZA, A. P. C.; SOUZA, E. A. M.; PEREIRA, N. C. Análise da utilização do coagulante tanino na remoção da cor, turbidez e dco do efluente têxtil de uma lavanderia industrial. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 16320-16326, 2015.

SOUZA, P.; PEREIRA, N. C.; KREUTZ, C.; SCHIAVON, G. J. Aplicação de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação para o tratamento de efluente têxtil. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 834-839, 2015

SOUZA, P. C. D.; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S. CANSOLIN FILHO, N., Rodrigues, P. H., & Jamarim, V. M. Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação. **e-xacta**, v. 9, n. 2, 2016.

STROHER, A. P.; LOPES DE MENEZES, M.; BERGAMASCO, R.; CURVELO PEREIRA, N. Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **ENGEVISTA**, v. 15, n. 3, 2013.

TABACNIKS M.H.; Correlation between heavy metal ions (Copper, Zinc, Lead) concentrations and root length of *Allium cepa* L. in polluted river water Braz. Arch. **Biol. Technol**, v. 48, p. 191-196, 2005.

TANAC. TANFLOC SG, s.d. Disponível em: <<http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/aguas>>. Acesso em: 15 out. 2016.

TATSCH, F. R. P.; GONÇALVES, V. C.; MEURER, E. J. Alumínio total e solúvel em amostras de erva mate comercializadas no Rio Grande do Sul. **Scientia agraria**, v. 11, n. 1, p. 83-86, 2010.

TEIXEIRA, S.R.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G.T.A.; Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, v. 52, p. 215-220, 2006.

TOLEDO, R. A. S., Tecnologia da Reciclagem. **Química Têxtil**, p.8-14, Março de 2004.

TOSATO, J. C.; HALASZ, M. R. T. **Tratamento de efluentes têxteis utilizando processos físico-químicos e oxidativos avançados**. Faculdade de Aracruz–Espírito Santo, 2011.

TOSATO JR, J.C.; HALASZ, M.R.T.; Tratamento de efluentes têxteis utilizando processos físico-químicos e oxidativos avançados. **3rd international workshop advances in cleaner production**, 2011, São Paulo.

ÜSTÜN, G. E.; SOLMAZ, S. K. A.; BIRGÜL, A. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion exchange—A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 2, p. 425-440, 2007.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º ed. Editora UFMG, 2005, 452p.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, 2012.

YU, M.H.; *Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants*, 2nd ed., CRC Press: Boca Raton, 2005.

ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E.; Ecotoxicologia aquática - princípios e aplicações. 2. ed., São Carlos: Rima, 486 p., 2008.

ZAGONEL, J. T.; BUSS, M. V.; MENEZES J. C. S. S. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de águas residuárias de uma lavanderia de jeans. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 3, p. 5-14, 2015.

## ANEXO I – Laudo laboratorial DBO e OD do efluente A


**LABORATÓRIO PARA GARANTIA DA QUALIDADE  
ANÁLISES DE ALIMENTOS E AMBIENTAIS**

## RELATÓRIO DE ENSAIO

2668 / 2016

## DADOS DO SOLICITANTE

Solicitante: VIVIAN FERNANDA WIESENHUTTER RODRIGUES  
 CNPJ/CNP: 09.0627.099-82  
 Endereço: Rua Romeu Lauco Wefang, 20 - Centro CEP.: 85601-020 Francisco Beltrão - PR  
 Telefone: — e-mail: vivian.fw@gmail.com

## DADOS DA AMOSTRA

Desc. da Amostra: EFLUENTE - BRLTO  
 Data de Entrada: 28/06/2016 17:05 Data e Hora da Coleta: 28/06/2016 09:00  
 Data de Fabricação: NI\* Data da Validade: NI\*  
 Embalagem: frasco plástico N° do Lote: NI\*  
 Temp. de Coleta: NI\* N° do Lacre: NI\*  
 Temp. no Receb.: 7 °C Quantidade de Amostra: 500 mL/litro  
 Observações: —

## RESULTADOS

## FISICO-QUÍMICO

ENSAIO	DT/HR INICIO	DT. FIM	REFERENCIA	RESULTADO	I.M.	UNIDADE	METODOLOGIA
Demanda Bioquímica de Oxigênio	20/09/15 13:30	05/10/16	(*)	72,0	<=	mg/L	5MPW - Método 5210 C
Oxigênio Dissolvido	29/09/15 17:15	23/02/16	(*)	6,11	<=	mg/L	5MPW Método 4500 O G

Legenda: (\*) VALOR DE REFERÊNCIA ESTIPULADO PELO INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP

## Metodologia:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ND Edition, 2012.

Observação: Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada; UFG: Unidade formadora de colônia; N.º: Não Informado; I.M.: Incerteza de Medição

Francisco Beltrão, 03 de Outubro de 2016

*[Assinatura]*  
 Arizango A. Am. da Silva  
 Responsável Técnica  
 CRD: 65427/270

## ANEXO II – Laudo laboratorial DBO e OD do efluente biologicamente tratado


**LABORATÓRIO PARA GARANTIA DA QUALIDADE  
ANÁLISES DE ALIMENTOS E AMBIENTAIS**

## RELATÓRIO DE ENSAIO

2669 / 2016

## DADOS DO SOLICITANTE

Solicitante: VIVIAN FERNANDA WESENIJUTTER RODRIGUES  
 CNPJ/CPF: 070.527.089-82  
 Endereço: Rua Raimundo Leão Werlang, 20 - Centro - CEP: 85501020 - Francisco Beltrão - PR  
 Telefone: --- e-mail: vivian.fw@gmail.com

## DADOS DA AMOSTRA

Desc. da Amostra: EFLUENTE - TRATADO  
 Data de Entrada: 29/09/2016 17:05  
 Data de Fabricação: NI\*  
 Embalagem: frasco plástico  
 Temp. de Coleta: NI\*  
 Temp. no Réceb.: 7 °C  
 Observações: ---

Data e Hora da Coleta: 29/09/2016 09:00  
 Data da Validade: NI\*  
 Nº do Lote: NI\*  
 Nº do Lacre: NI\*  
 Quantidade de Amostra: 500 mililitros

## RESULTADOS

## FÍSICO-QUÍMICO

ENSAIO	DT/HR INICIO	DT. FIM	REFERÊNCIA	RESULTADO	I.M.	UNIDADE	METODOLOGIA
Demanda Química de Oxigênio	30/09/16 13:30	05/10/16	(*)	26,0	-x-	mg/L	SMWW - Método 5210 C
Oxigênio Dissolvido	25/09/16 17:21	29/09/16	(*)	6,44	-x-	mg/L	SMWW - Método 4500 O C

Legenda: (\*) VALOR DE REFERÊNCIA ESTIPULADO PELO INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP

## Metodologia:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 ND Edition, 2012.

Observação: Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada, UFC. Unidade Formadora de Colônia; NI(\*): Não Informado; I.M.: Índice de Medição.

Francisco Beltrão, 05 de Outubro de 2016

*Andréia M. L. de Lara*  
 Andréia M. L. de Lara  
 Responsável Técnica  
 CRB 0 66427/07D



## ANEXO III – Laudo laboratorial, determinação de alumínio no efluente tratado com tanino



### LABORATÓRIO PARA GARANTIA DA QUALIDADE ANÁLISES DE ALIMENTOS E AMBIENTAIS

#### RELATÓRIO DE ENSAIO

3387 / 2016

#### DADOS DO SOLICITANTE

Solicitante: LUAN HENRIQUE GUDOSKI  
 CNPJ/CPF: 086.128.999-40  
 Endereço: Rua Santiago, 262 - Latreille CEP.:85660000 - Dois Vizinhos - PR  
 Telefone: 999749738 e-mail: luan\_dv.gudoski@hotmail.com

#### DADOS DA AMOSTRA

Desc. da Amostra: EFLUENTE - TANINO  
 Data de Entrada: 09/12/2016 14:58 Data e Hora da Coleta: 09/12/2016 13:00  
 Data de Fabricação: NI\* Data da Validade: NI\*  
 Embalagem: frasco plástico Nº do Lote: NI\*  
 Temp. de Coleta: NI\* Nº do Lacre: NI\*  
 Temp. no Receb.: 23 °C Quantidade de Amostra: 500 mililitro  
 Observações: —

#### RESULTADOS

##### FÍSICO-QUÍMICO

ENSAIO	DT/HR INICIO	DT. FIM	REFERENCIA	RESULTADO	I.M.	UNIDADE	METODOLOGIA
Alumínio	09/12/16 15:06	09/12/16	max. 0,1 (*)	0,14	+/- 0,01	mg/L	SMWW - Método 3500 Al B

**Legenda:** (\*) CONAMA 357/2005 - Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes

##### Metodologia:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ND Edition, 2012.

**Observação:** Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada; NMP: Número mais provável; UFC: Unidade formadora de colônia ; NI(\*): Não Informado ; I.M. :Incerteza de Medição

Francisco Beltrão, 09 de Dezembro de 2016

Arizangela Antunes de Lara  
 Responsável Técnica  
 CRBio 66427/07 D

## ANEXO IV – Laudo laboratorial, determinação de alumínio no efluente tratado com sulfato de alumínio



### LABORATÓRIO PARA GARANTIA DA QUALIDADE ANÁLISES DE ALIMENTOS E AMBIENTAIS

#### RELATÓRIO DE ENSAIO

**3386 / 2016**

#### DADOS DO SOLICITANTE

Solicitante: LUAN HENRIQUE GUDOSKI  
 CNPJ/CPF: 086.128.999-40  
 Endereço: Rua Santiago, 262 - Latreille CEP.:85660000 - Dois Vizinhos - PR  
 Telefone: 999749738 e-mail: luan\_dv.gudoski@hotmail.com

#### DADOS DA AMOSTRA

Desc. da Amostra: EFLUENTE - ALUMÍNIO  
 Data de Entrada: 09/12/2016 14:55  
 Data de Fabricação: NI\*  
 Embalagem: frasco plástico  
 Temp. de Coleta: NI\*  
 Temp. no Receb.: 23 °C  
 Observações: —

Data e Hora da Coleta: 09/12/2016 13:00  
 Data da Validade: NI\*  
 Nº do Lote: NI\*  
 Nº do Lacre: NI\*  
 Quantidade de Amostra: 500 mililitro

#### RESULTADOS

##### FÍSICO-QUÍMICO

ENSAIO	DT/HR INICIO	DT. FIM	REFERENCIA	RESULTADO	I.M.	UNIDADE	METODOLOGIA
Alumínio	09/12/16 15:06	09/12/16	max. 0,1 (*)	0,22	+/- 0,01	mg/L	SMWW - Método 3500 Al B

**Legenda:** (\*) CONAMA 357/2005 - Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes

##### Metodologia:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ND Edition, 2012.

**Observação:** Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada; NMP: Número mais provável; UFC: Unidade formadora de colônia ; NI(\*): Não Informado ; I.M. :Incerteza de Medição

Francisco Beltrão, 09 de Dezembro de 2016

Arizangela Antunes de Lara  
 Responsável Técnica  
 CRBio 66427/07 D



## ANEXO V – Laudo laboratorial, determinação de alumínio no efluente bruto


**LABORATÓRIO PARA GARANTIA DA QUALIDADE  
ANÁLISES DE ALIMENTOS E AMBIENTAIS**
**RELATÓRIO DE ENSAIO**
**3439 / 2016**
**DADOS DO SOLICITANTE**

Solicitante: LUAN HENRIQUE GUDOSKI  
 CNPJ/CPF: 086.128.999-40  
 Endereço: Rua Santiago, 262 - Latreille CEP.:85660000 - Dois Vizinhos - PR  
 Telefone: 999749738 e-mail: luan\_dv.gudoski@hotmail.com

**DADOS DA AMOSTRA**

Desc. da Amostra: EFLUENTE - BRUTO  
 Data de Entrada: 13/12/2016 16:54  
 Data de Fabricação: NI\*  
 Embalagem: frasco plástico  
 Temp. de Coleta: NI\*  
 Temp. no Receb.: 20 °C  
 Observações: ---

Data e Hora da Coleta: 13/12/2016 16:00  
 Data da Validade: NI\*  
 Nº do Lote: NI\*  
 Nº do Lacre: NI\*  
 Quantidade de Amostra: 400 mililitro

**RESULTADOS**
**FÍSICO-QUÍMICO**

ENSAIO	DT/HR INICIO	DT. FIM	REFERENCIA	RESULTADO	I.M.	UNIDADE	METODOLOGIA
Alumínio	13/12/16 17:10	13/12/16	max. 0,1 (*)	< 0,01	+/- 0,01	mg/L	SMWW - Método 3500 Al B

Legenda: (\*) CONAMA 357/2005 - Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes

**Metodologia:**

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ND Edition, 2012.

Observação: Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada; UFC: Unidade formadora de colônia ; NI(\*): Não informado ; I.M.: Incerteza de Medição

Francisco Beltrão, 14 de Dezembro de 2016

Arizangela Antunes de Lara  
 Responsável Técnica  
 CRBio 66427/07D

## ANEXO VI – Laudo laboratorial, determinação de alumínio no lodo tratado com tanino



www.a3q.com.br

### Dados do Solicitante

Solicitante: <b>LUAN HENRIQUE GUDOSKI - UTFPR-FB</b>			CNPJ/CPF: <b>08612899940</b>	Validação do relatório 
Endereço: <b>AVENIDA PREFEITO GUIOMAR LOPES Nº 281</b>			CEP: <b>85602510</b>	
Cidade: <b>FRANCISCO BELTRAO</b>	Estado: <b>PR</b>	Responsável pela solicitação: <b>LUAN HENRIQUE GUDOSKI</b>	Telefone: <b>46 99974-9738</b>	

### Dados da Amostra

Ordem Serviço: <b>9159201</b>	Código de amostra: <b>78FQ17</b>				
Local de amostragem / Órgão expedidor: <b>utfpr-fb</b>					
Descrição de amostra (Tipo): <b>LODO - 400</b>			Lote/Lacre: <b>NA</b>		
Fabricante: <b>LUAN GUDOSKI</b>			Resp. coleta: <b>SOLICITANTE - LUAN GUDOSKI</b>		
Fabricação: <b>03/01/2017</b>	Validade: <b>NA</b>	Coleta: <b>NA NA</b>	Temp. Coleta: <b>NA</b>	Ponto de coleta: <b>UTFPR-FB -</b>	
Remessa: <b>04/01/2017</b>	Recabimento: <b>04/01/2017 10:00</b>	Etiqueta: <b>400</b>	Temp. recabimento: <b>12°C</b>	Condições de amostra: <b>NORMAL - LACRADO</b>	

### Relatório de Ensaio Físico-Químico - 9.159.201-0

Ensaio	Resultado	Unidade	Início	Fim	Referência	LQ
<sup>(1)</sup> ALUMÍNIO, resíduo	<b>21,80</b>	mg/L	04-01-2017	05-01-2017	Sem valor de Referência	0,015

#### Abreviatura:

NA = Não aplicado | NI = Não informado | LQ = Limite de Quantificação | NE = Não Especificado | ND = Não Detectável | VMP = Valor Máximo Permitido

#### Metodologia(s):

(1) Espectrômetro de Emissão Atômica - ICP

#### Informações adicionais:

Todas as informações constam nos dados brutos das análises e estão a disposição do solicitante.  
O(s) resultado(s) desta(s) análise(s) tem significado restrito e se aplica(m) somente a(s) amostra(s) analisada(s).  
Este relatório de ensaio somente pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração.  
Procedimento de amostragem: Plano de amostragem é de responsabilidade do solicitante.

#### Comentário(s):

Nota: Opiniões e interpretações não fazem parte do escopo deste laboratório.

CRQ: 09303019 - IX Região  
Alexandre Silva dos Santos

CRQ: 8373407-D  
Lilian Patricia Ramos

CRF PR: 25167  
Lelaine E. R. Xavier

CRF PR: 716  
Alvaro Argenta FID



Pós-Única, 335 - Alto Alegre - 85065-2-0 - Curitiba - PR  
Fone: 41 3333-6376 - Fax: 41 3333-16-9  
CNPJ: 05.612.941/0001-79

PR: 41 3333-6376 - 41 3333-16-9  
FAX: 41 3333-16-9  
www.a3q.com.br

SAVANTES - L. 661-1 - 11 0800-3008  
LUAZINHO - 11 4040-3008  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE QUALIDADE - 11 4040-3008

## ANEXO VII – Laudo laboratorial, determinação de alumínio no lodo tratado com sulfato de alumínio



www.a3q.com.br

### Dados do Solicitante

Solicitante: <b>LUAN HENRIQUE GUDOSKI - UTFPR-FB</b>			CPF/CNPJ: <b>08612899940</b>	Validação do relatório 
Endereço: <b>AVENIDA PREFEITO GUIOMAR LOPES Nº 281</b>			CEP: <b>85602510</b>	
Cidade: <b>FRANCISCO BELTRAO</b>	Estado: <b>PR</b>	Responsável pela solicitação: <b>LUAN HENRIQUE GUDOSKI</b>	Telefone: <b>46 99974-9738</b>	

### Dados da Amostra

Ordem Serviço: <b>9159200</b>	Código de amostra: <b>77FQ17</b>				
Local de amostragem / Órgão expedidor: <b>utfpr-fb</b>					
Descrição de amostra (Tipo): <b>LODO - 100</b>			Lote/Lacre: <b>NA</b>		
Fabricante: <b>LUAN GUDOSKI</b>			Resp. coleta: <b>SOLICITANTE - LUAN GUDOSKI</b>		
Fabricação: <b>03/01/2017</b>	Validade: <b>NA</b>	Coleta: <b>NA NA</b>	Temp. Coleta: <b>NA</b>	Ponto de coleta: <b>UTFPR-FB -</b>	
Remessa: <b>04/01/2017</b>	Recabimento: <b>04/01/2017 10:00</b>	Etiqueta: <b>100</b>	Temp. recabimento: <b>12°C</b>	Condições de amostra: <b>NORMAL - LACRADO</b>	

### Relatório de Ensaio Físico-Químico - 9.159.200-0

Ensaio	Resultado	Unidade	Início	Fim	Referência	LQ
<sup>(1)</sup> ALUMÍNIO, resíduo	120,00	mg/L	04-01-2017	05-01-2017	Sem valor de Referência	0,015

#### Abreviatura:

NA = Não aplicado | NI = Não informado | LQ = Limite de Quantificação | NE = Não Especificado | ND = Não Detectável | VMP = Valor Máximo Permitido

#### Metodologia(s):

(1) Espectrômetro de Emissão Atômica - ICP

#### Informações adicionais:

Todas as informações constam nos dados brutos das análises e estão a disposição do solicitante.  
O(s) resultado(s) desta(s) análise(s) tem significado restrito e se aplica(m) somente a(s) amostra(s) analisada(s).  
Este relatório de ensaio somente pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração.  
Procedimento de amostragem: Plano de amostragem é de responsabilidade do solicitante.

#### Comentário(s):

Nota: Opiniões e interpretações não fazem parte do escopo deste laboratório.

CRQ: 09303019 - IX Região  
Alexandre Silva dos Santos

CRQ: 8373407-D  
Lilian Patricia Ramos

CRF PR: 25167  
Lelaine E. R. Xavier

CRF PR: 716  
Alvaro Argenta FID



Pós-Única, 335 - Alto Alegre - 85065-2-0 - Curitiba - PR  
Fone: 41 3333-6376 - Fax: 41 3333-16-9  
CNPJ: 05.612.541/0001-79

PR: 41 3333-6376 - 41 3333-16-9  
FAX: 41 3333-16-9  
www.a3q.com.br

SAVANTES - L. 661-1 - 11 087-3108  
LAV. FERR. S. 1454796 - 11 011-1407-2000  
LABOR. 000-0-017-03190 - 11 622-1948-114