



UNILASALLE
CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE



JACQUELINE SOUZA DE VARGAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO
EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE SERIGRAFIA**

CANOAS, 2016

JACQUELINE SOUZA DE VARGAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO
EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE SERIGRAFIA**

Dissertação de Mestrado apresentada à banca examinadora do curso de Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle – Unilasalle, como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais.

Orientação: Prof^a Dra. Cristiane Oliveira Rodrigues

CANOAS, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V297d Vargas, Jacqueline Souza de.

Desenvolvimento de um processo de coagulação-floculação em uma estação de tratamento de efluente de serigrafia [manuscrito] / Jacqueline Souza de Vargas. – 2016.
89 f. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2016.
“Orientação: Profª. Dra. Cristiane Oliveira Rodrigues”.

1. Impactos ambientais. 2. Resíduos. 3. Tratamento de efluentes.
I. Rodrigues, Cristiane Oliveira. II. Título.

CDU: 628.541

Bibliotecário responsável: Melissa Rodrigues Martins - CRB 10/1380

JACQUELINE SOUZA DE VARGAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO
EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE SERIGRAFIA**

Dissertação aprovada como exigência
parcial para a obtenção do título de Mestre
em Avaliação de Impactos Ambientais do
Centro Universitário La Salle - Unilasalle.

Aprovado pela banca examinadora em 21 de setembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA:

Profª Dra. Cristiane Oliveira Rodrigues

Prof Dr. Elvis Carissimi

Profª Dra. Gelsa Edith Navarro Hidalgo

Prof Dr. Sydney Sabedot

Profª Dra. Tatiana Calvete

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário La Salle/Canoas, pela acolhida e pela colaboração com o projeto de pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela contemplação de Bolsa Estudo.

Às empresas Tanac e Floerger pela disponibilização de reagentes para a realização do meu trabalho.

À professora Mariana Serefin do Curso de Tecnólogo *Design* Gráfico do Unilasalle/Canoas, pela disponibilização das informações da sua disciplina e por disponibilizar sua sala de aula para a elaboração do meu trabalho.

Às alunas de Iniciação Científica Tércia Figueredo, Michele Soares, Francine Guimarães e Ana Paula Klunck, pelo auxílio na elaboração das análises físico-químicas.

Ao amigo e funcionário de Nova Santa Rita, Paulo Armando Osório, por toda a ajuda durante as minhas visitas ao Campus II do Unilasalle.

Ao colega e amigo Guilherme Grams pela colaboração neste trabalho.

À minha orientadora Cristiane Oliveira Rodrigues, exemplo de profissional competente.

Obrigada a todos da minha família e meus amigos pela atenção, paciência e pelo tempo a mim dedicado e, a todos que colaboraram de forma direta ou indireta para que este trabalho pudesse ser concluído.

RESUMO

As técnicas de serigrafia geram um volume considerável de resíduos líquidos, pois utilizam muita água na lavagem das telas. Os efluentes gerados são compostos por produtos químicos presentes nas tintas, e necessitam de tratamento para sua disposição final. Nesse contexto, o presente estudo visa desenvolver um processo de tratamento físico-químico via coagulação-floculação dos efluentes gerados em aulas práticas de técnicas de serigrafia do curso de Tecnólogo *Design Gráfico* do Centro Universitário La Salle, localizado no município de Canoas/RS. O estudo visou determinar os reagentes e as condições operacionais ótimas para a operação da unidade de tratamento de efluente, possibilitando a aplicação de um procedimento simples e compacto, cujo efluente tratado esteja de acordo com os padrões exigidos pelas legislações vigentes, CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a). O estudo foi realizado por meio da pesquisa e sistematização dos principais reagentes no processo de coagulação-floculação, da caracterização das amostras do efluente, da avaliação da eficiência no tratamento de diferentes reagentes e da aplicação do tratamento de efluente em uma planta piloto. O levantamento das matérias-primas permitiu a identificação dos principais poluentes presentes nas amostras e, consequentemente, auxiliou na definição de um plano de caracterização das mesmas. Os principais resultados obtidos nos estudos em bancada mostraram que os floculantes do tipo poliácridamida sintética aniônica 912SH (A1) e catiônica 4800SH (C2) e do tipo naturais a base de taninos TSH (T2) promoveram as melhores remoções de cor e turbidez, alcançando valores residuais de 837,5 mg/L e 161 NTU, 485,1 mg/L e 80,2 NTU e 95,1 mg/L e 18,5 NTU, respectivamente, que corresponderam as remoções de 62% e 73%, 75% e 82% e 95% e 96%, respectivamente. O tanino TSH, promoveu clarificação satisfatória, produziu flocos mais compactos e pesados e, portanto, melhor sedimentação, além de ser um reagente natural e produzido por empresa próxima a região onde a pesquisa foi desenvolvida. Nos estudos em escala piloto, esse tanino promoveu remoções de cor e turbidez de até 99% e 100%, respectivamente, mostrando-se com grande potencial para aplicação no tratamento do respectivo efluente.

Palavras-chave: Efluentes líquidos de serigrafia. Coagulação-floculação. Impactos ambientais. Resíduos.

ABSTRACT

Screen-printing techniques produce a considerable volume of residues at their different stages, specially liquid residues, since they use a great quantity of water for washing the screens. The effluents are composed of chemicals present in the inks and need treatment for final disposal. In this context, the present study aimed to develop a physical-chemical treatment process by coagulation-flocculation of effluents generated in the screen-printing practical classes of the Graphic Design Technologist course at University Centro La Salle, located in the city of Canoas/RS. The study aimed to determine the optimal reagents and operating conditions to the operation of the effluent treatment unit, allowing the application of a simple and compact procedure whose treated effluent been in accordance with the standards required by current legislation, CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a). The study was carried out through research and systematization of the main reagents in the coagulation-flocculation process; characterization of effluent samples; evaluation of treatment efficiency of different reactants and application of the wastewater treatment in a pilot plant. The evaluation of raw materials enabled to identify the main pollutants present in the samples and therefore it helped to establish a plan to characterize them. The main results obtained in the bench studies showed that synthetic polyacrylamide flocculants such as 912SH (A1) anionic and 4800SH (C2) cationic and natural tannin based flocculants TSH (T2) promoted the best color and turbidity removal, reaching residual values of 837,5 mg/L and 161 NTU, 485,1 mg/L and 80,2 NTU and 95,1 mg/L and 18,5 NTU respectively, which corresponded to removals of 62% and 73%, 75% and 82% and 95% and 96%, respectively. The tannin TSH promoted a satisfactory clarification, a more compact and heavy flocs and, therefore, better settling. Moreover it is a natural reagent, produced by a company settled close to the place where research occurred. In the pilot scale studies, this tannin promoted color and turbidity removal up to 99% and 100%, respectively, presenting great potential for treating this kind of effluent.

Keywords: Wastewater silkscreen. Coagulation-flocculation. Environmental impacts. Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama da geração dos resíduos no processo de serigrafia.	18
Figura 2 – Ilustração da Estação de Tratamento de Efluente localizada em Nova Santa Rita/RS.....	30
Figura 3 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação do pH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 8,0; pH _{fbranco} : 8,2.....	43
Figura 4 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação do pH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 8,0; pH _{fbranco} : 8,2.....	43
Figura 5 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação da concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 8,2; pH _{fbranco} : 7,8.....	45
Figura 6 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação da concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 8,2; pH _{fbranco} : 7,8.	45
Figura 7 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação do pH em melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH _{ibranco} : 7,6; pH _{fbranco} : 7,8.....	48
Figura 8 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação do pH em melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH _{ibranco} : 7,6; pH _{fbranco} : 7,8.....	49
Figura 9 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função dos diferentes tipos de floculantes em uma mesma concentração e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [floculante] = 5 mg/L; pH _{ibranco} : 7,3; pH _{fbranco} : 7,5.	51
Figura 10 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função dos diferentes tipos de floculantes em uma mesma concentração e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [floculante] = 5 mg/L; pH _{ibranco} : 7,3; pH _{fbranco} : 7,5.....	52
Figura 11 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante catiônico 4800SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 7,4; pH _{fbranco} : 7,4.	55
Figura 12 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante catiônico 4800SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 7,4; pH _{fbranco} : 7,4.	55
Figura 13 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante aniônico 912SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH _{ibranco} : 7,5; pH _{fbranco} : 7,6.	58

Figura 14 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante aniônico 912SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $pH_{i\text{branco}}$: 7,5; $pH_{f\text{branco}}$: 7,6.	58
Figura 15 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $pH_{i\text{branco}}$: 6,9; $pH_{f\text{branco}}$: 7,3.	60
Figura 16 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $pH_{i\text{branco}}$: 6,9; $pH_{f\text{branco}}$: 7,3.	61
Figura 17 – Fotografias do efluente bruto e tratado com as melhores concentrações do floculante T2 em 20 mg/L, 30 mg/L e 40 mg/L, da esquerda para a direita, respectivamente.	62
Figura 18 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: Tr1 [20 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 7,1; $pH_{f\text{branco}}$: 6,8; Tr2 [120 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,4; $pH_{f\text{branco}}$: 8,4; Tr3 [90 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,7; $pH_{f\text{branco}}$: 7,9; Tr4 [100 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,3; $pH_{f\text{branco}}$: 7,8.	65
Figura 19 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: Tr1 [20 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 7,1; $pH_{f\text{branco}}$: 6,8; Tr2 [120 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,4; $pH_{f\text{branco}}$: 8,4; Tr3 [90 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,7; $pH_{f\text{branco}}$: 7,9; Tr4 [100 mg/L] $pH_{i\text{branco}}$: 8,3; $pH_{f\text{branco}}$: 7,8.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais produtos químicos usados na serigrafia e seus componentes.	19
Quadro 2 – Poluentes presentes nos efluentes de serigrafia e suas respectivas origens e impactos ambientais.	21
Quadro 3 – Classificação dos polímeros investigados.	33
Quadro 4 – Identificação e composição das matérias-primas utilizadas na aula prática da disciplina de Evolução das Tecnologias Gráficas do curso de Tecnólogo <i>Design Gráfico</i> do Unilasalle no período de junho à julho de 2014.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das análises físico-químicas do efluente bruto.	40
Tabela 2 – Variação da alcalinidade, da DQO e da dureza residuais do efluente em função da melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio (1 mg/L).	47
Tabela 3 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 1 mg/L de coagulante sulfato de alumínio em pH 8,0.	50
Tabela 4 – Resumo das remoções encontradas para cor e turbidez dos floculantes catiônicos, aniônicos, anfótero, não-iônico e taninos em concentração de 5 mg/L. ...	54
Tabela 5 – Valores residuais dos efluentes brutos e tratados com o floculante C2 dos parâmetros alcalinidade, DQO e dureza.	56
Tabela 6 – Valores residuais dos efluentes bruto e tratado com o floculante A1 dos parâmetros alcalinidade, DQO e dureza.	59
Tabela 7 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 20 mg/L de T2.	63
Tabela 8 – Cor, turbidez, alcalinidade, DQO e dureza do efluente tratado com 20 mg/L de C2, A1 e T2.	64
Tabela 9 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 20 mg/L, 90 mg/L, 100 mg/L e 120 mg/L de T2 nos estudos em escala piloto.	66

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FISPQ	Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos
pH	Potencial hidrogeniônico
VOC	Compostos orgânico volátil

LISTA DE SIGLAS

A1	floculante aniônico 912SH
A2	floculante aniônico 945SH
AF	floculante anfótero
C1	floculante catiônico 4115SH
C2	floculante catiônico 4800SH
h	hora
L	litro
min	minuto
mL	miligramas
NI	floculante não-iônico 920SH
rpm	rotação por minuto
T1	floculante tanino TSG
T2	floculante tanino TSH

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Geração de efluentes em atividades de serigrafia e seus impactos ambientais.....	16
3.2	Processos de tratamento de efluente de serigrafia	24
4	EXPERIMENTAL	29
4.1	Estudo de caso: Tratamento do efluente de atividade de serigrafia ..	29
4.2	Materiais e reagentes.....	31
4.3	Metodologia.....	32
4.3.1	<i>Identificação das matérias-primas</i>	<i>32</i>
4.3.2	<i>Coleta, preparo e armazenamento das amostras de efluente</i>	<i>32</i>
4.3.3	<i>Caracterização do efluente</i>	<i>33</i>
4.3.4	<i>Estudos de tratamento do efluente em escala de bancada</i>	<i>35</i>
4.3.5	<i>Estudos de tratamento do efluente em escala piloto</i>	<i>36</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1	Identificação das matérias-primas	38
5.2	Caracterização do efluente bruto	39
5.3	Estudos de tratamento do efluente em escala de bancada	42
5.3.1	<i>Influência do pH.....</i>	<i>42</i>
5.3.2	<i>Variação da concentração do coagulante.....</i>	<i>44</i>
5.3.3	<i>Influência do pH com a melhor concentração do coagulante.....</i>	<i>48</i>
5.3.4	<i>Avaliação do tipo de floculante</i>	<i>51</i>
5.3.5	<i>Avaliação da concentração ótima dos melhores floculantes.....</i>	<i>54</i>
5.4	Estudos de tratamento do efluente em escala piloto	65
6	CONCLUSÃO.....	70
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICE A – PROCEDIMENTO DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE SERIGRAFIA NA ETE DE NSR/RS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A serigrafia está entre os seis principais sistemas de impressão da indústria gráfica, juntamente com *offset*, rotogravura, flexografia, tipografia e impressão digital. O processo de serigrafia está relacionado à impressão em uma superfície através de uma tela vazada que, geralmente, é de *nylon* ou poliéster, na qual se adiciona a tinta (por meio de pressão) preparada com uma emulsão fotossensível. A finalização desse processo se dá com a revelação da matriz pela exposição à luz. Embora seja simples, ela deve ser desempenhada de modo seguro e adequado, tanto do ponto de vista de saúde humana quanto da proteção ambiental, e devem ser identificadas e corretamente controladas as emissões de resíduos líquidos, sólidos e gasosos (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003).

A indústria gráfica brasileira existe há mais de duzentos anos, contribuindo, desde então, para o crescimento socioeconômico do país com o surgimento, não somente de grandes, como, também, de novas micro e pequenas empresas no setor. Embora muitas daquelas tenham conquistado importantes avanços em termos de inovação, o que contribuiu para a melhoria de sua produtividade e da qualidade de seus produtos, existe ainda um grande número de empresas com processos e equipamentos antigos, que necessitam de algumas adequações para promover a segurança ambiental (BARBOSA et al., 2009) por meio da adoção de medidas de controle ambiental, tanto preventivas e/ou corretivas, necessárias para tornar o processo produtivo e seus respectivos produtos mais adequados ao conceito de desenvolvimento sustentável através de técnicas de Produção Mais Limpa (P+L) com a prevenção à poluição ou redução na fonte e o reuso/reciclagem fora do processo e, também, medidas de controle com o tratamento e a disposição final dos resíduos e recuperação da área contaminada (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003).

De acordo com Daminelli (2008), durante o processo industrial nunca se evita a geração de resíduos. Devido a isto, a minimização da geração de efluente leva a uma diminuição de gastos com tratamentos e disposições finais. Esse efluente industrial pode conter poluentes tanto orgânicos, quanto inorgânicos, que podem estar dissolvidos na água ou em suspensão em forma de partículas sólidas ou líquidas, sendo, geralmente, uma mistura utilizada de produtos em diversas etapas dentro de um processo produtivo; podendo variar, conforme sua operação, os

produtos processados, a forma de limpeza, dentre outros (SANTOS e SANTAELLA, 2002; CHAGAS, 2009; CAMMAROTA, 2011/1).

As técnicas de serigrafia geram resíduos em todas as suas etapas, desde a utilização de tintas e solventes que possuem, em sua maioria metais pesados, até o uso de estopas, fitas adesivas e telas de impressão, que são descartadas ou reutilizadas. Além disso, a lavagem das telas de impressão com água gera efluentes líquidos compostos pelos produtos químicos presentes nas tintas, havendo a necessidade de tratamento para atender aos padrões de lançamento das Resoluções CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), CONSEMA 129/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006b), das Leis Federal 12.305/2010 (BRASIL, 2010), Estadual 11.520/2000 (RIO GRANDE DO SUL, 2000) e Estadual 14.528/2014 (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

O tratamento de efluentes líquidos pode ser realizado por mecanismos biológico, físico e/ou físico-químico. Os processos físico-químicos de coagulação-floculação são recomendados na remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão. O processo consiste na adição de sais inorgânicos e/ou polímeros hidrossolúveis para realizar a agregação das partículas em suspensão com produção de um líquido clarificado, ou seja, o efluente tratado (ABOULHASSAN et al., 2006; LÓPEZ et al., 2007; DAMINELLI, 2008; NUNES, 2008; FORTINO, 2012; PEDROSO et al., 2012; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012).

Visando a preservação ambiental, o Centro Universitário La Salle (Unilasalle/Canoas), adquiriu, no ano de 2013, uma Estação de Tratamento de Efluente (ETE) para as aulas práticas do curso de Tecnólogo *Design Gráfico*, com o objetivo de prevenir impactos ambientais e promover a redução do consumo de água utilizada nas aulas da disciplina de Evolução das Tecnologias Gráficas, cujas atividades englobam técnicas de serigrafia. Embora tal ETE já tenha sido instalada, apenas um teste piloto foi realizado por parte da empresa que a projetou, não havendo mais nenhuma operação realizada pela Instituição e nenhum plano de tratamento da estação contemplando procedimentos padronizados de operação com reagentes e condições específicas e otimizadas, análises e tratamentos periódicos e

parâmetros de segurança observados. Além disso, ainda não foi quantificada a eficiência de um tratamento e da remoção de poluentes do efluente.

Dentro desse contexto, o presente estudo visa desenvolver um processo de tratamento físico-químico para os efluentes líquidos gerados no processo de serigrafia nessas aulas estabelecendo os reagentes e condições operacionais ótimas, que promovem o tratamento deste efluente e um procedimento de operação da unidade de tratamento de efluente instalada, permitindo o descarte deste efluente no esgoto doméstico, conforme os padrões de lançamento exigidos pelas legislações vigentes, já citadas. Além disso, o desenvolvimento desse trabalho possibilitará que outros alunos da Instituição possam realizar demais projetos de pesquisa na área ambiental como continuidade dos estudos e resultados alcançados no presente trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo teve por objetivo desenvolver um processo de tratamento físico-químico de coagulação-floculação para os efluentes gerados em aulas práticas de serigrafia do curso de Tecnólogo *Design Gráfico* do Unilasalle, localizado no município de Canoas, no Estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

1. Realizar um levantamento qualitativo das matérias-primas utilizadas nas aulas práticas de serigrafia, identificando os principais poluentes e definir um plano de caracterização física, química e físico-química das amostras;
2. Investigar a eficiência do coagulante sulfato de alumínio e de diferentes concentrações e tipos de floculantes no tratamento do efluente de serigrafia em escala de bancada;
3. Estudar, em escala piloto na ETE, o tratamento do efluente de serigrafia utilizando a melhor condição definida nos estudos em bancada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Geração de efluentes em atividades de serigrafia e seus impactos ambientais

Segundo Alésio e Ribeiro (2003), a serigrafia é um processo de reprodução de imagens ou letreiros, usando um sistema de impressão direta em uma tela de tecido, plástico ou metal, que possui partes impermeabilizadas nas áreas de contragrafismo (a parte em branco no impresso) e parte permeável à tinta nas áreas de grafismo (área em que a imagem vai ser impressa). Este processo consiste na aplicação da tinta que é espalhada com o auxílio de uma lâmina de borracha para a fixação da tinta na tela fixada em uma moldura, estampando no objeto escolhido a forma do desenho ali fixado.

De acordo com Serefin (2014), esta técnica é utilizada por processos de produção em grande e pequena escala, alterando-se apenas as tecnologias utilizadas. A serigrafia ainda possui diversos usos, segundo Barbosa et al. (2009) uma vez que permite a impressão sobre diferentes tipos de materiais e superfícies irregulares, como, por exemplo, no vidro, no plástico, na madeira e no metal. Os principais produtos impressos neste processo são *posters*, *banners*, camisetas, papéis de parede e decalques, entre outros.

Basicamente, o processo produtivo gráfico pode ser dividido nas etapas de pré-impressão, impressão e pós-impressão. A pré-impressão é a etapa inicial do processo gráfico e inclui uma sequência de operações que transfere a imagem do original para o portador de imagem, que também é conhecido como forma. Este processo pode utilizar tecnologia analógica ou digital. A segunda, por sua vez, é a principal parte do processo da indústria gráfica e consiste na transferência da imagem, contida no portador da mesma, para o meio escolhido (suporte). Já a pós-impressão é a terceira e última etapa deste processo e consiste no acabamento dos produtos impressos, de acordo com requisitos previamente definidos (BARBOSA et al., 2009).

Segundo Souza (2009), existem diversos efluentes líquidos gerados durante todo o processo da indústria gráfica. No sistema de pré-impressão, no processo de serigrafia, é gerado um efluente contendo resíduos de revelação, fixadores, solventes, soluções ácidas, alcalinas, lacas, resíduos da preparação da forma a

partir da tela e íons de metais pesados, podendo ocasionar altos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO). De acordo com Alésio e Ribeiro (2003), o uso de reveladores e/ou fixadores geram problemas ambientais, por serem compostos por prata, cuja toxicidade é elevada. Além disso, a recuperação de íons prata visa questões econômicas sendo muitas vezes removida por processos físico-químicos. Ainda, os reveladores e/ou fixadores possuem alto teor de matéria orgânica que, quando no meio aquático, aumenta a quantidade de nutrientes desequilibrando os processos de fotossíntese e decomposição, causando a eutrofização e mortandade de peixes.

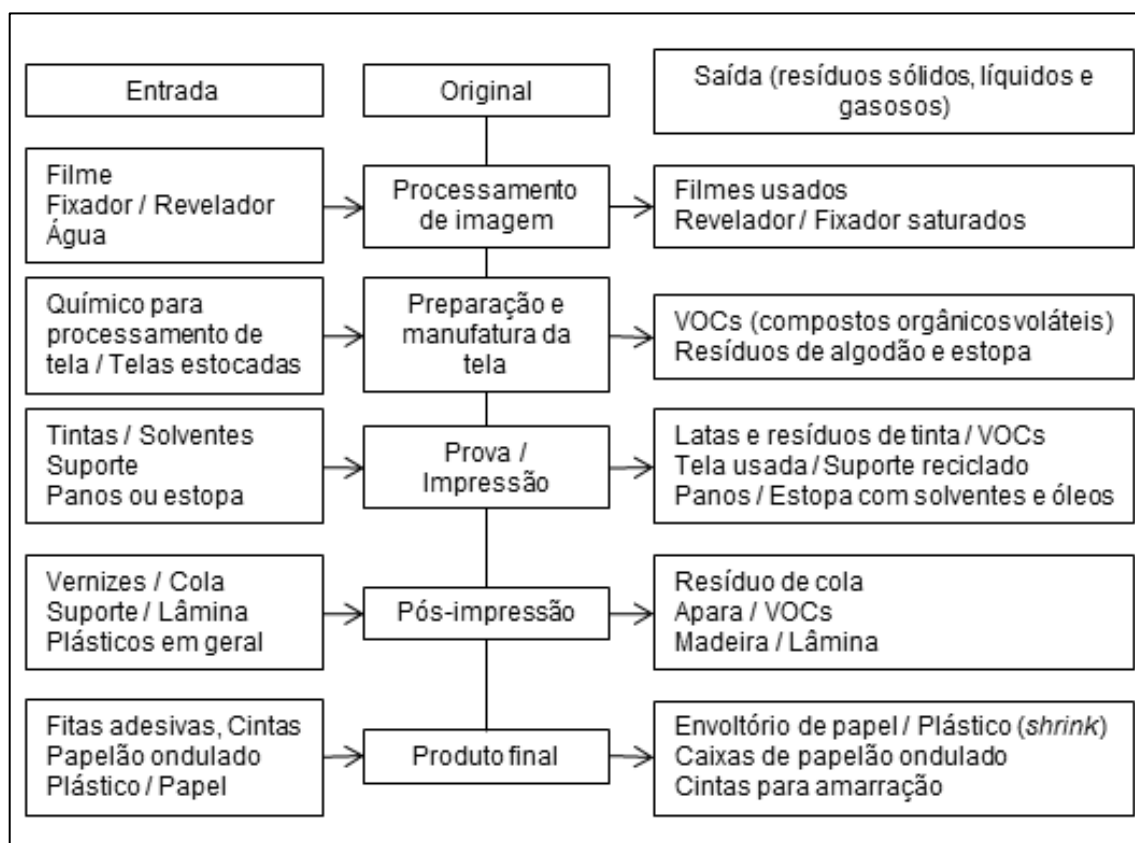
No processo de impressão ocorre a limpeza das telas, onde se origina um líquido contendo hidrocarbonetos e resíduos de tintas que podem gerar odor, sólidos suspensos e concentrações de metais pesados. Também pode conter resíduos de lubrificantes e graxas. Estas telas, utilizadas para a obtenção das formas neste processo de impressão, na maioria das vezes não são reaproveitáveis e, portanto, são descartadas após o uso, tornando-se um resíduo sólido (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003).

Por último, no processo de pós-impressão, também é gerado um efluente líquido por meio do uso de um grande volume de água com a presença de agentes químicos específicos para uma efetiva limpeza da superfície das telas de serigrafia, dos rolos, dos equipamentos, do piso e outros, dependendo dos processos e do nível de tecnologia empregados (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; LÓPEZ et al., 2007; BARBOSA et al., 2009; SOUZA, 2009; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; FIEMG e FEAM, 2014).

Além destes resíduos, ainda existe a geração de emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e o uso e o descarte de recipientes e estopas sujas de tintas e/ou solventes, gerados pelas diluições e limpeza necessária em todo o processo (BARBOSA et al., 2009; BASTIAN e ROCCO, 2009).

A Figura 1 mostra um diagrama do processo de serigrafia com as etapas de entrada das matérias-primas e saída dos principais resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados.

Figura 1 – Diagrama da geração dos resíduos no processo de serigrafia.



Fonte: Adaptado de Alésio e Ribeiro (2003, p. 28).

Diante destas considerações, foi possível constatar que o efluente líquido dos processos de gráficas na atividade de serigrafia, assim como no setor têxtil, vem do processo de lavagem, onde é gerado em sua maior quantidade a partir dos processos de impressão e pós-impressão, onde a água é usada na lavagem das telas para a retirada do excesso de tinta (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; COLOTTA, 2003; FERSI, GZARA e DHAHBI, 2005; BARBOSA et al., 2009; BASTIAN e ROCCO, 2009; SOUZA, 2009; FORTINO, TESSARO e FERRIS, 2010; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012).

De acordo com Yamanaka et al. (2006) e López et al. (2007), a tinta é uma mistura de vários insumos na sua produção, como resinas, pigmentos, solventes e aditivos, ou seja, uma combinação de elementos sólidos e voláteis que define as propriedades de resistência e de aspecto. Segundo Barbosa et al. (2009), grande parte das tintas usadas em serigrafias possui em sua composição metais pesados como, por exemplo, cádmio, chumbo, cobalto, cromo, níquel e platina, entre outros, que são cumulativos nos organismos vivos. Estes metais pesados, de acordo, com

Beltrame (2000), provêm, principalmente do uso de corantes, sendo responsáveis pela cor obtida nos tingimentos. Os efluentes contendo metais pesados, conforme Vaz et al. (2010), geralmente precisam passar pela etapa de tratamento denominada coagulação, que poderá influenciar significativamente as etapas de tratamento subsequentes, sendo de suma importância a avaliação do comportamento dos reagentes coagulantes nesta etapa.

Os solventes das tintas, em geral, são compostos derivados do petróleo, tais como tolueno, xileno, nafta e gasolina, e quando lançados ao meio ambiente podem causar problemas de contaminação ambiental no solo e nas águas superficiais e/ou subterrâneas e, ainda, problemas de saúde aos indivíduos contaminados, tanto pela aspiração dos vapores ou por sua absorção cutânea (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012).

O Quadro 1 apresenta os principais produtos químicos utilizados no processo de serigrafia e seus componentes, tanto para a construção da estampa quanto para a remoção dos resíduos de tintas presentes na tela e nos equipamentos.

Quadro 1 – Principais produtos químicos usados na serigrafia e seus componentes.

Produto	Principais componentes
Adesivos	Solvente (acetato etílico, acetona, metil-etil-cetona), aglutinante (prepolímero uretano) e endurecedor (poliisocianato).
Vernizes	Solvente (acetato etílico), aglutinante (prepolímero uretano), aglutinante (resina de poliéster ou prepolímero uretano) e endurecedor (poliisocianato).
Emulsões fotossensíveis	Polivinilo (álcool polivinílico, acetato polivinílico), sensibilizador (sais diazônio, dicromatos alcalinos), corantes (ftalcocianina, pigmento violeta, tiazina), plastificadores (ftalatos), fungicidas, biocidas, endurecedor (ácidos minerais).
Desengraxantes	Alcalinos-fosfatos, silicatos, carbonatos e aminas. Ácido-cítrico, acético, láctico, fosfórico. Surfactantes (álcool etiloxilato graxo, alquilglucosídeos, álcoolsulfonatos graxos).
Retocadores	Polivinilo (álcool polivinílico, acetato polivinílico).
Removedores	Periodato (metaperiodato de sódio), aditivos, surfactantes (hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio).

Fonte: Adaptado de Alésio e Ribeiro (2003, p. 28).

Esses resíduos podem ser comparados àqueles do setor têxtil, onde o processo de estamparia tem por objetivo conferir cor aos tecidos formando imagens, sendo semelhante ao processo de serigrafia. Assim, os efluentes gerados possuem composições heterogêneas e uma grande quantidade de material tóxico e

recalcitrante, o que torna seu tratamento mais complexo. Ambos os processos geram resíduos com características semelhantes e em grandes volumes de líquidos, apresentando uma forte coloração, uma grande quantidade de sólidos suspensos, pH variável, temperatura elevada, grandes concentrações de DQO, considerável quantidade de íons de metais pesados, compostos orgânicos clorados, surfactantes, óleos e graxas, solventes e fosfatos, entre outros, que quando descartados sem tratamento e em altas cargas poluentes podem causar diversos problemas ambientais, desde a poluição do solo através da presença de metais pesados que são cancerígenos, até a mortandade de peixes devido à presença de íons metálicos e de matéria orgânica contribuindo para a contaminação das águas receptoras, além de poder causar alterações dos parâmetros de cor, DQO, toxicidade e salinidade das águas (CISNEROS, ESPINOZA e LITTER, 2002; HASSEMER e SENS, 2002; ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; DAMINELLI, 2008; BASTIAN e ROCCO, 2009; CHAGAS, 2009; FORTINO, TESSARO e FERRIS, 2010; AKYOL, 2012; FORTINO, 2012; MATTAR, COSTA e BELISÁRIO, 2012; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; NOVACK et al., 2013; FIEMG e FEAM, 2014).

O Quadro 2 apresenta alguns poluentes presentes nos efluentes de serigrafia, bem como, as origens e os impactos ambientais que podem ocorrer de forma direta ou indireta, devido ao descarte incorreto.

Quadro 2 – Poluentes presentes nos efluentes de serigrafia e suas respectivas origens e impactos ambientais.

Parâmetro	Causas da Poluição	Origem dos Poluentes	Impactos Ambientais
Cor	Pigmentos das matérias brutas.	Tingimento, lavagem de telas.	Obstrução do metabolismo de vidas aquáticas, problemas estéticos com a mudança de cor na água receptora.
pH	Álcalis (NaOH, NH ₄ OH).	Mercerização.	Mudança do pH natural, geração de espumas, morte de microorganismos.
DBO	Amido, acetato, etc.	Desengomagem, tingimento.	Consumo de oxigênio dissolvido na água, diminuição da capacidade de abastecimento público, morte de microrganismos.
DQO Orgânico e Inorgânico	Ácidos orgânicos, óleos e graxas, solventes, amido, corante, agente ativo interfacial, resina, aldeído, tanino, compostos de zinco, Na ₂ S ₂ O ₄ .	Tingimento, processos ácidos, amaciamento, solubilização de corante, tanino, desengomagem, redução do índigo, acabamento, impressão, etc.	Consumo de oxigênio dissolvido na água, geração de odores, pouca penetração de luz solar na água receptora, danos na flora e na fauna do ecossistema, eutrofização.
Nitrogênio/fosfato	Amônia, aminas, ácido fosfórico, auxiliar de tingimento.	Descoloração, neutralização, amaciamento.	Eutrofização de áreas aquáticas, excesso de nitrogênio.
Substâncias nocivas inorgânicas	Dicromato, cobre, estanho disponível.	Tingimento oxidativo, fixador de corante, acabamento.	Toxicidade com ação nociva direta sob organismos aquáticos.
Substâncias nocivas orgânicas	Formol, fenol, aminoácido, corante, agente ativo interfacial.	Processos formais, processando resinas, tingimento, acabamento.	Geração de espumas tóxicas.
Odor ofensivo (Enxofre)	H ₂ S, mercaptano.	Corantes sulfúricos.	Corrosão de metais, acidentes de trabalho por inalações.

Fonte: Adaptado de Abrahão (2002) *apud* Santos (2006 p. 59) e Verma, Dash e Bhunia (2012, p. 157).

Dentre os parâmetros apresentados no Quadro 2, destacam-se cor, pH, turbidez, DQO, alcalinidade e dureza devido a ocasionarem grandes modificações nas águas naturais quando os valores extrapolam os limites impostos pelas normas. A cor presente no efluente é a característica mais notória, sendo o primeiro poluente evidenciado em águas residuais, na qual, em sua maioria, este efluente possui uma coloração bicolor, devido à presença de corantes que não se fixaram na fibra. Esta coloração é relacionada à presença de corantes ou pigmentos que podem ser orgânicos, inorgânicos, naturais, sintéticos, minerais, fluorescentes e perolados,

entre outros. A maioria dos corantes é altamente solúvel em água e, portanto, liberadas nos efluentes das estações de tratamento, além de serem pouco biodegradáveis e resistentes à ação de agentes químicos (HASSEMER e SENS, 2002; TWARDOKUS, 2004; SANTOS, 2006; LÓPEZ et al., 2007; CASQUEIRA e SANTOS, 2008; COSTA, 2008; CHAGAS, 2009; GÓMEZ, ESCUDERO e GAMARRA, 2011; FORTINO, 2012; SABUR, KHAN e SAFIULLAH, 2012; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; OLIVEIRA, 2013).

De acordo com Beltrame (2000), o efluente têxtil, por exemplo, rico em corantes, apresenta uma cor variada e intensa. Além da poluição estética causada pela presença da cor, a mesma impede a passagem da luz necessária para a realização da fotossíntese, responsável por parte da produção de oxigênio necessária para a degradação microbiológica da matéria orgânica por via aeróbia presente no efluente.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a cor de um efluente pode estar relacionada com sua idade. Desta forma, um efluente novo ou recém gerado, apresentaria, geralmente, uma cor clara ou cinza acastanhada; já com o tempo, há um aumento da concentração e das condições anaeróbias e a cor se torna cinza, cinza escura ou preta. Assim, a cor é um dos parâmetros responsáveis pelas propriedades ópticas do líquido e pode ser medido por comparação visual ou por espectrofotometria. Quando existem partículas em suspensão no efluente, elas absorvem parte da radiação eletromagnética e, assim, tem-se a determinação da cor aparente. Já quando não há interferências destas partículas, a cor é dita verdadeira.

Muitos trabalhos também relatam que o potencial hidrogênico (pH) é um dos fatores que mais influenciam na otimização do processo de coagulação-floculação, conforme os valores estabelecidos pelas características da suspensão antes do tratamento. O valor de pH ótimo varia conforme o tipo de coagulante utilizado no processo (OLIVEIRA, 2010; RAMALHO, 2013). Nesse caso, o sulfato de alumínio, por exemplo, atua em valor de pH ótimo na faixa de 5,0 à 8,0, já o cloreto férrico atua em uma ampla faixa de pH (PAVANELLI, 2001; NUNES, 2008).

A turbidez é uma medida de resistência do líquido à passagem da luz, causada pela presença de sólidos em suspensão ou colóides, tais como partículas inorgânicas e/ou detritos orgânicos. Muitos estudos (METCALF & EDDY, 2003; DAMINELLI, 2008; CETESB, 2009; VAZ et al., 2010; PARRON, MUNIZ e PEREIRA, 2011; SKORONSKI et al., 2014) reportam esta medição como essencial para o

tratamento de diversos efluentes industriais, que provocam elevações na turbidez das águas em que são despejados. Para evitar essas alterações, são necessários manejos operacionais, como alterações nas concentrações de coagulantes e floculantes nos tratamentos.

Já o parâmetro demanda química de oxigênio (DQO) indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidação das matérias orgânica e inorgânica de uma amostra, por meio de um agente químico. O aumento da concentração de DQO em um corpo hídrico deve-se, principalmente, aos despejos de origem industrial, como por exemplo, o efluente da indústria têxtil, assim como o da serigrafia. Esses valores são devido às diversas operações, incluindo a preparação, o tingimento e o acabamento do processo, que empregam um grande número de componentes químicos, tais como ácidos, enzimas, corantes, resinas, solventes, ceras, óleos, entre outros (FERSI, GZARA e DHAHBI, 2005; RIO GRANDE DO SUL, 2006a; CARVALHO, 2008; DAMINELLI, 2008; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012).

Adicionalmente, os parâmetros químicos alcalinidade e dureza são essenciais na avaliação do efluente bruto e tratado, embora não sejam considerados nas resoluções que tratam do descarte de efluente. A medida de alcalinidade em efluentes, expressa em $\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$ é utilizada, por exemplo, na interpretação e no controle de processos de tratamento, visando mensurar a capacidade de neutralização dos ácidos no meio que está sendo avaliado. A alcalinidade apresenta valores elevados, devido à presença de álcalis ou a processos de decomposição da matéria orgânica com alta taxa respiratória de microorganismos e liberação e dissolução do gás carbônico na água.

Já a dureza é devido a presença de cátions bivalentes incluindo cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), estrôncio (Sr^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) presentes em sua constituição e expressa em termos da quantidade equivalente de CaCO_3 . Quando há teores elevados de dureza, estes podem levar à redução da formação de espumas e à formação de incrustações nas tubulações (FIORENTINI, 2005; VAZ et al., 2010; PARRON, MUNIZ e PEREIRA, 2011; BRASIL, 2014).

É importante enfatizar que como as empresas gráficas situam-se, geralmente, em áreas urbanas e são, em geral, de pequeno ou médio porte, o principal destino dos resíduos líquidos é o esgoto doméstico. Assim, existe um risco ambiental relativo a este descarte, devido aos inúmeros poluentes que mesmo em baixas concentrações podem provocar sérios impactos ambientais. Deste modo, ainda

existe a necessidade de desenvolvimentos e melhorias em todos os processos neste setor, visando o tratamento dos resíduos (ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; FORTINO, 2012).

Por outro lado, ao mesmo tempo em que as empresas demandam uma grande quantidade de água de alta qualidade para os seus mais diversos processos produtivos, elas muitas vezes enfrentam escassez de fontes de água disponíveis. Isto se dá não somente pela própria escassez de água, mas também como resultado de sistemas de licenças que limitam a utilização de água subterrânea. Devido a isto, muitas empresas terão, no futuro, de passar a reutilizar uma parte significativa da água que utilizam, levando-se em conta que muitos dos métodos utilizados tradicionalmente são insuficientes para se obter uma qualidade de água necessária para o reuso de fato (THE WORLD BANK GROUP, 1999; FERSI, GZARA e DHAHBI, 2005; LIU et al., 2011).

Assim, devido ao fato dos processos de serigrafia utilizarem grandes quantidades de água de boa qualidade, eles deverão em algum momento adotar o reuso de água com alta eficiência de tratamento. Por isso, de acordo com Barbosa et al. (2009), para o sistema de reuso da água utilizada nos processos de impressão e pós-impressão na operação de lavagem das telas de serigrafia, é necessária a instalação de uma mini-estação de tratamento (ETE).

3.2 Processos de tratamento de efluente de serigrafia

Os sistemas de tratamento de efluentes são fundamentados na transformação dos poluentes em gases inertes e/ou sólidos sedimentáveis para uma posterior separação de fases. Estes sistemas devem ser utilizados não só com o objetivo mínimo de tratar os efluentes, mas também de atender a outras premissas, como as legislações ambientais vigentes. Em geral, um sistema de tratamento é composto por um conjunto de operações unitárias que envolvem um tratamento prévio, primário, secundário e terciário ou avançado (GIORDANO, (s.d.); DRINAN, 2001; GRIGG, 2003; METCALF & EDDY, 2003).

O tratamento prévio ou preliminar é constituído unicamente por processos físicos e compreende na remoção dos sólidos mais grossos, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Nesta etapa, as principais técnicas empregadas são

gradeamento, peneiramento, desarenação, neutralização e equalização (METCALF & EDDY, 2003; NUNES, 2008; DAVIS, 2010).

Já o tratamento primário é constituído por processos físico-químicos. As técnicas empregadas incluem, principalmente, neutralização, precipitação, coagulação, floculação e/ou coagulação-floculação, seguidas por uma operação unitária de separação de fase sólida da líquida por meio da flotação, da sedimentação ou da centrifugação. Uma operação de sedimentação é usada para a realização da remoção de uma porção dos sólidos suspensos e da matéria orgânica encontrados nas águas residuais (DRINAN, 2001; METCALF & EDDY, 2003; NUNES, 2008; FORTINO, TESSARO e FERRIS, 2010; CAMMAROTA, 2011/1; OLIVEIRA e RUBIO, 2011; SABUR, KHAN e SAFIULLAH, 2012).

No tratamento secundário, os processos biológicos objetivam remover a maior parte da matéria orgânica biodegradável, sendo tanto aqueles de natureza aeróbia quanto os de natureza anaeróbia, visando transformar a matéria orgânica biodegradável em gases sólidos inorgânicos e em material biológico sedimentável separados por sedimentação. Os principais processos utilizados neste tratamento são lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas de estabilização, filtros biológicos e digestores anaeróbios (GRIGG, 2003; METCALF & EDDY, 2003; DAVIS, 2010; CAMMAROTA, 2011/1).

Por último, tem-se o tratamento terciário, conhecido também por tratamento avançado, que consiste em diversos processos empregados com o intuito de obter um efluente de alta qualidade com a remoção de substâncias que ainda estão contidas em baixas concentrações nas águas residuais. Neste caso, os principais processos utilizados são lagoas de estabilização, filtração, adsorção com carvão ativado, troca iônica, processos com membranas (diálise e eletrodiálise) e oxidação química. A desinfecção também é tipicamente uma parte do tratamento terciário e a remoção de nutrientes é, frequentemente, incluída neste tratamento (METCALF & EDDY, 2003; NUNES, 2008).

Dentre todas estas etapas, uma das mais importantes é a físico-química, onde a coagulação e a floculação são amplamente aplicadas. Neste caso, para a operação da estação de tratamento de efluentes, segundo Menezes (2005), ensaios de coagulação-floculação devem ser conduzidos *in situ* para a obtenção da ótima concentração de reagentes no processo. Para isto, sugere-se a sistemática de teste

de jarros para a determinação da concentração do coagulante e/ou floculante que garante uma efetiva desestabilização das partículas em suspensão.

A coagulação é o fenômeno no qual ocorre a desestabilização das cargas das partículas em suspensão por meio de condicionamento químico. Esta desestabilização pode ocorrer de diversas formas como, por exemplo, calor, agitação, adição de coagulantes químicos, processos biológicos ou passagem de corrente elétrica (eletrocoagulação). A técnica de adicionar reagentes coagulantes é a mais utilizada (PAVANELLI, 2001; METCALF & EDDY, 2003; NUNES, 2008; OLIVEIRA, 2010; CAMMAROTA, 2011/1).

Existem vários tipos de coagulantes, sendo os mais comumente aplicados os sais inorgânicos sulfato de alumínio e o cloreto férrico. O sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) é comercializado tanto na forma sólida como em solução, apresentando, em geral, um baixo custo para o tratamento. No entanto, em geral, este reagente demanda concentrações muito elevadas, resultando, frequentemente, em baixas eficiências de remoção. Além disso, este coagulante requer ajustes de pH na faixa de 5,0 à 8,0. Já o cloreto férrico, ou cloreto de ferro III (FeCl_3), é comercializado tanto na forma granular como na forma líquida e, atua em uma ampla faixa de pH, devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, exigindo em muitos casos, adição de reagentes ácidos ou alcalinos para condicionar o processo (PAVANELLI, 2001; METCALF & EDDY, 2003; MATOS et al., 2007; NUNES, 2008).

A coagulação pode ser auxiliada por uma floculação que visa à agregação das partículas ou coágulos em suspensão para posterior separação das fases sólida e líquida. Os mecanismos de floculação são realizados por meio da adição de polímeros orgânicos sintéticos ou naturais que auxiliam na agregação destas partículas suspensas (METCALF & EDDY, 2003; BOLTO e GREGORY, 2007; NUNES, 2008; OLIVEIRA, 2010; CAMMAROTA, 2011/1).

Estes polímeros são solúveis em água e caracterizam-se por sua natureza iônica (anfótero, aniônico, catiônico e não-iônico), sendo utilizados muitas vezes como auxiliar na coagulação para a clarificação da água e/ou efluente. O uso de polímeros naturais vem sendo amplamente estudado e testado por apresentar algumas vantagens quando comparados aos coagulantes químicos, principalmente relacionadas a menores concentrações requeridas, menor volume de lodo gerado, baixa toxicidade e biodegradabilidade, entre outras. Segundo Guzmán et al. (2013),

os polímeros sintéticos são muito eficazes em uma ampla faixa de pH, porém, devido o seu alto custo, se utiliza juntamente com coagulantes.

Os taninos, por sua vez, são polímeros de origem natural que quando comparados a coagulantes inorgânicos apresentam diversas vantagens, tais como baixas concentrações de coagulante para auxiliá-los, volume reduzido na produção de lodo biodegradável, economia no custo, propriedades efetivas, não são tóxicos aos seres humanos e aos animais e possuem maior eficiência na remoção da turbidez. O uso de tanino ajuda a reduzir a concentração de sulfato de alumínio quando usados juntos e, ainda, os taninos modificados apresentam um bom rendimento como floculante para a remoção da cor e da turbidez (KONRADT-MORAES et al., 2008; NAGASHIMA et al., 2010; GUZMÁN et al., 2013; TANAC, 2014).

O tanino (Tanfloc[®]) é um polímero orgânico-catiônico de origem basicamente vegetal, obtido a partir da casca de Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) que é uma planta muito comum no Brasil que possui uma alta concentração de taninos que atuam como floculante no tratamento de águas e efluentes em geral. Os floculantes derivados de tanino são recomendados para o tratamento de efluentes industriais, sendo que o produto Tanfloc[®] (Tanac[®]) produzido à base de tanino modificado por um processo físico-químico possui um excelente desempenho, com uma remoção de até 100% da turbidez presente na água ou no efluente bruto. Além disso, possui algumas vantagens, como a possibilidade de haver um tratamento com a geração de um lodo biodegradável, não precisar de correção do pH da água tratada, por este não consumir a alcalinidade do meio em que está atuando e, também, por possuir atuação em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0, eliminando, normalmente, a necessidade da utilização de alcalinizantes, como hidróxido de sódio ou óxido de cálcio, reduzindo o volume de lodo gerado (ÖZACAR e ŞENGİL, 2003; CRUZ, 2004; SÁNCHEZ-MARTÍN, BELTRÁN-HEREDIA e SOLERA-HERNÁNDEZ, 2010; BELTRÁN-HEREDIA, SÁNCHEZ-MARTÍN e MARTÍN-SÁNCHEZ, 2011; GUZMÁN et al., 2013; SKORONSKI et al., 2014; TANAC, 2014).

Em muitos casos, para uma maior eficiência no tratamento de efluente, bem como, a melhoria da qualidade da água tratada e da rápida sedimentação dos flocos formados, é necessário a junção dos procedimentos físico-químicos de coagulação e floculação em um mesmo tratamento. Estes procedimentos são amplamente aplicados nos diversos setores de indústrias metalúrgicas, de mineração, químicas,

de fabricação de papel, alimentícias, de refino de petróleo e têxteis, entre outros (METCALF & EDDY, 2003; ABOULHASSAN et al., 2006; BOLTO e GREGORY, 2007; NUNES, 2008; OLIVEIRA, 2010; CAMMAROTA, 2011/1; OLIVEIRA e RUBIO, 2011; SABUR, KHAN e SAFIULLAH, 2012).

A coagulação-floculação, consiste em um processo no qual se acrescenta um coagulante e um floculante na água ou no efluente que será tratado, promovendo o agrupamento das partículas a serem removidas, tais como os poluentes inorgânicos, íons de metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão, tornando-as mais pesadas que o restante do líquido, sedimentando-as. O mecanismo de coagulação desestabiliza as partículas, favorecendo a adsorção do polímero e, assim, promovendo uma maior eficiência na floculação dos coágulos. A coagulação-floculação visa aprimorar as operações de separação sólido-líquido no tratamento da água (METCALF & EDDY, 2003; NUNES, 2008; OLIVEIRA, 2010; CAMMAROTA, 2011/1; OLIVEIRA e RUBIO, 2011).

Embora as operações de floculação sejam de fácil aplicação, deve-se ter um cuidado especial com a concentração de polímero aplicada, pois se esta for excessiva, poderá conduzir à desestabilização das partículas novamente e produzir o efeito contrário ao desejado, ou seja, a turvação da água tratada (NOZAIC, FREESE e THOMPSON, 2001; METCALF & EDDY, 2003; ABOULHASSAN et al., 2006; CARVALHO, 2008; BELTRÁN-HEREDIA, SÁNCHEZ-MARTÍN e GÓMEZ-MUÑOZ, 2010).

4 EXPERIMENTAL

Os estudos em escala de bancada foram realizados no Laboratório de Pesquisa Unilasalle, localizado no município de Canoas/RS. Já os estudos em escala piloto foram realizados na Estação de Tratamento de Efluente no Campus II do Unilasalle, em Nova Santa Rita/RS.

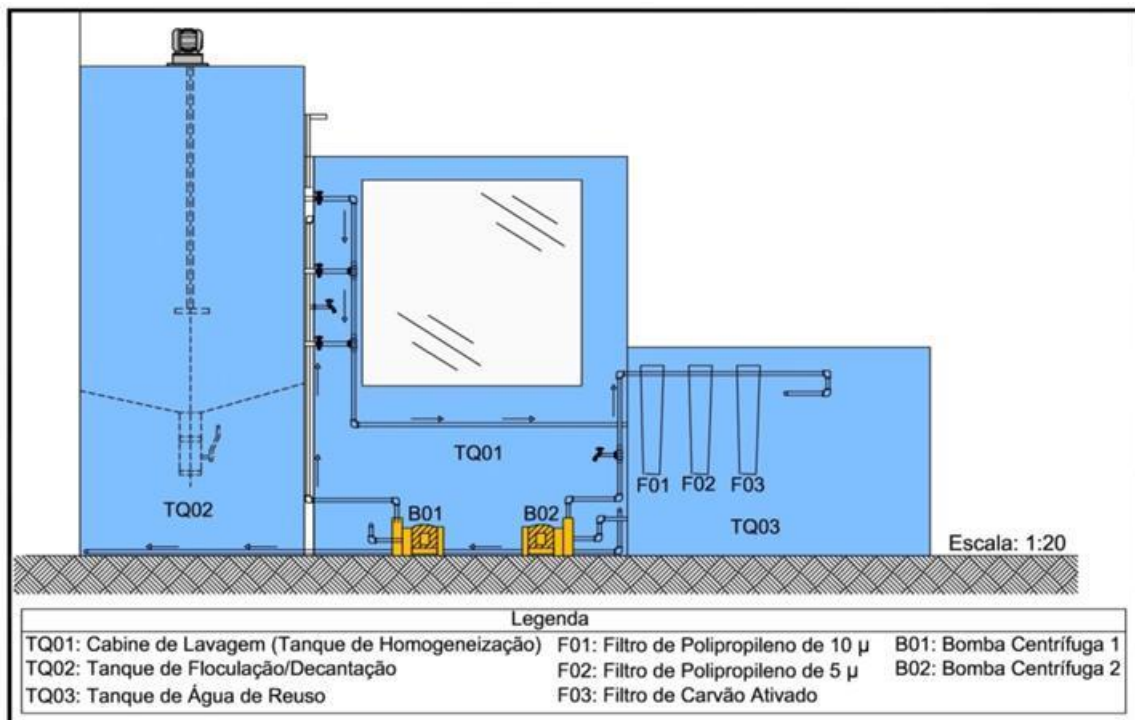
4.1 Estudo de caso: Tratamento do efluente de atividade de serigrafia

O estudo de caso do presente projeto refere-se à geração de efluentes líquidos das aulas práticas de serigrafia da disciplina de Evolução das Tecnologias Gráficas do curso de Tecnólogo *Desing* Gráfico, no Campus II do Unilasalle, localizado no município de Nova Santa Rita, no estado do Rio Grande do Sul.

Essa disciplina é ministrada no segundo semestre do curso, sendo optativa do curso de *Design* de Produto, contendo no máximo 20 alunos por semestre, com aulas uma vez por semana. A disciplina é dividida em duas etapas, a primeira consiste somente em aulas teóricas e a segunda contém aulas práticas, nas quais a ETE nem sempre é empregada. Quando a ETE é utilizada, os resíduos são gerados diretamente no tanque de lavagem, onde permanece até o início do tratamento.

A área destinada ao tratamento do efluente é de aproximadamente 4,2 m². O sistema da ETE possui uma vazão máxima de efluente de 1 m³ por dia ou 5 m³ por semana, sendo a estação dividida em três seções, com três tanques interligados por bombas e tubulações. A Figura 2 mostra o *layout* da Estação de Tratamento de Efluente estudada.

Figura 2 – Ilustração da Estação de Tratamento de Efluente localizada em Nova Santa Rita/RS.



Fonte: Adaptado do Projeto da ETE da empresa Multiprest Consultoria e Projetos Ltda. (MULTIPREST, 2013).

O primeiro tanque (TQ01) é denominado de cabine de lavagem ou tanque de homogeneização e possui uma capacidade máxima de 1,1 m³ de efluente. O segundo tanque (TQ02) é o de floculação ou decantação e possui volume igual a 1,45 m³. É neste tanque que se localiza um agitador de motor 1 CV com caixa redutora e eixo com pás de velocidade constante de 27 rpm. O terceiro tanque (TQ03) é chamado de água de reuso e tem capacidade para 1,3 m³ de água. A estação ainda conta com duas bombas centrífugas intituladas de B01 e B02 e três filtros, sendo eles de polipropileno 10 μ (F01), polipropileno 5 μ (F02) e carvão ativado (F03).

A metodologia experimental foi constituída das seguintes etapas: 1) identificação das matérias-primas utilizadas nas aulas práticas; 2) caracterização das amostras do efluente estudado; 3) avaliação da eficiência do tratamento do coagulante sulfato de alumínio e de diferentes tipos de floculantes em escala de bancada; 4) aplicação do melhor reagente em estudos de tratamento do efluente na planta piloto.

4.2 Materiais e reagentes

As amostras de efluentes investigadas foram provenientes das aulas de serigrafia da disciplina da Evolução das Tecnologias Gráficas do curso de Tecnólogo *Design* Gráfico do Unilasalle/Canoas. Todas as amostras foram geradas nas atividades de lavagem das telas confeccionadas pelos alunos em aulas práticas.

Os principais reagentes utilizados nos ajustes e medidas de pH foram soluções de concentrações de 0,5% a 10% de ácido nítrico (Synth[®], 65%) e de hidróxido de potássio (Synth[®], 99%) e, também, soluções padrão de calibração de pH 4,01 e pH 6,86 (Digimed[®]).

Para os estudos de agregação foram utilizados os reagentes sulfato de alumínio como coagulante e floculante do tipo poliacrilamidas sintéticas aniônica (912SH, Floerger[®]), aniônica (945SH, Floerger[®]), anfótera (Nalco[®]), não-iônica (920SH, Floerger[®]), catiônica (4115SH, Floerger[®]), catiônica (4800SH, Floerger[®]) e, do tipo naturais a base de taninos TSG (Tanac[®]) e TSH (Tanac[®]). É importante enfatizar que todos os polímeros utilizados nas análises foram obtidos na forma sólida e diluídos em água, conforme recomendado pelos fabricantes.

Os principais equipamentos utilizados foram: pHmetro (Digimed[®], DM-22), balança analítica (Shimadzu[®], AY220), *Jar Test*[®] (Milan[®], JT102), fotocolorímetro de bancada (Alfakit[®], AT100PBII), cronômetro digital (Cronobio[®], SW2018), turbidímetro (Hach[®], 2100P), estufa (De Leo[®], tipo A.4.C. ar forçado) e agitadores magnéticos (Fisatom[®], 752).

Soluções de ácido sulfúrico (QHemis[®], 95-98%), fenolftaleína (Nuclear[®], 100%), verde de bromocresol (Dinamina[®], 100%) e vermelho de metila (Synth[®], 100%) foram utilizadas para as análises de alcalinidade.

Soluções de dicromato de potássio (Synth[®], 99%), sulfato de prata (Cenna Bras[®], 98,5-101,5%), sulfato ferroso amoniacal (Synth[®], 98,5-101,5%), sulfato de mercúrio (Vetec[®], 98%) e vermelho de metila (Synth[®], 100%) foram usados para as análises de Demanda Química de Oxigênio.

Os reagentes, ácido etilenodiamino tetra-acético, EDTA-Na, (Nuclear[®], 99,8%), carbonato de cálcio anidro (F.Maia[®], 99%), ácido clorídrico (Nuclear[®], 36,5-40%), hidróxido de amônio (Vetex[®], P.A.), cloreto de sódio (Synth[®], 99%), negro de ericromo T (Vetec[®], P.A.), cloreto de amônio (Vetec[®], 99,5%) e sulfato de magnésio (Synth[®], 98-102%) foram usados em solução nas análises de dureza.

Também foram utilizados materiais, aparatos e vidrarias de uso comum em laboratório. Os resíduos oriundos dos testes de bancada foram separados e armazenados, sendo posteriormente destinados pela própria instituição a tratamento terceirizado, de forma a não anular o benefício ambiental obtido com o tratamento.

4.3 Metodologia

4.3.1 Identificação das matérias-primas

O levantamento de informações para a identificação das matérias-primas utilizadas na confecção das telas que geraram os efluentes estudados foi realizado por meio de visitas técnicas ao laboratório de Processos Gráficos localizado no município de Nova Santa Rita/RS, registrando imagens e informações dos rótulos dos produtos. Posteriormente, foram pesquisadas as Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), visando obter a relação da composição química detalhada de cada produto.

4.3.2 Coleta, preparo e armazenamento das amostras de efluente

As coletas das amostras de efluente para a caracterização e para os estudos em batelada foram realizadas nos meses de junho e julho de 2014, conforme metodologia descrita por APHA (2012). A primeira coleta foi realizada após um tratamento físico-químico de coagulação-floculação aplicado pela empresa que projetou e instalou a unidade, visando obter uma amostra (AM-1) de 20 L para estudos comparativos. A amostra foi homogeneizada e posteriormente coletada em baldes de 10 L, previamente higienizados com água e transferidos para recipiente inerte de 5 L, totalizando um volume de 20 L. A segunda coleta produziu a amostra (AM-2) utilizada nos estudos em bancada. Nesse caso, as coletas foram realizadas quando o tanque atingiu um determinado volume de efluente para poder retirar as amostras representativas, sob agitação manual para homogeneização. Assim, foram utilizados baldes (10 L) previamente limpos com água, que foram imersos no tanque até completo preenchimento. Após, o volume coletado foi transferido para recipientes inertes de 5 L, distribuindo o volume até 50 L. Essas amostras tiveram seus efluentes transferidos para recipientes adequados com subsequente

preservação e foram transportadas para o Laboratório de Pesquisa Unilasalle, localizado em Canoas/RS. A AM-1 foi mantida em refrigeração até o momento das análises químicas. Para a AM-2, após agitação manual dos frascos, todo o volume coletado foi transferido para um tanque de polietileno (PE), onde foi homogeneizado manualmente, previamente a todos os estudos. Neste caso, após cada homogeneização, 0,5 L de efluente foi coletado com o uso de uma proveta e transferido para os jarros do equipamento de *Jar Test*[®], onde foram efetuadas as análises físico-químicas de coagulação-floculação em duplicata.

O Quadro 3 mostra a classificação das amostras de polímeros investigadas para avaliar a eficiência do tratamento por meio da floculação nos testes de bancada e em escala piloto.

Quadro 3 – Classificação dos polímeros investigados.

Sigla	Polímero	Classe
A1	Poliacrilamida aniônica (912SH, Floerger [®])	Aniônica
A2	Poliacrilamida aniônica (945SH, Floerger [®])	Aniônica
AF	Poliacrilamida anfótera (Nalco [®])	Anfótera
NI	Poliacrilamida não-iônica (920SH, Floerger [®])	Não-iônica
C1	Poliacrilamida catiônica (4115SH, Floerger [®])	Catiônica
C2	Poliacrilamida catiônica (4800SH, Floerger [®])	Catiônica
T1	Tanino (TSG, Tanac [®])	Tanino
T2	Tanino (TSH, Tanac [®])	Tanino

4.3.3 Caracterização do efluente

No momento de cada coleta, e durante a execução dos estudos, as amostras foram caracterizadas quanto à alcalinidade, cor aparente, DQO, dureza, pH e turbidez. Esses parâmetros foram escolhidos com base nas informações obtidas na etapa de levantamento das matérias-primas, bem como nas composições de efluentes semelhantes apresentados na literatura (HASSEMER e SENS, 2002; ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; COLOTTA, 2003; FERSI, GZARA e DHAHBI, 2005; ABOULHASSAN et al., 2006; LÓPEZ et al., 2007; CARVALHO, 2008; DAMINELLI, 2008; NUNES, 2008; FORTINO, TESSARO e FERRIS, 2010; MIRANDA, 2010; GÓMEZ, ESCUDERO e GAMARRA, 2011; LIU et al., 2011; AKYOL, 2012; MATTAR, COSTA e BELISÁRIO, 2012; SILVA et al., 2012; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; RAMALHO, 2013; SKORONSKI et al., 2014).

Todas as análises foram realizadas conforme os métodos descritos por APHA (2012). A análise de alcalinidade foi determinada pelo método titulométrico, onde uma alíquota de 100 mL da amostra foi transferida para o erlenmeyer e adicionado 3 gotas da solução indicadora de fenolftaleína. Esta foi titulada com a solução de ácido sulfúrico 0,02 M até a perda da coloração rosa. Depois foi adicionado 3 gotas da solução indicadora mista e novamente a amostra foi titulada com a solução de ácido sulfúrico 0,02 M até a mudança da coloração azul-esverdeada para róseo. A alcalinidade foi expressa em miligramas de carbonato de cálcio por litro ($\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$).

A cor aparente foi medida por meio da leitura de uma alíquota de 20 mL de amostra em um fotocolorímetro de bancada, previamente calibrado com padrão de valor conhecido de 0,00 mg/L (água deionizada). Esta cor foi expressa em miligramas de platina-cobalto por litro ($\text{mg}_{\text{PtCo}}/\text{L}$).

A DQO foi analisada pela determinação indireta da matéria orgânica, por meio de oxidação por dicromato de potássio, em que foi oxidada apenas a matéria orgânica carbonada, deixando de incluir a porção nitrogenada (DAMINELLI, 2008). As análises de DQO foram realizadas pelo método do refluxo fechado. Neste procedimento foi medida uma alíquota de 50 mL da amostra e transferida para um balão de fundo chato, juntamente com uma porção de sulfato de mercúrio para eliminação de possíveis interferentes, 5 mL do reagente $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ e 25 mL de dicromato de potássio 0,25 M. Após a homogeneização, foi adicionado 70 mL da solução $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ em pequenas porções e sob agitação e, em seguida, o balão foi conectado ao condensador sobre uma manta de aquecimento, permanecendo por 2 horas no refluxo. Após esse período a solução foi resfriada a temperatura ambiente e adicionado 6 gotas do indicador de ferroína com posterior titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M até a mudança de coloração de alaranjado/verde para marrom avermelhado. A DQO foi expressa em miligramas de oxigênio por litro ($\text{mg}_{\text{O}_2}/\text{L}$).

A dureza total foi determinada pelo método titulométrico do EDTA-Na. Neste caso as amostras foram diluídas nas proporções de 20% e 50%. As soluções restantes receberam 1 mL da solução tampão pH 10,0 e 0,05 g de indicador negro de ericromo T. Imediatamente as amostras foram tituladas com a solução padrão de EDTA-Na 0,01 M até a primeira coloração azul permanente. A dureza total foi expressa em miligramas de carbonato de cálcio por litro ($\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$).

O pH foi analisado através da leitura de uma alíquota de 100 mL de amostra em um pHmetro de bancada, previamente calibrado com padrões de valores conhecidos de 4,01 e 6,82.

A determinação de turbidez foi realizada por meio da leitura de uma alíquota de 100 mL de amostra em um turbidímetro, previamente calibrado com padrões de turbidez conhecida de < 0,1 NTU, 20 NTU, 100 NTU e 800 NTU, usando o método nefelométrico. É importante ressaltar que as amostras que apresentaram o valor de turbidez acima do máximo detectável pelo instrumento, foram diluídas, sendo a leitura resultante apresentada pelo turbidímetro multiplicada pelo fator de diluição da amostra. A turbidez foi expressa em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Por fim, as remoções de alcalinidade, cor, DQO, dureza e turbidez foram determinadas através da equação 1.

$$\text{Remoção (\%)} = 100 - ((\text{Residual}_{\text{tratado}} \times 100) / \text{Residual}_{\text{bruto}}) \quad (1)$$

Na equação 1, são substituídos os valores residuais do tratado e do bruto encontrados nas análises físico-químicas de alcalinidade, cor, DQO, dureza e turbidez, tanto nos estudos em escala de bancada quanto em escala piloto.

4.3.4 Estudos de tratamento do efluente em escala de bancada

Os estudos em escala de bancada foram realizados no Laboratório de Pesquisa Unilasalle/Canoas. Para as análises de teste de jarros foi utilizada a mesma metodologia tanto para adição do coagulante quanto do floculante, mudando-se apenas as etapas compreendidas para essas adições.

Para os estudos de tratamento do efluente em escala de bancada, inicialmente, todos os materiais foram limpos e os reagentes identificados. Após, os béqueres contendo as amostras de efluente (0,5 L) foram posicionados no equipamento de *Jar Test*® e uma agitação de 100 rpm foi aplicada por um período de, aproximadamente, 2 min, com subsequente retirada de uma alíquota de 20 mL de cada béquer. As amostras de efluente líquido bruto e tratado foram analisadas quanto à cor, em um fotocolorímetro de bancada, e turbidez, em um turbidímetro. Esse procedimento foi adotado para garantir o controle da amostragem representativa nos jarros.

Posteriormente, o pH dos jarros foi determinado em um pHmetro. Após as medidas iniciais, uma agitação de 260 rpm foi aplicada, com subsequente adição dos reagentes (coagulante ou floculante) por 2 min. Após, se procedeu a segunda agitação de 120 rpm por 3 min, seguida das suspensões do processo por 10 min para promover a sedimentação. Alíquotas de 20 mL de efluente tratado foram coletadas em uma altura aproximada de 5 cm da superfície do líquido e medidas de cor, turbidez e pH final foram realizadas.

Adicionalmente, as amostras dos jarros que apresentaram as melhores remoções de cor e turbidez foram coletadas para a realização de análises de alcalinidade, DQO e dureza, conforme metodologia descrita por APHA (2012).

Na influência do pH, os valores investigados foram escolhidos com base na literatura pertinente (OLIVEIRA, 2010) nos valores 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 e 12,0, visando investigar um possível tratamento apenas com ajustes de pH. As concentrações do coagulante estudadas foram 0,25 mg/L, 0,5 mg/L, 1 mg/L, 2,5 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L (MATOS et al., 2007; ZOLETT e JABUR, 2013; SKORONSKI et al., 2014). Para a avaliação da influência do pH com a melhor concentração do coagulante, os valores de pH investigados foram 5,0; 5,5; 6,5 e 8,0, considerados na faixa ótima de atuação deste reagente, segundo Nunes (2008).

O tipo de floculante foi investigado usando uma concentração arbitrada de 5 mg/L. Na sequência, os melhores floculantes foram avaliados nas concentrações de 0,5 mg/L, 2,5 mg/L, 7,5 mg/L, 10 mg/L e 20 mg/L e, no caso dos taninos, concentrações de 30 mg/L, 40 mg/L, 80 mg/L e 100 mg/L também foram consideradas, por se tratar de um polímero de baixo peso molecular. Esses valores de concentração foram escolhidos com base na literatura (CORAL, BERGAMASCO e BASSETTI, 2009; BONGIOVANI et al., 2010; SÁNCHEZ-MARTÍN, GONZÁLEZ-VELASCO e BELTRÁN-HEREDIA, 2010; TOSATO JR e HALASZ, 2011; STRÖHER et al., 2013; TAMOGAMI, RIZK e ALMEIDA, 2014).

4.3.5 Estudos de tratamento do efluente em escala piloto

Os estudos em escala piloto foram realizados na ETE usando as melhores condições obtidas nos estudos de bancada. A primeira etapa do tratamento foi a transferência do efluente do tanque de lavagem (TQ01) para o tanque de decantação (TQ02) com o acionamento da primeira bomba centrífuga (B01). Após,

foi realizada uma agitação mecânica no efluente dentro desse tanque por 30 min para sua homogeneização. Em seguida, foi coletada uma amostra do efluente bruto a partir das válvulas de amostragem existentes no decantador e essa foi transferida para um recipiente devidamente higienizado. Medidas de cor, turbidez e pH foram realizadas no efluente bruto. Na sequência, um teste de jarros foi realizado com o intuito de se determinar a correta concentração de tratamento.

Determinada a melhor concentração, foi adicionado o floculante determinado e acionada uma nova agitação por mais 30 min. Após a agitação, o sistema foi deixado em repouso por 24 h para decantação, com subsequente coleta de amostra do efluente tratado para análises de cor, turbidez e pH.

Quando transferido o efluente clarificado do TQ02 para o TQ03 por gravidade, deu-se por encerrado o tratamento e, conseqüentemente, essa água poderia ser descartada no esgoto por meio do acionamento da segunda bomba centrífuga (B02).

Salienta-se que esta transferência do efluente tratado não é realizada por completo, uma vez que a última torneira de descarte do TQ02 encontra-se acima do nível de esvaziamento, permanecendo assim, o restante do efluente clarificado neste referido tanque.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação das matérias-primas

O levantamento teórico das matérias-primas utilizadas nas aulas práticas da disciplina de Evolução das Tecnologias Gráficas do curso de Tecnólogo *Design Gráfico* do Unilasalle no período de junho à julho de 2014 permitiu a identificação dos principais poluentes presentes nas amostras e, conseqüentemente, auxiliou na definição de um plano de caracterização das mesmas. As composições químicas foram pesquisadas entre julho e agosto de 2014 nas Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

Com este levantamento, e com o auxílio da literatura sobre serigrafia e setor têxtil (CISNEROS, ESPINOZA e LITTER, 2002; HASSEMER e SENS, 2002; ALÉSIO e RIBEIRO, 2003; COLOTTA, 2003; CARVALHO, 2008; MAHMOUD, 2009; FORTINO, TESSARO e FERRIS, 2010; MIRANDA, 2010; BORGES, LUCIDO e PIMENTA, 2011; AKYOL, 2012; MATTAR, COSTA e BELISÁRIO, 2012; VERMA, DASH e BHUNIA, 2012), que reportam os tratamentos de água e de efluente, observou-se o número expressivo de metais pesados, compostos químicos tóxicos, compostos orgânicos clorados, corantes e auxiliares (espessantes, surfactantes, emulsionantes e recalcitrantes) na composição dos produtos usados em todos os processos de serigrafia. No efluente, estes componentes causam, dentre outros problemas ambientais, coloração acentuada, presença de sólidos suspensos, pH variável e elevadas concentrações de DQO.

No Quadro 4 são apresentados os reagentes que foram utilizados durante as aulas práticas de serigrafia e geraram o efluente investigado.

Quadro 4 – Identificação e composição das matérias-primas utilizadas na aula prática da disciplina de Evolução das Tecnologias Gráficas do curso de Tecnólogo *Design Gráfico* do Unilasalle no período de junho à julho de 2014.

Reagentes / Marca	Informações químicas
Detergente neutro / Bombril	Tensoativo aniônico linear alquibenzeno sulfonato de sódio; glicerina; coadjuvantes; conservantes; sequestrante; espessantes; corantes; veículo.
Diluyente Aguarrás / Renner	Solventes; diluentes.
HB 54 Normal / Agabe	Hidróxido de potássio; hidróxido de sódio.
HB 80 adesivo permanente / Agabe	Não se aplica – é apenas para fixar o tecido na mesa para estampar.
Reforçador de imagem / ReforLaser	Mistura de hidrocarbonetos saturados e aromáticos.
Sensibilizante para serifoto / Gênesis	Bicromato de sódio em solução com água destilada (sal dissódico do ácido crômico; bicromato de soda).
Serifoto emulsão verde resistente à água / Gênesis	Dispersão aquosa de um copolímero à base de acrilato de etila e estireno; pigmentos orgânicos atóxicos.
Serifoto emulsão violeta resistente à solvente / Gênesis	Dispersão aquosa de um copolímero à base de acrilato de etila e estireno em alta concentração; pigmentos orgânicos atóxicos.
Thinner Serigráfico / Cacique	Xileno; isofona.
Tinta de impressão <i>off set</i> / Printcor	Resinas fenólicas; resinas alquídicas; óleos vegetais; óleos minerais; secante octoato de manganês; secante octoato de cobalto; cera de polietileno; pigmentos orgânicos; pigmentos inorgânicos.
Tinta Hidrocryl marrom / Gênesis	Informações não disponibilizadas pelo fabricante.
Tinta Hidrocryl Mix azul médio / Gênesis	Dispersão aquosa de um copolímero à base de acrilato de etila e estireno; pigmento orgânico.
Tinta luminosa para decorar com efeitos luminosos / ColorGim	Resina acrílica; pigmento orgânico; solvente alifático; álcool; aditivo; gás propelente (butano/propano).
Tinta para tecido / Acrilex	Resina de emulsão acrílica (sólidos); água; pigmentos orgânicos; solvente orgânico; aditivos; conservante.
Tinta Vinílica fosca preta / Gênesis	Resinas alquídica; policloreto de vinílica; solvente orgânico xilenos; pigmentos orgânicos atóxicos; isentos de metais pesados. Obs.: Utilizam somente pigmentos inorgânicos atóxicos, com exceção do negro de fumo (preto) e titânio (branco).

5.2 Caracterização do efluente bruto

A partir da identificação das matérias-primas, foi definido um plano de caracterização das amostras de efluente de serigrafia, considerando os parâmetros de alcalinidade, cor aparente, DQO, dureza, pH e turbidez, devido, principalmente, à presença de metais pesados, pigmentos e partículas em suspensão (HASSEMER e SENS, 2002; FERSI, GZARA e DHAHBI, 2005; MAHMOUD, 2009; MIRANDA, 2010).

Na Tabela 1 são apresentados os valores das análises físico-químicas dos parâmetros alcalinidade, DQO, dureza, cor aparente, pH e turbidez do efluente bruto.

Tabela 1 – Valores das análises físico-químicas do efluente bruto.

Parâmetros	Resultados
Alcalinidade, $\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$	335,5 \pm 0,7
DQO, $\text{mg}_{\text{O}_2}/\text{L}$	711,8 \pm 13,9
Dureza, $\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$	194,8 \pm 7,07
Cor aparente, mg/L	983,2 \pm 15,8
pH	7,5 \pm 0,04
Turbidez, NTU	170,5 \pm 9,2

De acordo com Daminelli (2008), tanto os valores médios quanto os desvios padrões dos parâmetros do efluente bruto são significativos, pelo fato de se tratar de um efluente industrial, ou seja, por seus processos produtivos sofrerem variações diárias. O valor de alcalinidade encontrado para este efluente bruto foi de 335,5 $\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$. Segundo as resoluções CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), não existem padrões de alcalinidade para emissão de efluentes líquidos, ficando esse parâmetro limitado pelo valor do pH.

Neste caso, Brasil (2014) explica que a alcalinidade das águas, também é influenciada por meio da função do pH, porém para os principais constituintes presentes na solução, sendo eles: bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2+}) e hidróxidos (OH^-). Portanto, um valor de pH superior a 9,4 indica a presença de hidróxidos e carbonatos, um valor de pH entre 8,3 e 9,4 indica a presença de carbonatos, bicarbonatos e hidroxilas e valores de pH entre 4,4 e 8,3 são, devidos aos bicarbonatos em solução, predominantemente de bicarbonatos. Assim, considerando que o efluente bruto apresentou pH de 7,5, pode-se sugerir que além da alcalinidade natural do efluente bruto (335,5 $\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$) o mesmo, quando for lançado em um corpo hídrico, pode induzir a formação de bicarbonatos na água.

O pH do efluente bruto do presente estudo apresentou variação de 7,0 a 9,0. Considerando as resoluções CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), que estabelecem padrões de descarte (pH 5,0 a 9,0), esta variação está em conformidade com a legislação. É importante salientar que este valor de pH é vantajoso para a coagulação e a floculação, tanto

com sulfato de alumínio, quanto com taninos, que apresentam uma faixa ótima de atuação entre 5,0 a 8,0 (NUNES, 2008) e 4,5 a 8,0 (ÖZACAR e ŞENGİL, 2003; TANAC, 2014), respectivamente.

Adicionalmente, a DQO do efluente bruto foi de 711,8 mg_{O₂}/L. Esse valor é superior ao valor permitido para descarte (400 mg_{O₂}/L) estabelecido pela resolução CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), considerando a menor faixa de vazão (20 m³/dia), que seria o caso da estação em estudo. É importante lembrar que, no âmbito federal, a resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) não estabelece padrões para este parâmetro, sendo pertinente empregar a legislação estadual no presente estudo. Assim, é notório que o efluente necessita de tratamento antes do descarte.

A dureza do efluente bruto foi de 194,8 mg_{CaCO₃}/L. Esse parâmetro também não é estabelecido pelas legislações estadual e federal com relação a descartes, nem pela resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que estabelece os padrões de qualidade para as águas. No entanto, sabe-se que as águas são classificadas de acordo com a concentração de íons alcalino-terrosos, geralmente o cálcio (Ca²⁺) e o manganês (Mg²⁺), as quais, para concentrações até 75 mg/L, são consideradas moles, de 75 a 150 mg/L são moderadamente duras, entre 150 e 300 mg/L são duras e acima de 300 mg/L são consideradas muito duras (SAWYER, MCCARTY e PARKIN, 2003). Segundo essa classificação, o efluente bruto possui uma água considerada dura, que pode provocar incrustações nas tubulações de água quente e aquecedores, por exemplo, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas e, ainda, pode causar uma redução na eficiência térmica das caldeiras, se a água for usada para esse fim (FIORENTINI, 2005; NEMEROW et al., 2009; BRASIL, 2014).

Quanto à cor do efluente bruto foi determinado o valor de 983,2 mg/L que é considerado elevado para descarte. Embora esse parâmetro não seja estabelecido nos padrões de lançamento de efluentes para as legislações, federal CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e estadual do Rio Grande do Sul CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), há a informação de que o resíduo não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor (RIO GRANDE DO SUL, 2006a).

Segundo a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), a cor verdadeira deve conter um nível de cor natural do corpo de água em mg_{Pt}/L. Essa é aquela em que água é classificada a partir da presença dos sólidos dissolvidos que ainda

permanecem na água após o material em suspensão ser removido, ou seja, não há presença de turbidez na água (DRINAN, 2001; NEMEROW et al., 2009).

Adicionalmente, a turbidez do efluente bruto também foi elevada (170,5 NTU), pois, embora este parâmetro também não esteja definido nas legislações estaduais, a turbidez afeta a qualidade do corpo receptor e o valor determinado está acima do limite estabelecido de até 40 NTU, da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), sendo necessário, portanto, o tratamento do efluente antes de seu descarte.

5.3 Estudos de tratamento do efluente em escala de bancada

Os estudos de bancada permitiram avaliar a influência do pH e a eficiência do tratamento com as adições de diferentes tipos e concentrações de coagulantes e floculantes nas amostras de efluente, sendo possível definir um reagente com eficiência de remoção de cor e de turbidez de, aproximadamente, 100%, além de remoção de DQO de 100% e níveis de dureza e alcalinidade que não alterariam a qualidade das águas doces.

Nos próximos subcapítulos estão descritos os resultados dos tratamentos obtidos com: a) influência do pH; b) variação da concentração do coagulante; c) influência do pH com a melhor concentração do coagulante; d) avaliação do melhor floculante; e) avaliação da concentração ótima dos melhores floculantes.

5.3.1 Influência do pH

Na Figura 3 e na Figura 4 são apresentados os resultados de cor e turbidez em função do pH.

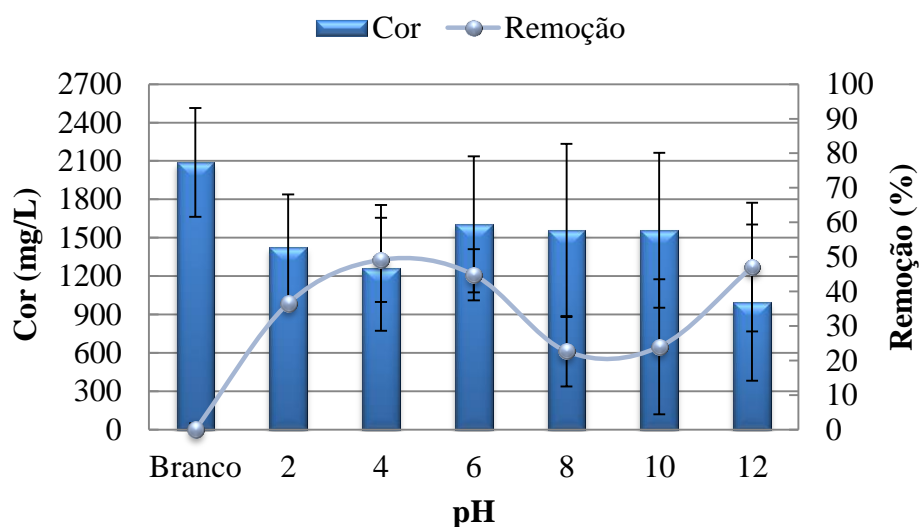


Figura 3 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação do pH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $pH_{i\text{branco}}$: 8,0; $pH_{f\text{branco}}$: 8,2.

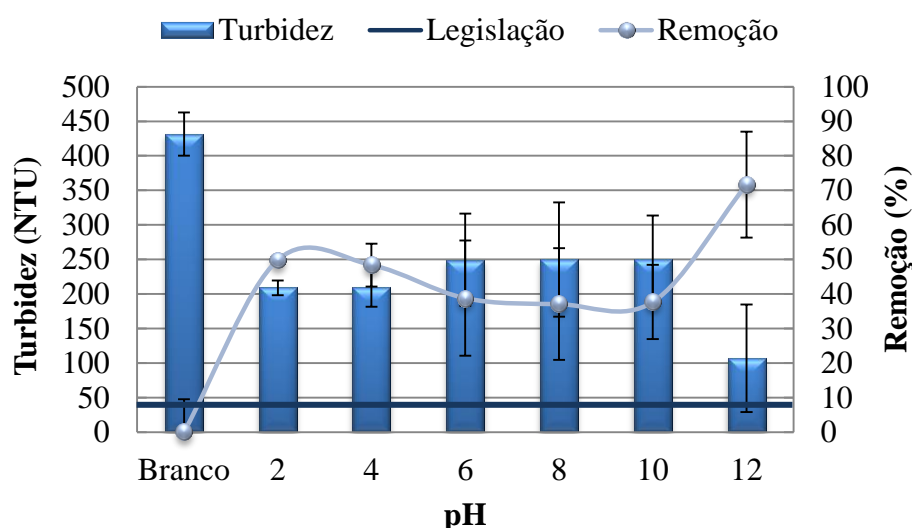


Figura 4 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação do pH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $pH_{i\text{branco}}$: 8,0; $pH_{f\text{branco}}$: 8,2.

As melhores remoções foram alcançadas com o ajuste de pH 12,0, que gerou remoção de turbidez de 72% e residual de 106,8 NTU e remoção de cor de 47% e cor residual de 992,6 mg/L. As demais condições experimentais (pH 2,0 a 10,0) obtiveram remoções semelhantes. Para os valores de pH 4,0 e 8,0, por exemplo, foram encontrados remoções de cor de 49% e 23% e de turbidez de 48% e 37%, respectivamente. Em valores de cor residual foram encontrados 1264,6 mg/L e 1555,8 mg/L e turbidez residual de 209,8 NTU e 250 NTU, também para os pH 4,0 e 8,0.

Diante destes resultados foi possível observar que nenhuma das condições experimentais, utilizando somente o ajuste de pH, permitiriam o descarte do efluente no corpo hídrico receptor, pois os valores de turbidez residuais ficaram acima de 40 NTU, limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Além disso, houve persistência de traços de coloração, o que não é aceito pelas resoluções analisadas anteriormente.

Comparando os valores obtidos nas condições experimentais contendo o efluente bruto com a amostra ajustada com pH 8,0, os valores de remoções tanto para a cor, quanto para a turbidez, foram distintos e menores. Segundo Vaz et al. (2010), a adição de soluções de ajuste de pH auxiliam, muitas vezes, na formação dos agregados, fazendo com que as remoções sejam maiores. Também, segundo Arantes et al. (2014), uma correção de pH no efluente bruto implicaria na adição de concentrações menores de coagulante e floculante. Porém, as tecnologias de tratamento de água e efluentes em regiões com escassez de recursos financeiros e mão de obra qualificada devem privilegiar ao máximo a simplicidade operacional, levando-se em conta a faixa ótima de pH para o coagulante e/ou floculante a ser utilizado evitando desta forma o ajuste desnecessário do mesmo.

Assim, foi possível observar através destas análises as eficiências de remoção de cor e de turbidez com a variação do pH não foram significativamente alteradas, demonstrando que um tratamento apenas com a alteração do pH foi inviável, necessitando a adição de um reagente para agregação.

5.3.2 Variação da concentração do coagulante

Os valores de cor e de turbidez residual das amostras tratadas com o coagulante sulfato de alumínio são mostrados na Figura 5 e na Figura 6.

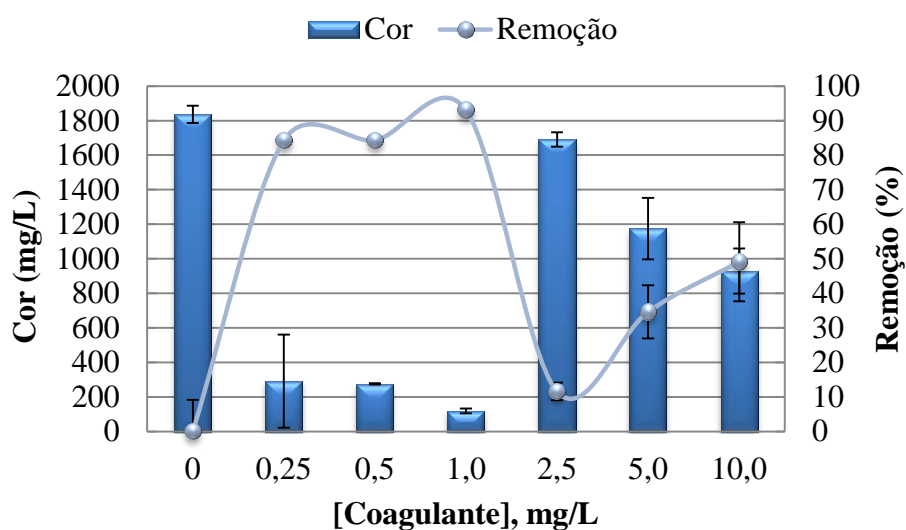


Figura 5 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação da concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{branco}}$: 8,2; $\text{pH}_{\text{fbranco}}$: 7,8.

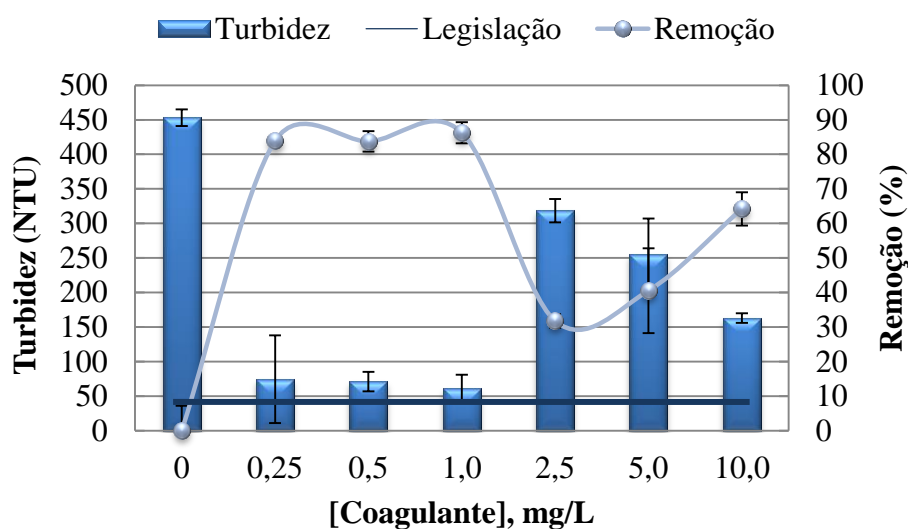


Figura 6 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação da concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{branco}}$: 8,2; $\text{pH}_{\text{fbranco}}$: 7,8.

Conforme os dados da Figura 5, as concentrações de 0,25, 0,5 e 1 mg/L de coagulante sulfato de alumínio, foram as que apresentaram as melhores remoções de cor, sendo a concentração de 1 mg/L a melhor remoção alcançada (93%). Essas mesmas concentrações foram as que apresentaram melhores resultados na remoção da turbidez (Figura 6), com remoção de, aproximadamente, 86% para a concentração de 1 mg/L.

Embora esta concentração de 1 mg/L de coagulante tenha resultado em valores altos para as remoções de cor e turbidez, a cor residual foi de 119,3 mg/L e a turbidez residual foi de 61,2 NTU. Essa turbidez poderia afetar a qualidade do corpo hídrico receptor por encontrar-se acima de até 40 NTU (BRASIL, 2005), sendo necessário, portanto, efetuar mais um tratamento neste efluente antes de seu descarte.

Esses resultados foram semelhantes àqueles encontrados por Hassemer e Sens (2002) em estudos de coagulação-floculação para o tratamento de efluente têxtil com o uso de coagulante sulfato de alumínio e cal, que promoveram remoções de cor de 98% e de turbidez de 95%, porém com a necessidade de aplicação de concentrações de coagulante elevadas, da ordem de 500 mg/L e de cal na ordem de 300 mg/L a 600 mg/L. Já Meza (2010) realizou dois estudos de tratamento de efluente de estamparias por meio do processo de coagulação-floculação obtendo remoções de cor de, aproximadamente, 100% e de turbidez de 99% para a adição de 700 mg/L de coagulante sulfato de alumínio com a adição de 300 mg/L de cal.

Ainda, Couto Junior, Barros e Pereira (2013) obtiveram remoções de 99% tanto para a cor, quanto para a turbidez, no tratamento do efluente têxtil com a adição de 600 mg/L de sulfato de alumínio. Igualmente, Menezes (2005) encontrou remoções de cor e de turbidez de, aproximadamente, 91% e 79%, respectivamente, com a adição de 800 mg/L de coagulante sulfato de alumínio em pH 6,0 no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial por meio da técnica de coagulação-floculação.

Adicionalmente, Tosato Jr e Halasz (2011) mostraram remoções de cor e de turbidez de 68% e 96%, respectivamente, no tratamento de um efluente têxtil, com a vantagem de uma baixa concentração (0,04 mg/L) de sulfato de alumínio. Complementarmente, Vaz et al. (2010) analisaram a eficiência de diferentes coagulantes em efluentes de galvanoplastia com 40 mg/L de sulfato de alumínio em pH 6,5, obtendo remoções de cor de 98% e de turbidez de 99%.

Similarmente, Zolett e Jabur (2013) encontraram uma turbidez residual de 0,3 NTU (98% de remoção) para a concentração de 7 mg/L de sulfato de alumínio em pH 8,2 no tratamento de água para consumo humano no estado do Paraná. Os autores observaram que para as concentrações maiores de sulfato de alumínio os valores finais de turbidez aumentavam gradativamente.

Além da concentração ótima de 1 mg/L obtida nas condições experimentais adotadas no presente estudo, foi possível constatar que os parâmetros de

alcalinidade e DQO foram satisfatórios para o efluente final. No entanto a dureza apresentou comportamento contrário, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Variação da alcalinidade, da DQO e da dureza residuais do efluente em função da melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio (1 mg/L).

Parâmetros	Resultados		Remoções (%)	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	335,5 ±0,7	0,0 ±0,0	-	100
DQO, mg _{O2} /L	711,8 ±13,9	5,9 ±11,8	-	99,2
Dureza, mg _{CaCO3} /L	194,8 ±7,07	259,7 ±103,8	-	0,0

Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH_{itratado}: 8,1; pH_{ftratado}: 4,3.

Embora a dureza não esteja definida nas legislações federal ou estadual quanto ao descarte do efluente, o valor residual final de 259,7 mg_{CaCO3}/L foi maior que o valor do bruto, classificando este efluente como uma água dura (SAWYER, MCCARTY e PARKIN, 2003). Geralmente, quanto mais dura for a água no Brasil, a mesma é admitida como água potável. No entanto, o seu gosto pode se alterado mas, menos prejudicial ela será para a vida aquática quando lançada ao meio ambiente (UNIVERSIDADE DE COIMBRA, 2007/08).

Quanto à alcalinidade, embora também não haja legislações quanto ao valor máximo permitido para seu descarte ou para a qualidade da água, o efluente tratado poderia ser descartado pelo fato de não ter apresentado um valor residual (0,0 mg_{CaCO3}/L) após o tratamento.

De acordo com a resolução CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a), o valor da DQO residual após o tratamento (5,9 mg_{O2}/L) está de acordo com o valor (400 mg_{O2}/L) permitido para o descarte ao meio ambiente. Esse resultado aparece com grande vantagem quando comparados aos estudos de outros autores como por exemplo Tosato Jr e Halasz (2011), que apesar de utilizarem concentrações menores que as deste estudo, encontraram remoções de 69% para a DQO no tratamento de efluente têxtil por meio do processo de coagulação e sedimentação com a adição de 0,04 mg/L de sulfato de alumínio. Já Meza (2010), utilizando uma concentração maior, encontrou remoção de DQO de 80% na adição de 700 mg/L de coagulante sulfato de alumínio com 300 mg/L de cal e uma remoção de DQO de 78% com 700 mg/L de sulfato de alumínio, ambos no tratamento do

efluente de duas estamparias, Silk Mais e Cores e Tons, respectivamente, por meio do processo de coagulação-floculação.

No tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil por um sistema de tratamento biológico seguido do físico-químico de coagulação-floculação com a adição de sulfato de alumínio e polímero aniônico após filtragem, Júnior e Cantelli (2000), encontraram remoções médias em torno de 93% para a DQO e 58% para a dureza. Já para a alcalinidade, não obtiveram o valor bruto, mas encontraram um residual de 169 mg_{CaCO₃}/L após o tratamento.

5.3.3 Influência do pH com a melhor concentração do coagulante

Na Figura 7 e na Figura 8 estão apresentados os valores das remoções de cor e de turbidez do efluente tratado com a melhor concentração de sulfato de alumínio (1 mg/L) em diferentes valores de pH.

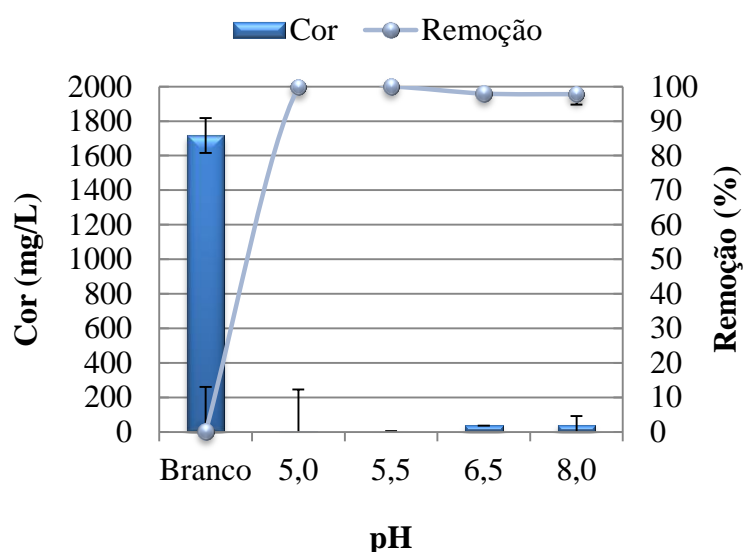


Figura 7 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da variação do pH em melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH_ibranco: 7,6; pH_fbranco: 7,8.

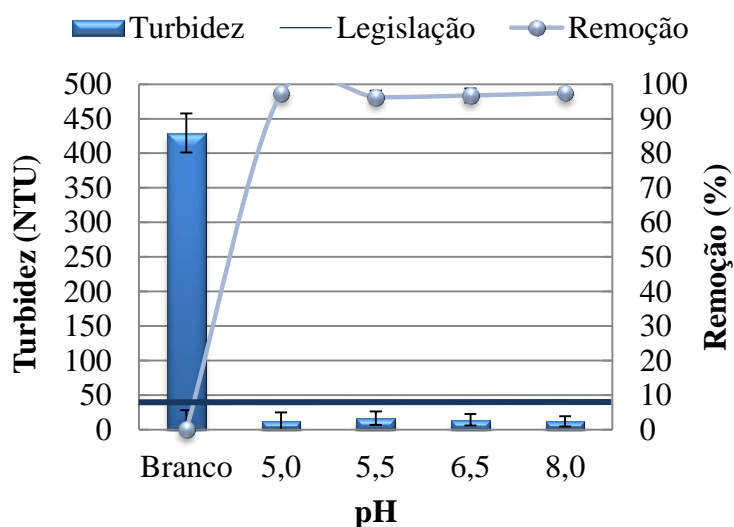


Figura 8 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da variação do pH em melhor concentração do coagulante sulfato de alumínio e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH_{branco}: 7,6; pH_f_{branco}: 7,8.

Com base nestes dados, foi possível observar que as eficiências de remoção de cor e de turbidez pela adição de 1 mg/L de sulfato de alumínio não foram significativamente alteradas com as mudanças no pH. Isso provavelmente ocorreu porque a faixa ótima de coagulação para este reagente é de pH 5,0 à 8,0 (NUNES, 2008). Este fato confere uma vantagem para o sistema, pois não há necessidade de inserção de novos reagentes para ajustes de pH, caso o sulfato de alumínio seja considerado o melhor reagente.

Assim, usando o coagulante sulfato de alumínio na concentração de 1 mg/L com o ajuste de pH, as remoções de cor foram de 98% a 100%, e de turbidez foram de 96% a 97%. Os valores de cor com pH 6,5 e 8,0 (valores permitidos para o descarte, (RIO GRANDE DO SUL, 2006a)) foram de 36,9 mg/L e 39,9 mg/L, respectivamente, sendo visualmente satisfatório para descarte. Já a turbidez residual foi de 14,3 NTU e 11,9 NTU para os pH de 6,5 e 8,0, respectivamente, estando abaixo do limite estabelecido de 40 NTU (BRASIL, 2005).

O tratamento com pH 5,5 resultou em ausência de cor e baixa turbidez residual (16,5 NTU). Embora, a resolução federal CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) permita o descarte deste efluente no corpo hídrico receptor com este valor de pH, a resolução estadual CONSEMA 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006a) não o permite, sendo este tratamento não viável para aplicação no Estado.

Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Menezes (2005), que estudou o efeito do pH na cor e na turbidez residual do efluente tratado de uma lavanderia industrial com o uso de coagulante sulfato de alumínio. Este autor encontrou remoções de cor e de turbidez de 80% e 72% na faixa de pH 5,0 a 6,5 na concentração de 800 mg/L de coagulante. Similarmente, Jerônimo (2012) avaliou o tratamento de um efluente têxtil com variação do pH com a adição de 200 mg/L de sulfato de alumínio e mostrou uma remoção de turbidez de, aproximadamente, 90% em pH igual a 3,0.

Diferentemente, Matos et al. (2007), ao estudarem a concentração e a faixa ótima de pH do coagulante sulfato de alumínio na turbidez da água do processamento dos frutos cafeeiro, concluíram que com o aumento na concentração do coagulante até 3000 mg/L, ocorreu maior remoção de turbidez na faixa de pH 7,0 a 8,0. Já Fortino (2012) estudou diferentes concentrações (30 mg/L, 50 mg/L, 70 mg/L e 100 mg/L) de sulfato de alumínio em pH 7,0 para tratar um efluente têxtil e encontrou uma remoção de turbidez igual a 95% para a concentração de 70 mg/L de coagulante.

Ainda, Carvalho (2008) mostrou remoções de 80% a 97% tanto para a cor, quanto para a turbidez, na faixa de pH 7,0 a 9,0, nas diferentes concentrações do coagulante sulfato de alumínio (15 mg/L a 90 mg/L) no tratamento da água captada no rio Pirapó, no estado do Paraná. Complementarmente, os resultados obtidos para alcalinidade, DQO e dureza para os melhores resultados em pH 8,0 no presente estudo são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 1 mg/L de coagulante sulfato de alumínio em pH 8,0.

Parâmetros	Resultados		Remoções (%)	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	335,5 ±0,7	108,0 ±39,3	-	67,8
DQO, mg _{O2} /L	711,8 ±13,9	129,4 ±132,0	-	81,8
Dureza, mg _{CaCO3} /L	194,8 ±7,07	187,3 ±15,0	-	3,85
Condições experimentais: V: 0,5 L; [coagulante] = 1 mg/L; pH = 8,0; pH _{i tratado} : 7,8; pH _{f tratado} : 8,0.				

Com base nos resultados da Tabela 3 foi possível observar que a alcalinidade do efluente tratado (108 mg_{CaCO3}/L) foi inferior quando comparada ao bruto (335,5 mg_{CaCO3}/L), resultando em uma remoção de 68%. Já para DQO houve uma remoção

de 82% com um valor residual de 129,4 mg_{O₂}/L. Assim, esse efluente poderia ser descartado ao corpo hídrico receptor por encontrar-se dentro do limite estabelecido, 400 mg_{O₂}/L, (RIO GRANDE DO SUL, 2006a). Este resultado vai de encontro àqueles obtidos por Jerônimo (2012) que estudou a remoção de DQO de um efluente têxtil a partir da variação do pH (3,0 a 12,0) com a variação de sulfato de alumínio (10 mg/L a 300 mg/L), atingindo uma remoção de 30% e 19% para 100 e 200 mg/L de coagulante em pH 3,0.

Em contrapartida, com relação à dureza houve apenas 4% de remoção com um valor residual de 187,3 mg_{CaCO₃}/L. Assim como a alcalinidade, esse parâmetro não possui legislação referente ao seu descarte, podendo ser classificada quanto a sua composição de íons alcalino-terrosos, que o classifica como água dura (SAWYER, MCCARTY e PARKIN, 2003).

5.3.4 Avaliação do tipo de floculante

A Figura 9 e a Figura 10 mostram os valores residuais e de remoções para a cor e para a turbidez dos diferentes tipos de floculantes.

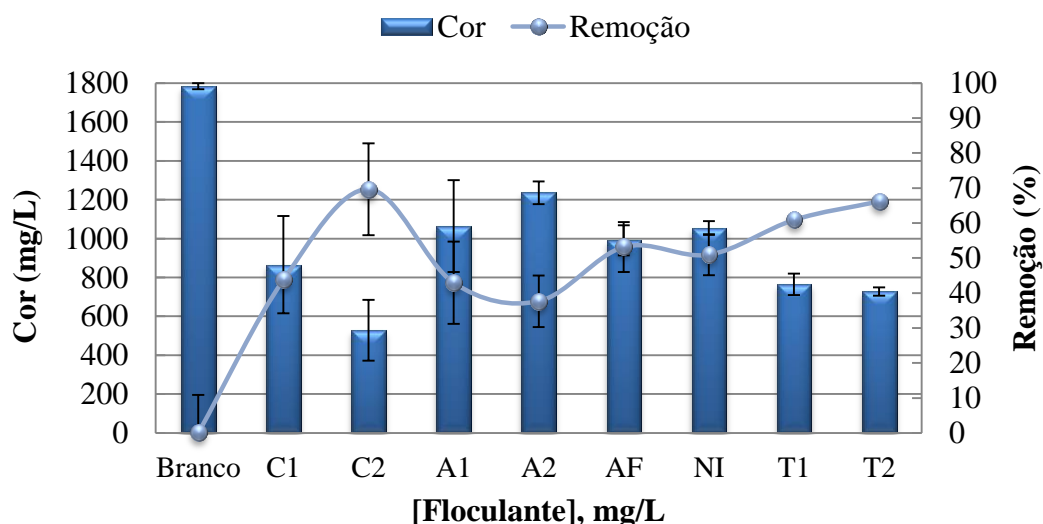


Figura 9 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função dos diferentes tipos de floculantes em uma mesma concentração e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [floculante] = 5 mg/L; pH_{branco}: 7,3; pH_f: 7,5.

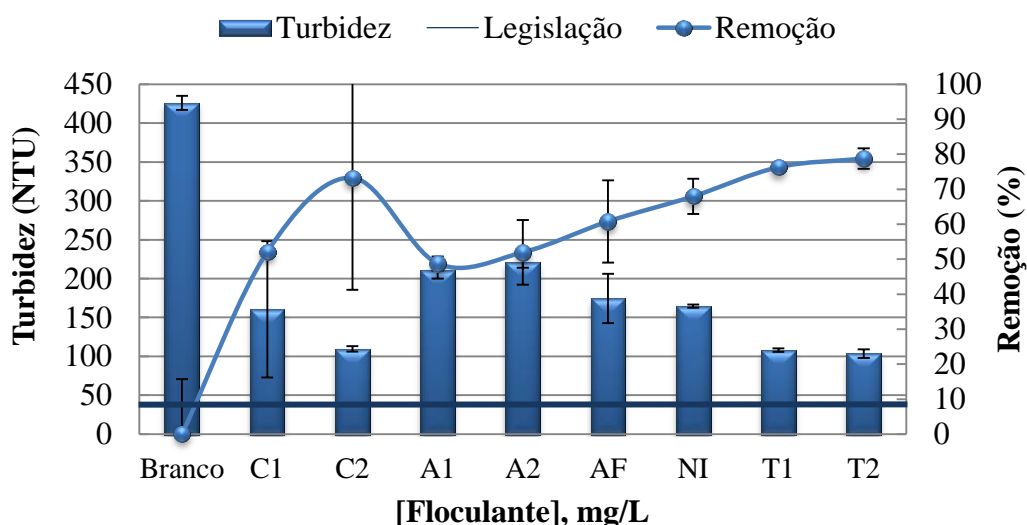


Figura 10 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função dos diferentes tipos de floculantes em uma mesma concentração e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; [floculante] = 5 mg/L; $\text{pH}_{\text{branco}}$: 7,3; $\text{pH}_{\text{fbranco}}$: 7,5.

É possível observar nas figuras Figura 9 e Figura 10 que, dentre os polímeros investigados, o catiônico, C2, e os taninos T1 e T2, em concentração de 5 mg/L, foram os reagentes que promoveram melhores remoções tanto de cor, como de turbidez. Os taninos T1 e T2, apresentaram os maiores valores de remoção de cor e de turbidez de 61% e 66% e de 76% e 79%, respectivamente.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Arantes et al. (2014), que usaram o floculante Tanfloc® SG (TSG) como auxiliar na filtração no tratamento de um efluente têxtil com concentrações de 60 mg/L a 120 mg/L de tanino para a remoção de turbidez do efluente tratado. Estes autores mostraram eficiência de remoção de turbidez superior a 99% em pH na faixa de 7,3 a 8,7. Igualmente, Vaz et al. (2010), nos seus estudos de tratamento de efluentes de galvanoplastia, encontraram remoções de cor de 97% e de turbidez de 99%, também com o Tanfloc® SG (TSG), em concentração de 400 mg/L e pH 6,5.

Similarmente, Coral, Bergamasco e Bassetti (2009), em um estudo de viabilidade de utilização do polímero natural Tanfloc® em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo, obtiveram uma remoção de turbidez de 84% com uma concentração de 40 mg/L de tanino em pH 6,9. Adicionalmente, para o tratamento de água pluvial visando fins não potáveis, Martini e Moruzzi (2013) analisaram duas concentrações de soluções do tanino vegetal (Acquapol OF), encontrando remoções de cor de 84% e de turbidez de 82% para uma concentração

de 13,5 mg/L de tanino em pH de 5,9. Já Sánchez-Martín, González-Velasco e Beltrán-Heredia (2010) encontraram remoções de turbidez de até 90% com a concentração de 20 mg/L de tanino (Silvafloc®) em pH neutro no tratamento de águas superficiais.

Os demais resultados deste trabalho (Figuras 9 e 10) também mostraram que os flocculantes aniônicos, apresentaram valores de remoções de cor de 43% e 38%, respectivamente, para A1 e A2, e valores de remoção da turbidez em 49% (A1) e 52% (A2). Já para os polímeros anfótero e não-iônico, os valores encontrados para as remoções de cor foram de 53% e 51% para cada, e remoções de turbidez de 61% para o anfótero e de 68% para o não-iônico.

Em relação aos valores residuais, foram encontrados para a cor valores entre 528,2 mg/L e 1235,9 mg/L para os flocculantes C2 e A2, respectivamente, e para a turbidez os valores ficaram entre 103,5 NTU para T2 e 220,5 NTU para A2. Estes resultados vão de encontro àqueles obtidos por Oliveira (2010), que utilizou estes polímeros hidrossolúveis nos mecanismos de floculação, onde apresentaram maiores remoções de turbidez em função da velocidade de sedimentação dos flocos formados nos estudos de floculação de partículas de carvão ativado e de caulim. Foram encontradas eficiências de agregação superiores a 97% nos resultados para todos os polímeros com concentração de 5 mg/L em pH 7,0 adicionados ao carvão ativado com concentração de 2000 mg/L. Dentre os polímeros aniônicos analisados (A110, A100, A150, A120, A130, A130L e A130H), apenas os polímeros A100, A110, A120, A130 e A150, apresentaram remoções de turbidez próximas de 98%, assim como, para os polímeros anfótero (ANF8170) e não-iônico (920SH). Os polímeros catiônicos (C448 e C498) também apresentaram remoções altas de turbidez, 98% e 97%, respectivamente, porém, formaram flocos com dimensões menores do que as observadas para os demais polímeros estudados.

Estas diferenças na floculação produzidas por diferentes polímeros também foi constatada por Menezes (2005) em estudos de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial por meio da adição de 800 mg/L de sulfato de alumínio em pH 6,5 com a variação dos diferentes flocculantes (catiônico, aniônico e não-iônico). Este autor mostrou que os melhores resultados foram para a poliacrilamida catiônica, cujos flocos mostraram-se grandes, individualizados e com boa capacidade de sedimentação. Já com o aniônico, os flocos também se formaram individualizados, mas com um tamanho menor e com o não-iônico, a formação dos flocos não se

mostrou eficaz. As remoções de cor e turbidez obtidas neste estudo foram de 83% e 100%, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho e sumarizados na Tabela 4, foi possível observar que os floculantes não-iônico e anfótero não conferiram resultados diferenciais para o tratamento. Considerando este fato, bem como, o de que esses reagentes não são de fácil obtenção quando comparados aos catiônicos e aniônicos, os mesmos não foram selecionados para os estudos subsequentes. Assim, foi considerada a viabilidade de continuidade dos estudos com um floculante catiônico, um aniônico e um tanino.

Tabela 4 – Resumo das remoções encontradas para cor e turbidez dos floculantes catiônicos, aniônicos, anfótero, não-iônico e taninos em concentração de 5 mg/L.

Remoções (%)			
Cor		Turbidez	
C1 (44%)	C2 (70%)	C1 (52%)	C2 (73%)
A1 (43%)	A2 (38%)	A1 (49%)	A2 (52%)
AF (53%)	NI (51%)	AF (61%)	NI (68%)
T1 (61%)	T2 (66%)	T1 (76%)	T2 (79%)

Também foi possível evidenciar que os floculantes C1 e C2 apresentaram remoções de turbidez de 52% e de 73%, respectivamente, e de cor de 44% e 70%, na mesma ordem, sendo o C2 escolhido para continuidade dos estudos.

Já os floculantes A1 e A2 e T1 e T2 não promoveram, entre eles, diferenças significativas na cor e na turbidez residual do efluente. No entanto, foi observado visualmente que estes reagentes promoveram diferentes morfologias aos flocos indicando a ocorrência de agregados mais pesados e, conseqüentemente, de sedimentações mais velozes. Assim, considerando que maiores velocidades de sedimentação dos flocos conferem vantagens operacionais aos sistemas de coagulação-floculação (OLIVEIRA, 2010), este parâmetro foi preponderante para a escolha dos reagentes para a continuidade dos estudos.

5.3.5 Avaliação da concentração ótima dos melhores floculantes

Na Figura 11 e na Figura 12 estão apresentados os valores das variações da cor e da turbidez residuais em função da concentração do floculante catiônico (C2).

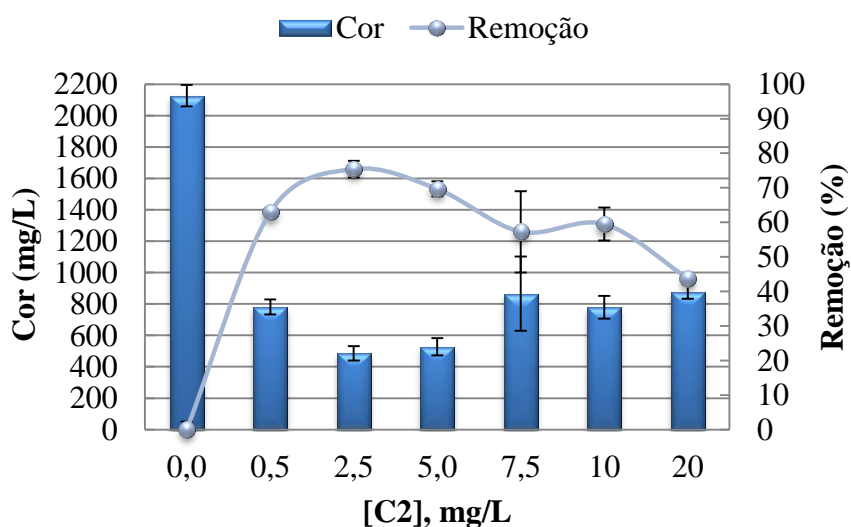


Figura 11 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante catiônico 4800SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{i branco}}$: 7,4; $\text{pH}_{\text{f branco}}$: 7,4.

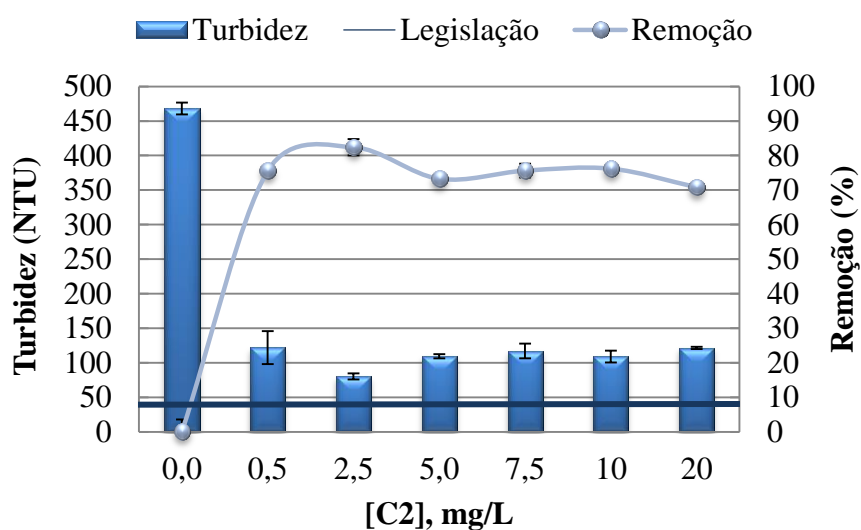


Figura 12 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante catiônico 4800SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{i branco}}$: 7,4; $\text{pH}_{\text{f branco}}$: 7,4.

Comparando os valores residuais da cor (1973,7 mg/L) e da turbidez (455,5 NTU) do efluente bruto com os valores da cor (485,1 mg/L) e da turbidez (80,2 NTU) residuais obtidos com o floculante catiônico (C2) para a concentração de 2,5 mg/L, nota-se que houveram remoções de cor de 75% e de turbidez de 82%. Para as demais concentrações, os valores residuais obtidos foram menores que estas, obtendo-se remoções abaixo de 70% para a cor e de 77% para a turbidez.

Para o descarte deste efluente, em relação aos valores de turbidez, o mesmo pode afetar a qualidade do corpo hídrico receptor ao ser descartado, mesmo após seu tratamento (BRASIL, 2005). Para a cor, foi observado que não havia ausência total da mesma no efluente, devido a isto, o descarte não se tornaria viável ambientalmente (RIO GRANDE DO SUL, 2006a).

Estudos similares foram realizados por Vaz et al. (2010) que obtiveram remoções de cor de 97% e de turbidez de 99%, em pH 6,5, com a concentração de 100 mg/L de polímero catiônico (Acquapol C1) no tratamento do efluente de galvanoplastia. Também, Tosato Jr e Halasz (2011) avaliaram o tratamento de efluentes têxteis utilizando processos físico-químicos de coagulação e sedimentação com uma concentração de 0,04 mg/L de sulfato de alumínio adicionado a concentração de 0,02 mg/L de polímero catiônico (Praestol 2640 Z) em pH 5,1. Como resultados, obtiveram remoções de cor de 68% e de turbidez de 96%. Complementarmente, Cruz et al. (2005) encontraram remoções de turbidez de 96% em pH 6,8 com a adição de 800 mg/L de sulfato de alumínio com 2 mg/L de poliacrilamida catiônica nos ensaios de coagulação-floculação em efluentes de lavanderia industrial.

A Tabela 5 apresenta os valores brutos, residuais e as remoções dos parâmetros alcalinidade, DQO e dureza do efluente após tratamento com o floculante catiônico de concentração de 2,5 mg/L.

Tabela 5 – Valores residuais dos efluentes brutos e tratados com o floculante C2 dos parâmetros alcalinidade, DQO e dureza.

Parâmetros	Resultados		Remoções (%)	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	335,5 ±0,7	226,0 ±0,0	-	32,6
DQO, mg _{O2} /L	711,8 ±13,9	84,3 ±90,0	-	88,1
Dureza, mg _{CaCO3} /L	194,8 ±7,07	175,8 ±74,3	-	9,7

Condições experimentais: [floculante] = 2,5 mg/L; pH_{tratado}: 7,6; pH_f: 7,4.

Embora a alcalinidade não esteja definida nas legislações federal ou estadual quanto ao descarte do efluente, o valor residual final foi de 226,0 mg_{CaCO3}/L e a remoção foi de 33%. Assim, considerando que o efluente tratado apresentou um pH com valor de 7,4, este efluente quando for lançado ao meio ambiente poderá induzir à formação de bicarbonatos na água do corpo hídrico receptor. Do ponto de vista

sanitário, segundo a Universidade de Coimbra (2007/08), a alcalinidade não tem significado relevante, mesmo para valores elevados ($400 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$). No entanto, as águas de alta alcalinidade podem ser prejudiciais quando associadas com um pH elevado, um excesso de dureza e de sólidos dissolvidos.

Assim como a alcalinidade, a dureza não possui legislação específica quanto ao descarte do efluente e, considerando o valor residual final ($175,8 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$) obtidos no presente estudo, este efluente pode ser classificado como água dura, segundo Sawyer, McCarty e Parkin (2003). Em relação à DQO, esta teve uma remoção de 88%, o que permitiria o descarte deste efluente ao corpo hídrico receptor ao ser comparado o seu valor residual ($84,3 \text{ mg}_{\text{O}_2}/\text{L}$) com o valor máximo permitido de lançamento de até $400 \text{ mg}_{\text{O}_2}/\text{L}$ (RIO GRANDE DO SUL, 2006a).

Estes resultados aparecem com grande vantagem quando comparados a estudos de outros autores, por utilizarem mais reagentes do que o estudo presente, como, por exemplo, Tosato Jr e Halasz (2011) que encontraram remoção de DQO de 68% com a adição de $0,02 \text{ mg}/\text{L}$ de polímero catiônico (Praestol 2640 Z) adicionado à concentração de $0,04 \text{ mg}/\text{L}$ de sulfato de alumínio em pH 5,1 no tratamento de efluentes têxteis utilizando processos físico-químicos de coagulação e sedimentação. Complementarmente, Cruz (2004) encontrou remoções de DQO de 82% em pH 6,8 com a adição de $2 \text{ mg}/\text{L}$ de polímero catiônico com $800 \text{ mg}/\text{L}$ de sulfato de alumínio nos ensaios laboratoriais de efluentes de lavanderia industrial. Nos estudos em escala industrial com as mesmas concentrações anteriores, a remoção de DQO foi praticamente a mesma (84%) em pH 6,3. Igualmente, Menezes (2005), obteve remoção de DQO de 84% com a concentração de $800 \text{ mg}/\text{L}$ de sulfato de alumínio com $2 \text{ mg}/\text{L}$ de polímero catiônico em pH 6,5 no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial.

Na Figura 13 e na Figura 14 estão apresentados os valores residuais das variações da cor e da turbidez para o floculante aniônico (A1).

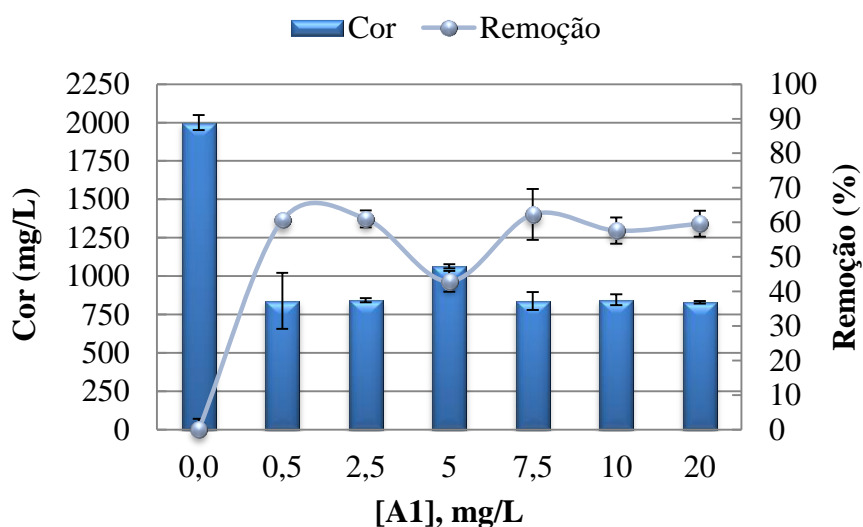


Figura 13 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do flocculante aniônico 912SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{i branco}}$: 7,5; $\text{pH}_{\text{f branco}}$: 7,6.

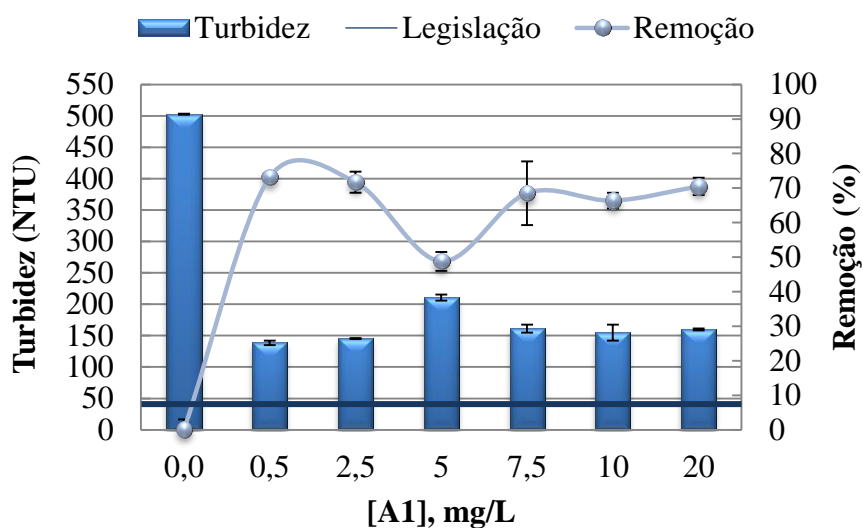


Figura 14 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do flocculante aniônico 912SH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{i branco}}$: 7,5; $\text{pH}_{\text{f branco}}$: 7,6.

Com base nos dados da Figura 13 e da Figura 14, foi possível observar que as eficiências de remoção de cor e de turbidez das diferentes concentrações do flocculante aniônico não apresentaram grandes variações. Os valores de remoção para a cor variaram de 43% a 62% para as concentrações de 5 mg/L e 7,5 mg/L, respectivamente. Já para a remoção da turbidez, os valores encontrados variaram de 49% a 73% para as concentrações de 5 mg/L e 0,5 mg/L, respectivamente.

Considerando a cor residual, todas as concentrações com o floculante aniônico obtiveram valores na média de 838,9 mg/L, com exceção da concentração de 5 mg/L, que foi de 1064 mg/L. Da mesma forma, a turbidez residual teve valores médios de 152 NTU, com a mesma exceção para a concentração de 5 mg/L, que foi de 210,5 NTU. Foi observado que as cores residuais ainda permaneceram altas, mesmo com a existência das remoções.

Outros resultados distintos foram encontrados por Cruz et al. (2005), que analisaram a eficiência da remoção de turbidez em um efluente de lavanderia industrial nos ensaios de coagulação-floculação com a adição de 166 mg/L de tanino catiônico com 2 mg/L de polímero aniônico, encontrando remoção de turbidez de 96% em pH de 7,2. Diferentemente, Kuritza (2012) encontrou remoções de cor de 88% e de turbidez de 95% para a concentração de 200 mg/L de PAC (cloreto de polialumínio) com a adição de 2 mg/L de polímero aniônico (Praestol 2540 Z) em processo de coagulação-floculação com sedimentação no pós-tratamento do efluente de uma indústria de papel e celulose no estado do Paraná.

Diante dos resultados da Figura 14 foi possível observar que a menor concentração de 0,5 mg/L pode ser convenientemente escolhida, tendo em vista que produz um resultado similar de tratamento quando comparada às demais concentrações. A Tabela 6 mostra os resultados das análises químicas de alcalinidade, DQO e dureza para o efluente tratado com esta menor concentração de 0,5 mg/L.

Tabela 6 – Valores residuais dos efluentes bruto e tratado com o floculante A1 dos parâmetros alcalinidade, DQO e dureza.

Parâmetros	Resultados		Remoções (%)	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	335,5 ±0,7	239,0 ±1,1	-	28,8
DQO, mg _{O2} /L	711,8 ±13,9	150,0 ±57,4	-	78,9
Dureza, mg _{CaCO3} /L	194,8 ±7,07	89,9 ±6,92	-	53,8

Condições experimentais: [floculante] = 0,5 mg/L; pH_{i tratado}: 7,9; pH_{f tratado}: 7,6.

Conforme os dados da Tabela 6, utilizando floculante A1, o percentual de remoção de alcalinidade foi de 29%, a DQO de 79% e a dureza de 54%. Em valores residuais, foi encontrado 239 mg_{CaCO3}/L para a alcalinidade, 150 mg_{O2}/L para a DQO

e 89,9 mg_{CaCO₃}/L para a dureza. Após o tratamento, o efluente pode ser caracterizado como água moderadamente dura.

Em relação aos resultados encontrados para a DQO, foi determinado o valor residual de 150 mg_{O₂}/L após o tratamento, sendo possível o seu descarte ao corpo hídrico receptor (RIO GRANDE DO SUL, 2006a). O valor de DQO bruto estava acima do permitido pela legislação (711,8 mg_{O₂}/L) que é de até 400 mg_{O₂}/L.

Esses resultados são semelhantes, porém aparecem com grandes vantagens, quando comparados aos estudos de outros autores como, Cruz et al. (2005), que encontraram remoção de DQO de 84% em pH 7,2 em escala de bancada, porém com a adição de 2 mg/L de polímero aniônico com 166 mg/L de tanino catiônico nos ensaios de coagulação-floculação em efluentes de lavanderia industrial. Similarmente, Menezes (2005), estudou o tratamento de efluente de lavanderia industrial por meio da técnica de adsorção/coagulação-floculação encontrando remoção de matéria orgânica de 97% com a adição de 2 mg/L de polímero aniônico com 800 mg/L de sulfato de alumínio e, ainda, com a adição de 2000 mg/L de carvão ativado em pH 7,3.

A Figura 15 e a Figura 16 mostram a variação da cor e da turbidez residual para o floculante T2 (TSH) em diferentes concentrações.

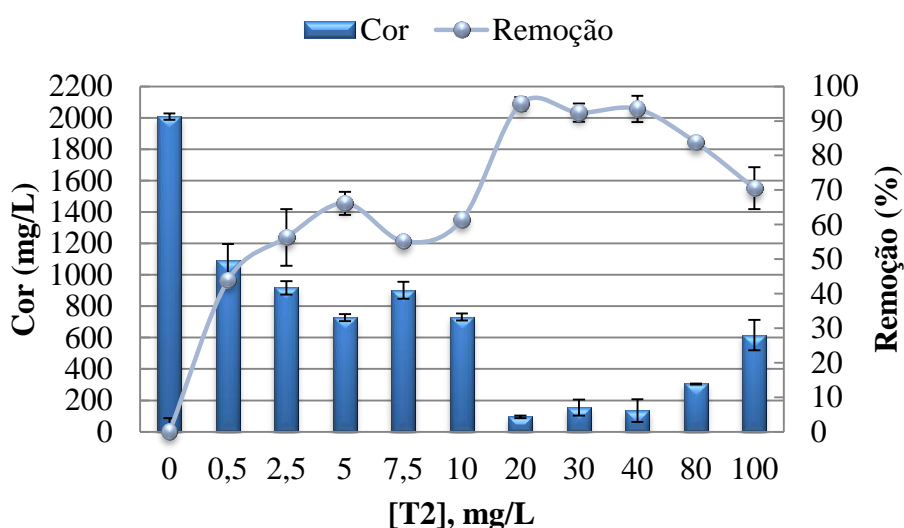


Figura 15 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; pH_ibranco: 6,9; pH_fbranco: 7,3.

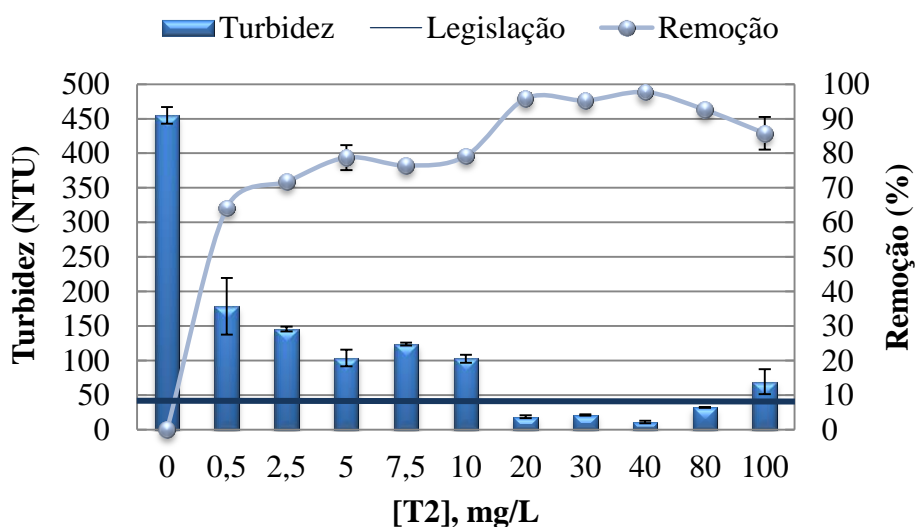


Figura 16 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do flocculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: V: 0,5 L; $\text{pH}_{\text{i branco}}$: 6,9; $\text{pH}_{\text{f branco}}$: 7,3.

Com o uso do tanino T2 (TSH), foi possível observar a eficiente remoção de cor e de turbidez para as todas as concentrações. Para a concentração de 20 mg/L foram encontrados os valores de 95% e 96% de remoção de cor e de turbidez, respectivamente. Nessa condição foram encontrados os valores de 95,1 mg/L e 18,5 NTU para cor e turbidez, na mesma ordem. Já, para a concentração de 30 mg/L obteve-se um percentual de remoção de cor de 92% e cor residual de 154,4 mg/L, e uma remoção de turbidez de 95% e turbidez residual de 21,2 NTU. Em relação à concentração de 40 mg/L, a remoção de cor foi de 93% e residual de 134,8 mg/L, enquanto que a de turbidez foi de 98% e residual de 11 NTU.

O tratamento com as concentrações de 20 mg/L, 30 mg/L e 40 mg/L de T2 ocorreu de forma satisfatória permitindo a obtenção de um efluente líquido clarificado, conforme mostrado na Figura 17. Além disso, foi possível observar que a concentração de 20 mg/L produziu flocos mais resistentes e coesos, sendo esta a concentração escolhida para a continuidade dos estudos.

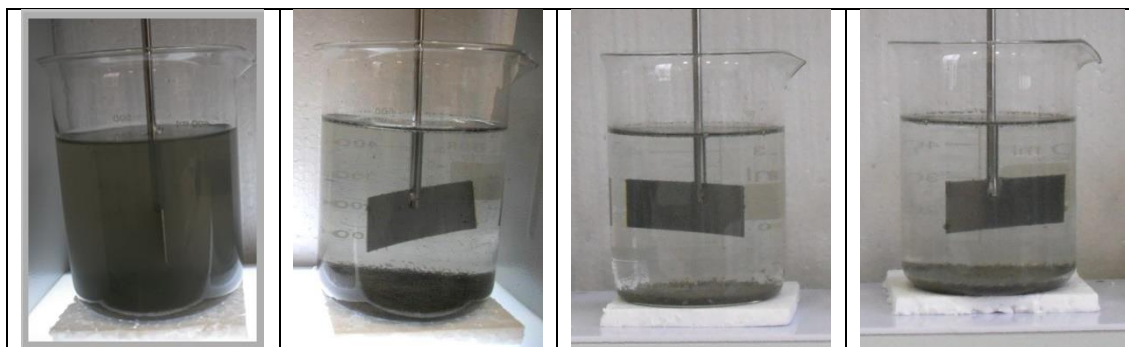


Figura 17 – Fotografias do efluente bruto e tratado com as melhores concentrações do floculante T2 em 20 mg/L, 30 mg/L e 40 mg/L, da esquerda para a direita, respectivamente.

Após o tratamento com o tanino TSH (T2) em concentração de 20 mg/L o efluente pode ser lançado no meio ambiente sem afetar a qualidade do corpo hídrico receptor por seu valor de turbidez (18,5 NTU) ser inferior ao limite permitido, que é de até 40 NTU (BRASIL, 2005). Em relação à cor o valor encontrado para esta concentração foi de 95,1 mg/L, sendo um valor reduzido quando comparado com a cor inicial do efluente bruto, que foi de 2008,1 mg/L.

Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Bongiovani et al. (2010), que encontraram remoções 65% a 95% para cor e 75% a 97% para turbidez, na faixa de pH 6,0 a 9,0, nas diferentes concentrações do Tanfloc[®] SS (TSS), 10 mg/L a 60 mg/L, no tratamento da água bruta superficial captada na bacia do rio Pirapó, no estado do Paraná. Já Tamogami, Rizk e Almeida (2014) obtiveram eficiências de remoção de quase 100%, tanto para a cor (55% a 98%) quanto, para a turbidez (44% a 95%), em pH 7,0, nas diferentes concentrações do tanino (Tanfloc[®]), 600 mg/L, 1200 mg/L, 1800 mg/L, 2400 mg/L, 3000 mg/L e 3600 mg/L, no tratamento de efluente de curtume.

De forma semelhante, Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) obtiveram uma alta eficiência na remoção de turbidez, cerca de 100%, nas diferentes concentrações de tanino (0 mg/L a 150 mg/L), sendo, 80% de eficácia na remoção alcançada com concentração de tanino de 40 mg/L e uma remoção quase total na turbidez com concentrações perto do 100 mg/L no tratamento de águas residuais municipais. Para a mesma concentração de 100 mg/L de tanino, Ströher et al. (2013) encontraram eficiências de remoção para a cor verdadeira de 95% e para a turbidez de 98%, em pH 6,9, na utilização do coagulante tanino no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans.

Do mesmo modo, Skoronski et al. (2014) obtiveram elevadas remoções de cor e de turbidez nas diferentes concentrações de tanino (1 mg/L a 10 mg/L) no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, no estado de Santa Catarina. Com a concentração de 7,5 mg/L de tanino, encontraram remoções de cor de 97% e de turbidez 99%. Similarmente, Zolett e Jabur (2013) encontraram uma turbidez residual de 1,2 NTU (94% de remoção) para a concentração de 8 mg/L de tanino SG (TSG) em pH 8,2 em seu estudo de uma estação de tratamento de água para consumo humano no estado do Paraná.

Com relação aos parâmetros de alcalinidade, DQO e dureza das amostras tratadas com a concentração de 20 mg/L de T2, também foi possível observar remoções, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 20 mg/L de T2.

Parâmetros	Resultados		Remoções (%)	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	335,5 ±0,7	204,0 ±4,6	-	39,2
DQO, mg _{O2} /L	711,8 ±13,9	35,3 ±16,9	-	95,0
Dureza, mg _{CaCO3} /L	194,8 ±7,07	187,3 ±32,0	-	3,85

Condições experimentais: V: 0,5 L; [T2] = 20 mg/L; pH_{itratado}: 7,5; pH_{ftratado}: 7,3.

Com os dados da tabela acima, foi possível observar que houve uma remoção de alcalinidade de 39% com um valor residual de 204 mg_{CaCO3}/L. Sendo assim, o efluente tratado não poderia ser descartado ao corpo hídrico receptor. Segundo Moraes (2008), os valores elevados de alcalinidade estão relacionados ao processo de decomposição da matéria orgânica e a alta taxa respiratória de microrganismos por meio da liberação e dissolução do gás carbônico na água. Levando-se em conta o valor do pH final do efluente tratado (pH 7,3), este valor indica que ao ser lançado ao corpo hídrico, este efluente poderá induzir a formação de bicarbonatos na água (BRASIL, 2014).

Em relação à dureza foi encontrado uma remoção de 4% com um residual de 187,3 mg_{CaCO3}/L. De acordo com Sawyer, McCarty e Parkin (2003) a dureza é classificada quanto ao teor de cálcio e magnésio presente na água, sendo assim, o efluente tratado foi considerado como água dura.

Por fim, foi observado que apenas o parâmetro DQO apresentou uma remoção (95%) satisfatória para o efluente final e, ainda, obteve um valor residual final (35,3 mg_{O2}/L) abaixo do valor determinado (400 mg_{O2}/L) para o descarte deste efluente ao corpo hídrico receptor (RIO GRANDE DO SUL, 2006a).

Estes resultados vão ao encontro daqueles obtidos por Couto Junior et al. (2012), que alcançaram uma remoção de, aproximadamente, 95% de DQO no tratamento do efluente têxtil através do processo físico-químico de coagulação-floculação, utilizando um tanino em concentração (400 mg/L) superior ao presente estudo. Por outro lado, Vive e Rizk (2013) apontaram que o tanino removeu, cerca de, 27% a 36% da DQO da vinhaça para as faixas de pH 6,0 a 7,0 para 5.000 mg/L e 10.000 mg/L de tanino, respectivamente.

Na Tabela 8 são apresentadas, resumidamente, as remoções encontradas para os parâmetros de cor, turbidez, alcalinidade, DQO e dureza para as amostras tratadas com a concentração de 20 mg/L de C2, A1 e T2.

Tabela 8 – Cor, turbidez, alcalinidade, DQO e dureza do efluente tratado com 20 mg/L de C2, A1 e T2.

Parâmetros	C2 (%)	A1 (%)	T2 (%)
Cor, mg/L	75	62	95
Turbidez, NTU	82	73	96
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	33	29	39
DQO, mg _{O2} /L	88	79	95
Dureza, mg _{CaCO3} /L	10	54	4

Assim, resumizando o presente estudo, foi possível observar que o floculante catiônico (C2) apresentou remoções de 75% para cor, 82% para turbidez, 33% para alcalinidade, 88% para DQO e 10% para dureza. Já o floculante aniônico (A1) apresentou uma remoção para a cor de 62%, para a turbidez de 73%, para a alcalinidade de 29%, para a DQO de 79% e para a dureza de 54%. Diferentemente, o tanino (T2) apresentou remoções de 95% para cor, 96% para turbidez, 39% para alcalinidade, 95% para DQO e 4% para dureza. Diante destes resultados, o tanino T2 foi selecionado para o avanço dos estudos em escala piloto, devido ao fato de ter proporcionado ótimas remoções de cor e turbidez, bem como ser um reagente natural, biodegradável e proveniente de uma empresa da região.

5.4 Estudos de tratamento do efluente em escala piloto

Os estudos em escala piloto mostraram reprodutibilidade da bancada e obtenção de um líquido altamente clarificado. A Figura 18, a Figura 19 e a Tabela 9 apresentam os resultados obtidos nestes estudos.

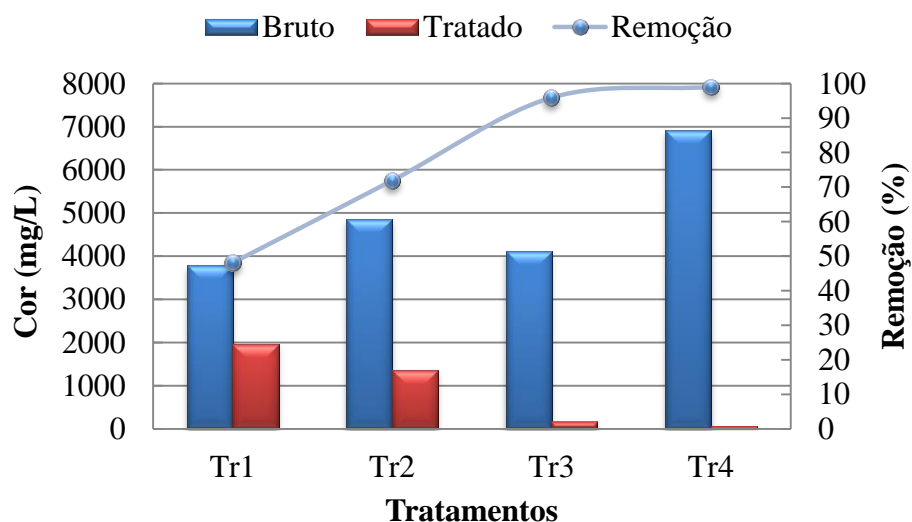


Figura 18 – Gráfico que relaciona a variação da cor residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: Tr1 [20 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 7,1; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 6,8; Tr2 [120 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,4; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 8,4; Tr3 [90 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,7; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 7,9; Tr4 [100 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,3; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 7,8.

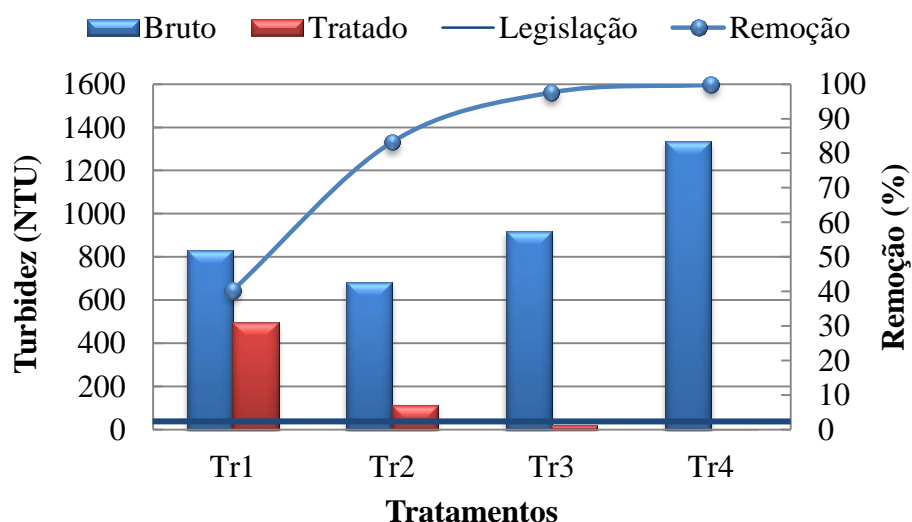


Figura 19 – Gráfico que relaciona a variação da turbidez residual do efluente em função da concentração do floculante tanino TSH e o percentual de remoção. Condições experimentais: Tr1 [20 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 7,1; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 6,8; Tr2 [120 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,4; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 8,4; Tr3 [90 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,7; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 7,9; Tr4 [100 mg/L] $\text{pH}_{\text{i,branco}}$: 8,3; $\text{pH}_{\text{f,branco}}$: 7,8.

Tabela 9 – Alcalinidade, DQO e dureza dos efluentes bruto e tratado com 20 mg/L, 90 mg/L, 100 mg/L e 120 mg/L de T2 nos estudos em escala piloto.

Parâmetros	Floculante, 20 mg/L Tr1			Floculante, 90 mg/L Tr3			Floculante, 100 mg/L Tr4			Floculante, 120 mg/L Tr2		
	Resultados		Remoção (%)	Resultados		Remoção (%)	Resultados		Remoção (%)	Resultados		Remoção (%)
	Bruto	Tratado		Bruto	Tratado		Bruto	Tratado		Bruto	Tratado	
Alcalinidade, mg _{CaCO3} /L	43,0 ±1,4	35,0 ±1,4	18,6	246,1 ±7,4	227,4 ±1,5	7,6	261,8 ±14,8	236,7 ±0,0	9,6	330,0 ±7,4	257,3±1,4	22
DQO, mg _{O2} /L	502,0 ±0,0	247,1 ±27,7	50,8	862,2 ±27,4	130,8 ±6,8	84,8	641,5 ±20,2	128,3 ±6,7	80	1708,7 ±69,0	297,8 ±34,5	82,6
Dureza, mg _{CaCO3} /L	59,9 ±0,0	109,9 ±0,0	0	74,9 ±7,1	47,9 ±0,0	36	99,9 ±0,0	51,9 ±0,0	48	99,9 ±0,0	47,9 ±0,0	52

Condições experimentais: Tr1 [20 mg/L] pH_i_{branco}: 7,1; pH_f_{branco}: 6,8; Tr2 [120 mg/L] pH_i_{branco}: 8,4; pH_f_{branco}: 8,4; Tr3 [90 mg/L] pH_i_{branco}: 8,7; pH_f_{branco}: 7,9; Tr4 [100 mg/L] pH_i_{branco}: 8,3; pH_f_{branco}: 7,8.

De acordo com os dados da Figura 18 e os da Figura 19, foi possível observar que houve remoção de cor e de turbidez para todas as concentrações aplicadas nos tratamentos. Aqui é importante enfatizar que a cada tratamento foi necessário um incremento na concentração do floculante. Este fato ocorreu, possivelmente, porque a concentração de partículas em suspensão aumentou a cada tratamento, seja na lavagem das telas e/ou no lodo que residia dentro do tanque, podendo ter ocorrido o efeito de estericidade (OLIVEIRA e RUBIO, 2011), ou seja, uma nova dispersão com consequente aumento dos valores de turbidez residual. Este fato pode ter ocorrido porque o produto sedimentado do tratamento anterior não podia ser removido, sendo o tratamento realizado com este material em suspensão. Assim, possivelmente o polímero que estava adsorvido nos flocos interagiu com as cadeias poliméricas do floculante adicionado, exigindo uma dosagem cada vez maior para interagir com as partículas em suspensão que se desejava remover. Esta interação entre as cadeias é muito comum e bem relatada na literatura (HOLMBERG, K. et al., 2002; HIEMENZ, 2007; OLIVEIRA, 2010).

Após os tratamentos em escala piloto (Tabela 9), para a concentração de 20 mg/L de tanino, foram determinados os valores de 48% e 40% de remoção de cor e de turbidez, respectivamente. Os valores residuais de cor e de turbidez para esta concentração foram de 1963 mg/L e 496,5 NTU, respectivamente. Já para a concentração de 90 mg/L foi obtido uma remoção de cor de 96% e cor residual de 168,3 mg/L, e uma remoção de turbidez de 98% e turbidez residual de 22,1 NTU. Em relação à concentração de 100 mg/L a remoção de cor foi de 99% e residual de 70 mg/L, e de turbidez uma remoção de, aproximadamente, 100% e residual de 2,4 NTU. Por fim, para a concentração de 120 mg/L foi obtido uma remoção de 72% para a cor e 83% para a turbidez, e uma cor residual de 1366,4 mg/L e uma turbidez residual de 114,5 NTU.

Estes resultados vão ao encontro daqueles obtidos por Couto Junior et al. (2012) que mostraram remoções de 99% tanto para a cor quanto para a turbidez no tratamento de efluente têxtil por meio da coagulação-floculação utilizando uma concentração de 400 mg/L de coagulante tanino. Similarmente, Ramalho (2013) encontrou remoções de 94% para a cor e de 90% para a turbidez em seu estudo de otimização de um processo de coagulação-floculação na ETE de Icaraí, Niterói, com a concentração de 305 mg/L de tanino Tanfloc[®] SL (TSL). Da mesma forma, Costa, Albuquerque e Salgueiro (s/d) *apud* Costa (2008), encontraram uma remoção de cor

de 96% e de turbidez de 79% para a combinação do tanino comercial (Tanfloc[®]) com a adição do polímero auxiliar de floculação (Policap-32) em pH 7,5 no tratamento do efluente de lavanderia e tinturaria industriais via coagulação-floculação. Com valores de concentrações de tanino Tanfloc[®] SG (TSG) maiores que os usados pelos demais autores citados anteriormente, Pedroso et al. (2012) encontraram remoções de cor de até 60% e de turbidez de até 95% para as concentrações de 1500 mg/L e 1100 mg/L de tanino Tanfloc[®] SG (TSG), respectivamente, em pH ajustado para 9,0, para as amostras de lixiviado do aterro sanitário de Maringá, no estado do Paraná, por meio do processo de coagulação-floculação.

Adicionalmente, na Tabela 9 as concentrações de 20 mg/L e 120 mg/L de floculante T2 foram as que apresentaram as melhores remoções de alcalinidade, 19% e 22%, respectivamente. Do mesmo modo, para Skoronski et al. (2014), o consumo de alcalinidade ficou entre 11% e 37% após o tratamento da água do rio Tubarão, no estado de Santa Catarina, com a adição (0 mg/L a 10 mg/L) do tanino Tanfloc[®] SG (TSG). Já Coral, Bergamasco e Bassetti (2009) encontraram remoções de alcalinidade de, aproximadamente, 72% em estudo de viabilidade técnica com a utilização do polímero natural Tanfloc[®] nas concentrações de 10 mg/L a 60 mg/L em substituição ao sulfato de alumínio como coagulante e floculante no tratamento de águas para consumo.

A DQO variou de 51% a 85%, respectivamente, para as concentrações de tanino de 20 mg/L e de 90 mg/L. Em relação aos valores residuais, houve uma variação de 128,3 mg_{O2}/L a 297,8 mg_{O2}/L para as concentrações de 100 mg/L e 120 mg/L, respectivamente. Esses valores de DQO residual ficaram abaixo do limite estabelecido, de até 400 mg_{O2}/L, sendo assim, o efluente poderia ser descartado no corpo hídrico receptor.

Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Ströher et al. (2013), que encontraram uma remoção de 60% de DQO em pH 6,9 na utilização da concentração de 100 mg/L do coagulante tanino no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. Já para Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009), foi encontrado uma eficiência na remoção de DQO em torno de 50% para uma concentração de 60 mg/L de tanino Tanfloc[®] (0 mg/L a 150 mg/L) no tratamento de águas residuais municipais. Similarmente, Tamogami, Rizk e Almeida (2014), obtiveram eficiências de remoção de DQO em torno de 48% e 63% com a adição de tanino Tanfloc[®] nas diferentes concentrações (600 mg/L, 1200 mg/L, 1800 mg/L,

2400 mg/L, 3000 mg/L e 3600 mg/L) em pH ajustado para 7,0 no tratamento de efluente de curtume. Da mesma forma, Ramalho (2013), encontrou uma remoção de DQO de 81% em seu estudo de otimização de um processo de coagulação-floculação na ETE de Icaraí, Niterói, com a concentração de 305 mg/L de tanino Tanfloc[®] SL (TSL).

Em relação à dureza, no tratamento com 20 mg/L de tanino não houve remoção e o valor residual foi de 109,9 mg/L. Por outro lado, para os tratamentos utilizando concentrações de 90 mg/L, 100 mg/L e 120 mg/L de flocculantes foram determinados valores de 36% e 47,9 mg/L, 48% e 51,9 mg/L, 52% e 47,9 mg/L de remoção e de dureza residual, respectivamente.

Os valores de dureza não podem ultrapassar 25 mg_{CaCO3}/L, de acordo com Ribeiro (2009), em seu estudo das possibilidades de reuso da água segundo sua qualidade para o uso nos processos da indústria têxtil nas etapas de engomagem, lavagem, branqueamento e tingimento. Já para o processo geral do reuso da água tratada, os valores residuais das concentrações de 90 mg/L, 100 mg/L e 120 mg/L de flocculante estariam dentro da faixa permitida que é 50 mg_{CaCO3}/L a 100 mg_{CaCO3}/L de dureza.

6 CONCLUSÃO

- O levantamento das matérias-primas permitiu deduzir os principais componentes presentes no efluente e, conseqüentemente, auxiliou na definição de um plano de caracterização das mesmas, considerando os parâmetros de alcalinidade, cor aparente, DQO, dureza, pH e turbidez, pigmentos e partículas em suspensão. Esta caracterização mostrou que o efluente bruto apresentava uma alcalinidade de 335,5 mg_{CaCO₃}/L, cor aparente de 983,2 mg/L, DQO de 711,8 mg_{O₂}/L, dureza de 194,8 mg_{CaCO₃}/L, pH 7,5 e turbidez de 170,5 NTU. As concentrações dos parâmetros analisados, exceto o pH, encontraram-se fora dos limites estabelecidos pelas legislações federal e estadual do Rio Grande do Sul, o que faz dele um efluente com potencial poluente.
- Os estudos de bancada permitiu avaliar a influência do pH e a eficiência do tratamento a partir da adição do coagulante sulfato de alumínio e de diferentes concentrações e tipos de floculantes nas amostras de efluente. Os melhores resultados encontrados foram para os floculantes aniônico 912SH (A1), catiônico 4800SH (C2) e tanino TSH (T2), que promoveram as melhores remoções de cor e turbidez, alcançando valores residuais de 837,5 mg/L e 161 NTU, 485,1 mg/L e 80,2 NTU e 95,1 mg/L e 18,5 NTU, respectivamente, que correspondem às remoções de 62% e 73%, 75% e 82% e 95% e 96%, respectivamente. O uso do tanino TSH (T2) atuou de forma favorável, pois além, de uma clarificação satisfatória, produziu flocos compactos e pesados e, portanto, de fácil sedimentação, além de ser um reagente natural produzido por uma empresa próxima à região do estudo.
- Os estudos em escala piloto mostram reprodutibilidade da bancada e obtenção de um líquido altamente clarificado com o uso do tanino TSH (T2). Os resultados obtidos para os parâmetros de DQO foram de 128,3 mg_{O₂}/L (100 mg/L) a 297,8 mg_{O₂}/L (120 mg/L) e encontravam-se dentro do limite exigido pela resolução CONSEMA 128/2006. Assim como os resultados encontrados para a turbidez (22,1 NTU para 90 mg/L e 2,4 NTU para 100 mg/L) que estavam dentro do limite exigido pela resolução CONAMA 357/2005.

- Diante de todos os resultados obtidos no presente trabalho, foi possível desenvolver um processo de tratamento físico-químico para os efluentes gerados nas aulas práticas de serigrafia do curso Tecnólogo *Design Gráfico*, determinando reagentes e condições operacionais ótimas, além de um procedimento de operação da unidade de tratamento de efluentes instalada. O presente trabalho contribuirá para a Instituição com a criação de um plano de tratamento dos efluentes e com possibilidades de estudos futuros, bem como, para a ampliação das discussões sobre as legislações e fiscalizações envolvendo atividades de pequenas empresas de serigrafia.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar a viabilidade técnica e econômica do reuso do efluente tratado nas atividades de lavagem de telas, avaliando seu impacto sobre a qualidade das telas e das impressões por meio de simulações;
- Classificar as amostras de lodo geradas nos estudos em escala piloto segundo a NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004);
- Desenvolvimento e continuidade dos estudos, possibilitando a formação de recursos humanos com demais trabalhos que envolvam melhorias operacionais nas etapas de tratamento do efluente;
- Investigar as composições de metais pesados nos efluentes bruto e tratado;
- Preparar um manual de operação de planta de tratamento de efluentes, de acordo, com os seus resultados.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR nº 10.004**, de 31 de maio de 2004. Resíduos sólidos - Classificação. ABNT NBR. 2. ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: ABNT, 30 nov. 2004.

ABOULHASSAN, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M.. Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. **Journal of Hazardous Materials**: Elsevier. Marocco, v. 138, n. 1, p. 40-45, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406005115>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

AKYOL, Abdurrahman. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, Turkey, v. 285, p. 91-99, 2012.

ALÉSIO, Rosana González; RIBEIRO, Flávio de Miranda. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Gráfica**. São Paulo. Empresas do Setor Gráfico, 2003. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/guia_ambiental.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2014.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods**: for the examination of water and wastewater. 22. ed. United States: American Public Health Association (APHA), p. 1496, 2012.

ARANTES, Camila. C.; RIBEIRO, Túlio A. P.; PATERNIANI, José E. S.; TATEOKA, Marina S.S.; SILVA, Gabriela K. e. Uso de coagulantes naturais à base de Moringa Oleifera e Tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 780-788, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v34n4/17.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

BARBOSA, Daniele de O.; WITTMANN, Giselen Cristina Pascotto; LUZ, Maíra da Costa Pedro Nogueira da. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Gráfica**. São Paulo. CETESB e SINDIGRAF, 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/guia_ambiental2.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2015.

BASTIAN, Elza Yuriko Onishi; ROCCO, Jorge Luiz Silva. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL, 2009. 81 p. (Série P + L). Colaboração Eduardo San Martin et al.. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. [s.l.] 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte: UFRN, Natal, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15866/1/LeocadiaTCB.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2016.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. **Desalination Journal: The International Journal on the Science and Technology of Desalting and Water Purification**. Badajoz, v. 249, p. 353-358, 2009.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**. Badajoz, v. 162, n. 3, p. 1019-1025, 2010.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; MARTÍN-SÁNCHEZ, C. Remediation of Dye-Polluted Solutions by a New Tannin-Based Coagulant. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Badajoz, v. 50, n. 2, p. 686-693, 2011.

BOLTO, Brian; GREGORY, John. Organic polyelectrolytes in water treatment. **Water Research**, v. 41, p. 2301-2324, 2007.

BONGIOVANI, Milene Carvalho; KONRADT-MORAES, Leila Cristina; BERGAMASCO, Rosângela; LOURENÇO, Beatriz Sayuri Sakaniva; TAVARES, Célia Regina Granhen. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Revista Acta Scientiarum: Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/8238/8238>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

BORGES, Aline Ramos; LUCIDO, Gil Leonardo Aliprandi; PIMENTA, Flavia Duta. Análise comparativa da influência da temperatura no pH e no tempo de solubilização de um no tratamento de efluentes têxteis. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABEPRO: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2011. p. 1-9. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_904_17712.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União – DOU**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente – MMA**. Brasília, BR. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. 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. **Ministério do Meio Ambiente – MMA**. Brasília, BR. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 03 out. 2014.

CAMMAROTA, Magali Christe. Notas de Aula : **Tratamento de Efluentes Líquidos**. 2011/1. 3 versão. 72 p. Apostila. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá: UEM, Maringá, 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=117015>. Acesso em: 08 ago. 2015.

CASQUEIRA, Rui de Goes; SANTOS, Shirleny Fontes. Pigmentos Inorgânicos: propriedades, métodos de síntese e aplicações. In: **Série Rochas e Minerais Industriais**. 12. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 46 p. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-12.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2015.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Org.). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: Apêndice A: Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2009. 44 p. (Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

CHAGAS, Morgane de Aguiar. **Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químico e biológico**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco: UFPE, Recife, 2009.

CISNEROS, Rosario López; ESPINOZA, Abel Gutarra; LITTER, Marta I. Photodegradation of an azo dye of the textile industry. **Chemosphere**, Elsevier. Peru, v. 48, n. 4, p. 393-399. 2002.

COLOTTA, G. Salas. Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil. **Revista Peruana de Química e Ingeniería Química**., Lima, v. 5, n. 2, p. 73-80, 2003. Disponível em: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_quimica/vol5_n2/a11.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2015.

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. In: 2nd International Workshop Advances in

Cleaner Production, 2., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIP: Universidade Paulista, 2009. p. 1-9. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.J.Bassetti-ResumoExp.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

COSTA, Andréa Fernanda de Santana. Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais. [s.l.] Universidade Católica de Pernambuco: UNICAP, Recife, 2008. Disponível em: <http://www.unicap.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=374>. Acesso em: 14 mar. 2016.

COUTO JUNIOR, Osorio Moreira; BARROS, Maria Angélica Simões Dornelas; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 83-88, 2013. Disponível em: <<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=1ce0ea3a-0c07-481c-a293-e11dff8ced5%40sessionmgr103&hid=125>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

COUTO JUNIOR, Osorio Moreira; STRÖHER, Ana Paula; BARROS, Maria Angélica Simões Dornellas de; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Tratamento de efluente da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando coagulantes naturais. **Revista Ciências Exatas**, Maringá, v. 18, n. 1, p. 14-22, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/1457/1023>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

CRUZ, João Guilherme Heinz. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia), Curso Ambiental e Tecnologias Limpas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Porto Alegre, 2004.

CRUZ, João Guilherme Heinz; MENEZES, Jean Carlo Salomé dos Santos; RUBIO, Jorge. SCHNEIDER, Ivo André Homrich. II-042 – Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Porto Alegre: ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-042.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

DAMINELLI, Pedro. Eduardo. **Estação de Tratamento de Efluente: Eficiência**. 2008. 94 f. Monografia (Especialização) – Curso de Pós-graduação em Especialização em Gestão de Recursos Naturais, Universidade do Extremo Sul Catarinense: UNESC, Criciúma, 2008. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000038/00003809.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

DAVIS, Mackenzi. L.. **Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice**. New York: McGraw-Hill Companies, 2010. v. 1. p. 22-2, 22-16, 23-2.

DRINAN, J. E. Water Relulations, Parameters, and Characteristics. In: **Water and Wastewater Treatment: A Guide for the Nonengineering Professional**. Florida: CRC Press, 2001. p. 20-35.

FERSI, Cheima; GZARA, Lassaad; DHAHBI, Mahmoud. Treatment of textile effluents by membrane technologies. **Desalination**. Tunisie. v. 185, n. 1-3, p. 399-409, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405006442>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais; FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. Minas Gerais, 2014. Disponível em: <http://www7.fiemg.com.br/Cms_Data/Contents/central/Media/Documentos/Biblioteca/PDFs/FIEMG/MeioAmbiente/2014/CartilhasPublicações/FI-0054-14-CARTILHA-PRODUCAO-MAIS-LIMPA-INTRANET.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2015.

FIORENTINI, Viviane. **Uso do tanino no processo de tratamento de água como melhoria em sistema de gestão ambiental**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção: PPGE, Universidade Federal de Santa Maria: UFSM, Santa Maria, 2005.

FORTINO, Patrícia. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61035/000863640.pdf?sequence=1&locale=pt_BR>. Acesso em: 15 abr. 2015.

FORTINO, Patrícia Carneiro; TESSARO, Isabel Cristina; FERRIS, Liliana Amaral. Pós-Tratamento de efluente Têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas. In: Seminário do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, 9., 2010, Porto Alegre. **Oktoberforum**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. p. 1-5. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/61035?locale=pt_BR>. Acesso em: 28 abr. 2015.

GIORDANO, Gandhi. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Apostila**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/24138517/1421219182/name/Apostila++Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

GÓMEZ, Oscar Rafael Tinoco; ESCUDERO, Ana María Medina; GAMARRA, Hernán Zapata. Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. **Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial**, v. 14, n. 2, p. 9-15, 2011. Anual. Disponível em: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v14_n2/pdf/a02v14n2.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2015.

GRIGG, Neil S. Water, sewer, and stormwater systems and services. In: **Water, Wasterwater and Stormwater Infrastructure Management**. Florida: CRC Press, 2003. Cap. 2, p. 40-41.

GUZMÁN, Luis; VILLABONA, Ángel; TEJADA, Candelaria; GARCÍA, Rafael. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. **Revista U.D.C.A - Actualidad & Divulgación Científica**, Colombia, v. 16, n. 1, p. 253-262, 2013. Semestral. Disponível em: <<http://www.scielo.org.com/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

HASSEMER, Maria Eliza Nagel; SENS, Maurício Luiz. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil: Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Santa Catarina, v. 7, n. 1, 2, p. 30-36, mar. 2002. Trimestral. Disponível em: <<http://abqct.com.br/artigost/artigoesp39.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

HIEMENZ, P. C. Polymer chemistry. The basic concepts. Pomona, 2007.

HOLMBERG, K.; JÖNSSON, B.; KRONBERG, B.; LINDMAN, B. **Surfactants and polymers in aqueous solution**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd., 2002.

JERÔNIMO, Carlos Enrique. Uso de técnicas combinadas para o tratamento de efluentes têxteis: separação físico-química e fotodegradação UV- H₂O₂. **REGET: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1626-1638, 2012. Quadrimestral. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: 10.5902/223611706244. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/viewFile/6244/pdf>>. Acesso em: 04 set. 2015.

JÚNIOR, Ruben Bresaola; CANTELLI, Dirceu Luchesi. I-098 - Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. (ABES, Ed.). **Anais...** 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-098.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

KONRADT-MORAES, Leila C.; BERGAMASCO, Rosângela, TAVARES; Célia Granhen; HENNIG, Dillaine; BONGIOVANI, Milene Carvalho. Utilization of the coagulation diagram in the evaluation of the Natural Organic Matter (NOM) removal for obtaining potable water. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 6, n. 1, 2008.

KURITZA, Joice Cristini. **Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós-tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Manejo Sustentável de Recursos Florestais, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste: UNICENTRO, Irati, 2012. Disponível em: <http://tede.unicentro.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=156>. Acesso em: 25 set. 2015.

LIU, Meihong; LÜ, Zhenhua; CHEN, Zhihai; YU, Sanchuan; GAO, Congjie. Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. **Desalination**. China, v. 281, n. 1, p. 372-378, 2011.

LÓPEZ, C.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G.; LEMA, J. M.. Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. **Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada**, Espanha, v. 64, n. 531, p. 561-573, 2007. Bimestral. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Carmen_Lopez5/publication/229058887_Tecnologas_para_el_tratamiento_de_efluentes_de_industrias_textiles/links/0912f4ffd534f16c86000000.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2015.

MAHMOUD, E. K. Chemically enhanced primary treatment of textile effluents. **Polish Journal of Environmental Studies**, Egypt, v. 18, n. 4, p. 651-655, 2009. Disponível em: <<http://web.b.ebscohost.com/ehotpst/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&sid=1ce0ea3a-0c07-481c-a293-de11dff8ced5%40sessionmgr103&hid=125>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

MARTINI, Marcos Vinicius Petry de; MORUZZI, Rodrigo Braga. Tratabilidade de águas pluviais utilizando coagulante natural a base de tanino visando fins não potáveis. **Teroria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Claro, n. 22, p. 15-23, out. 2013. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art2_N22.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2015.

MATOS, Antonio T.; CABANELLAS, Cláudia F. G.; CECON, Paulo R.; BRASIL, Mozart S.; MUDADO, Cláudio S.. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 544-551, maio 2007. Trimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n2/a25v27n2.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

MATTAR, Maurício da Silva; COSTA, Helber Barcellos da; BELISÁRIO, Marciela. Emprego de bioadsorventes na remoção de corantes de efluentes provenientes de Indústrias Têxteis. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 60, p. 2-6, ago./set./2012. Disponível em: <<http://www.revistaanalytica.com.br/artigos/12.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

MENEZES, Jean Carlo Salomé dos Santos. **Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia Mineral e Metalurgia Extrativa, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6228/000527288.pdf?sequence=1&locale=pt_BR>. Acesso em: 01 ago. 2015.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: Treatment and reuse. 3. ed. New York: [s.n.]. 2003.

MEZA, Cira Maricruz Mejia. **Produção mais limpa e otimização do tratamento de efluentes líquidos de estamparias em Brusque e Guabiruba**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94079>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

MIRANDA, Anderson Rodrigo. **Caracterização do lodo da estação de tratamento de esgotos da cidade de Chapecó (SC) visando à reciclagem agrícola**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Ambientais, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó: Unochapecó, Chapecó, 2010. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/cienciasambientais/publicacoes-cientificas/detalhes/186846>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

MORAES, Peterson B. **ST 502 – tratamento biológico de efluentes líquidos: ST 503 – tratamento físico-químico de efluentes líquidos**. Universidade Estadual de Campinas: UNICAMP, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/2/Resumo_caracteriza_o_de_efluentes_continua_o.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2016.

MULTIPREST. Consultoria e Projetos LTDA. **Projeto da ETE Nova Santa Rita/RS**: Unilasalle, Campus 2. Porto Alegre: Multiprest, 2013. 11 p.

NAGASHIMA, Lucila Akiko; JÚNIOR, Carlos de Barros; FUJIMURA, Amanda Shizuka; RECANELLO, Taluana Delakis. Caracterização do lodo gerado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com coagulante à base de tanino. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 37-50, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/2884/5653>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

NEMEROW, N. L. et al. Water supply. In: CHINN, T. D. (Ed.). **Environmental Engineering: Water, Wastewater, Soil and Groundwater Treatment and Remediation**. 6. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, Inc., 2009. p. 45, 56.

NOVACK, Aline M. et al. Estudo da Toxicidade em Efluentes de Indústrias de Tintas Tratado por Eletrofloculação. (UNIOESTE, Ed.) In: III Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência, 3., Toledo, p. 6-12, 2013. **Anais...** Paraná: 2013. Disponível em: <[http://www.unioeste.br/eq/iiiiepec/artigos/Trab02-Novack et al.pdf](http://www.unioeste.br/eq/iiiiepec/artigos/Trab02-Novack%20et%20al.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2014.

NOZAIC, D. J.; FREESE, S. D.; THOMPSON, P. Longterm experience in the use of polymeric coagulants at Umgeni Water. **Water Science and Technology: Water Supply**, Finland, v. 1, n. 1, p. 43-50, 2001. Annual. Disponível em: <[http://www.elaguapotable.com/Experiencias en el uso de polimeros.pdf](http://www.elaguapotable.com/Experiencias%20en%20el%20uso%20de%20polimeros.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2015.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 5. ed. Aracajú: Info Graphics Gráfica & Editora Ltda., 2008. 315 p.

OLIVEIRA, Clélia Aparecida da Silva. **Tratamento de corante têxtil por eletrólise, fotólise e fotocatálise utilizando LED UV**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Departamento de Tecnologia e Inovação, Universidade Estadual de Campinas: UNICAMP, Limeira, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000912094>>. Acesso em: 20 out. 2014.

OLIVEIRA, Cristiane Rodrigues. Mecanismos de floculação com polímeros hidrossolúveis, geração de flocos aerados, floculação em núcleos de bolhas floculantes e aplicações na separação de partículas modelos por flotação. 2010. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas e de Materiais: PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Rio Grande do Sul, 2010.

OLIVEIRA, Cristiane; RUBIO, Jorge. **Mecanismos, técnicas e aplicações da agregação no tratamento mineral e ambiental**. Série Tecnologia Ambiental. n. 60. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011. 69 p.

ÖZACAR, Mahmut; ŞENGİL, I. Ayhan. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Turkey, n. 229, p. 85-96, jul. 2003.

PARRON, Lucilia Maria; MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas; PEREIRA, Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. EMBRAPA - Documento 232. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 69 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Departamento de Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo: USP, São Carlos, 2001.

PEDROSO, Keylla; TAVARES, Célia Regina Granhen; JANEIRO, Vanderly; SILVA, Thiago Lopes da; DIAS, Paulo Zanuto. Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação com Tanfloc SG®. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Universidade Estadual de Maringá: UEM, Maringá, p. 87-98, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.revistaret.com.br/ojs-2.2.3/index.php/ret/article/view/126>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

RAMALHO, Maria José de Araújo Caldeira. **Otimização de um processo de coagulação-floculação na ETE de Icaraí, Niterói**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto: FEUP, Portugal, 2013. Disponível em: <http://sigarra.up.pt/feup/pt/pubs_pesquisa.formview?p_id=43351&p_tipo=Tese>. Acesso em: 08 ago. 2015.

RIBEIRO, Marília Cleto Meirelles. **Avaliação da possibilidade de reúso de efluentes têxteis após tratamento complementar por processos oxidativos avançados**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais: UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/776M.PDF>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual nº 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Assembléia Legislativa**. Rio Grande do Sul, BR, 2000, p. 1-50. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=11&tipo=pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

_____. Lei nº 14.528, de 16 de abril de 2014. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Assembléia Legislativa**. Rio Grande do Sul, BR, 2014. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEI%2014.528.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

_____. Resolução CONSEMA nº 128, de 07 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, BR, 2006 a. Disponível em: <https://www.univates.br/unianalises/media/imagens/Anexo_IV_61957_3.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2014.

_____. Resolução CONSEMA nº 129, de 07 de dezembro de 2006. 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. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, BR, 2006 b, p. 1-8. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONSEMA%20n%C2%BA%20129_2006%20-%20Dispoe%20sobre%20a%20defini%C3%A7%C3%A3o%20crit%20e%20padroes%20emissao%20toxic%20efluent%20liqu%20lan%C3%A7ados%20nas%20aguas%20superf%20RS.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

SABUR, M. A; KHAN, A A; SAFIULLAH, S. Treatment of Textile Wastewater by Coagulation Precipitation Method. **Journal of Scientific Research**, Bangladesh, v. 3, n. 4, p. 623-633, 2012.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**. Badajoz, v. 91, n. 10, p. 2051-2058, 2010.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J. Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). **Chemical Engineering Journal**, Badajoz, v. 165, n. 3, p. 851-858, 2010.

SANTOS, André Bezerra dos; SANTAELLA, Sandra Tédde. Remoção de DQO de água residuária de indústria têxtil empregando o processo de lodos ativados em batelada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Ceará, v. 7, n. 3, p. 151-155, 2002. Disponível em: <<http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v7n34/v7n34a05.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

SANTOS, Ester Oliveira. **Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Ciência e

Tecnologia. Universidade Federal de Pernambuco: UFPE, Recife, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5482/arquivo6144_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jun. 2015.

SAWYER, Clair N.; MCCARTY, Perry L.; PARKIN, Gene F. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2003, 768 p.

SEREFIN, Mariana Toledo. **Evolução das tecnologias gráficas**: Serigrafia. 2014. 50 p. Apostila.

SILVA, Cynthia Algayer da; SILVEIRA, Carole; SILVA, Fernando Alves da; KLEN, Marcia Regina Fagundes; BERGAMASCO, Rosângela. Classificação dos lodos formados durante o processo de coagulação-floculação da água com os coagulantes PAC e Moringa Oleifera. **Engevista**, Maringá, v. 14, n. 3, p. 302-309, dez. 2012. Quadrimestral. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/380/211>>. Acesso: 22 jul. 2015.

SKORONSKI, Everton; NIERO, Bruno; FERNANDES, Mylena; ALVES, Mauricio Vicente; TREVISAN, Viviane. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 9, n. 4, p. 679-687, 05 set. 2014. Trimestral. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHI). DOI: 10.4136/1980-993x. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v9n4/v9n4a10.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

SOUZA, Claudio Ramos de. **Guia Ambiental da Indústria Gráfica Catarinense**, ABRIGRAF, 2009. Disponível em: <http://www.abigrafsc.org.br/biblioteca_upload/808/GUIA%20DA%20INDUSTRIA%20GRAFICA%20CATARINENSE.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2016.

STRÖHER, Ana Paula; MENEZES, Maraísa Lopes de; PEREIRA, Nehemias Curvelo; BERGAMASCO, Rosângela. Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **Engevista**: Revista da Escola de Engenharia da UFF, Maringá, v. 15, n. 3, p. 255-260, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/445>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

TAMOGAMI, Cássio; RIZK, Maria Cristina; ALMEIDA, Talita Souza de. Avaliação do uso de tanino em pH neutro no tratamento de efluente de curtume. In: X Fórum Ambiental da Alta Paulista, 10., 2014. **Anais...** São Paulo. Periódico eletrônico. São Paulo: ANAP: Aplicação de Novas Tecnologias Sustentáveis, 2014. v. 10, p. 42-50. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/viewFile/784/808>. Acesso em: 04 ago. 2015.

TANAC S.A. (Montenegro) (Comp.). **Tratamento de águas**. 2014. Disponível em: <<http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/aguas>>. Acesso em: 15 set. 2015.

THE WORLD BANK GROUP. **Pollution prevention and abatement handbook, 1998**: toward cleaner production. In collaboration with the United Nations Environment Programme and the United Nations Industrial Development Organization. 471 p. 1999.

TOSATO JR, J. C.; HALASZ, M. R. T.. Tratamento de efluentes têxteis utilizando processos físico-químicos e oxidativos avançados. (UNIP, Ed.) In: International Workshop Advances in Cleaner Production, 3., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011. p. 1-10. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/1/Tosato_Jr_JC_Paper_5B1.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

TWARDOKUS, Rolf Guenter. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina: UFSC, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://www.abqct.com.br/artigost/artigoesp33.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica. Faculdade de Ciência e Tecnologia. Laboratórios de Tecnologias Ambientais, **Análises Físico-químicas, Cor, Turbidez, pH, Temperatura, Alcalinidade e Dureza**. MIEB 2007/08. [Documento adaptado das aulas de Elementos de Engenharia do Ambiente – João Peixoto]. Lisboa: [s.n.]. Disponível em: <<http://docsli de.com.br/documents/cor-turbidez-ph-t-alcalinidade-e-dureza.html>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima; KLEN, Márcia Regina Fagundes; VEIT, Márcia Teresinha, SILVA, Edson Antonio da; BARBIERO, Tatiany Aparecida; BERGAMASCO, Rosângela. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010. Home page. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eq/v35n4/06.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

VERMA, Akshaya Kumar; DASH, Rajesh Roshan; BHUNIA, Puspendu. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, India, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.

VIVE, Vitor Amigo; RIZK, Maria Cristina. Degradação da matéria orgânica da vinhaça utilizando o coagulante natural Tanino. **Colloquium Exactarum**, São Paulo, v. 5, n. Especial, p. 193-198, 25 out. 2013. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). DOI: 10.5747/ce.2013.v05.nesp.000071. Disponível em: <<http://www.unoes te.br/site/enepe/2013/suplementos/area/Exactarum/Engenharia%20Ambiental/DEGRADA%C3%87%C3%83O%20DA%20MAT%C3%89RIA%20ORG%C3%82NICA%20DA%20VINHA%C3%87A%20UTILIZANDO%20O%20COAGULANTE%20NATURAL%20TANINO.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

YAMANAKA, Hélio Tadashi; BARBOSA, Fábio Saad; BETTIOL, Neliane L.S.; TAMDJIAN, Renata M. Mariano; FAZENDA, Jorge; BONFIM, Gisele; FURLANETI, Fernando; SILVA, Luis Eugênio P.; MARTINS, Jaime; SICOLIN, Airton; BEGER,

Ricardo. Secretaria de Meio Ambiente (Org.). **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes**. – Série P+L. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (Brasil), 2006. 70 p. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2015.

ZOLETT, Elis Regina; JABUR, Andrea Sartori. Uso de polímero natural a base de tanino (Tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Paraná: ABRH: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. p. 1-8. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/f3e044f81c8cf1a6bc3bde55ce83efc0_a228bfaef3c220a95cd7de6689ba084e.pdf>. Acesso em: 30 set. 2015.

APÊNDICE A – Procedimento do tratamento do efluente de serigrafia na ETE de NSR/RS

PROCEDIMENTO:

1ª etapa: Transferir o efluente do TQ01 (lavagem) para o TQ02 (decantação) pela B01 (bomba 01).

Obs₁.: A transferência leva em média 16 minutos.

Obs₂.: Não esquecer de desligar a bomba após a transferência do efluente.

2ª etapa: Preparar a solução:

- a. **Teste de bancada:** pesar 0,25 g do reagente em 500 mL de água.

3ª etapa: Acionar a agitação do efluente no TQ02 (decantação) por 30 minutos (mistura).

Obs₃.: O TQ02 precisa estar cheio (1450L) para ser realizado o tratamento do efluente.

4ª etapa: Coletar o efluente bruto da 1ª torneira (de cima para baixo) do TQ02 para os béqueres de 250 mL cada, para o teste de bancada.

5ª etapa: Teste de bancada:

Verificação da melhor concentração do reagente para o tratamento do efluente no tanque de decantação (TQ02).

Condições experimentais:

Volume dos béqueres = 250 mL

[solução mãe, reagente] = 500 ppm (500 mg/L)

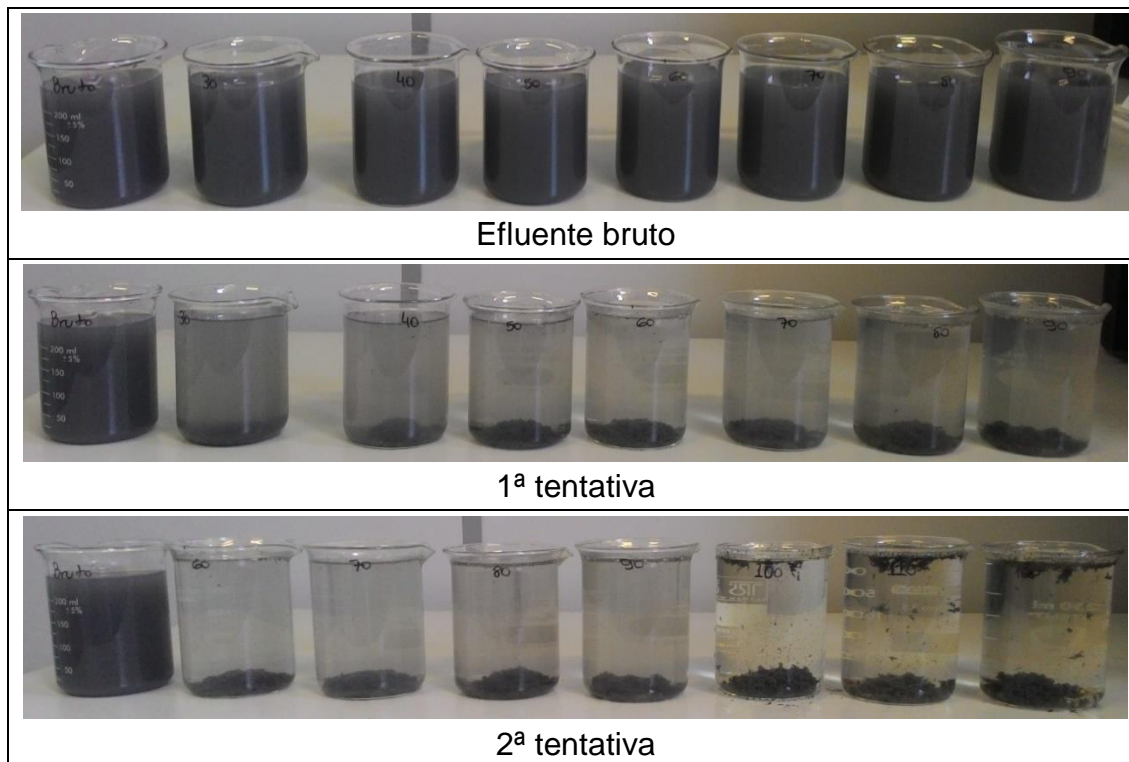
Realizar o teste de bancada com diferentes concentrações.

Vide exemplo abaixo:

Foram necessárias duas tentativas com diferentes concentrações para a clarificação do efluente. Segue abaixo o quadro com a relação das tentativas e suas respectivas concentrações.

1ª tentativa	bruto	30 ppm (15 mL)	40 ppm (20 mL)	50 ppm (25 mL)	60 ppm (30 mL)	70 ppm (35 mL)	80 ppm (40 mL)	90 ppm (45 mL)
2ª tentativa	bruto	60 ppm (30 mL)	70 ppm (35 mL)	80 ppm (40 mL)	90 ppm (45 mL)	100 ppm (50 mL)	110 ppm (55 mL)	120 ppm (60 mL)

Conforme registro fotográfico (vide fotos), o efluente estava escuro antes do tratamento.



Após as duas tentativas de clarificação do efluente, aparentemente o béquer contendo a solução de 100 ppm foi o que obteve melhor clareamento em comparação com o béquer de 90 ppm. Porém, o béquer de 100 ppm apresentou sólidos em suspensão. Portanto, foram realizadas as análises físicas (cor e turbidez), sem a diluição dos efluentes tratados, para as concentrações de 90 ppm, 100 ppm, 110 ppm e de 120 ppm.

	90 ppm	100 ppm	110 ppm	120 ppm
Cor (mg/L)	400,80	108,41	167,13	179,31
	389,02	105,26	177,17	180,84
Turbidez (NTU)	74,40	12,40	16,60	15,00
	73,60	12,70	16,00	14,30

Percebe-se, ao final dos testes de bancada e das análises físicas, que o melhor béquer foi da concentração de 100 ppm.

6ª etapa: Tratamento do efluente no tanque de decantação:

Como os testes de bancada deram uma concentração de 100 ppm. Será necessário preparar uma solução mãe com concentração de 120.000 ppm, para o tratamento do efluente no tanque.

Obs.4: A cada 45g de reagente equivale a 30.000 ppm de concentração.

Obs.5: A cada 1 ppm equivale a 1 mg/L, logo:

[sol. Mãe] = 30.000mg ____ 1L 1g ____ 1000mg X ____ 30.000mg X = 30g TSH	Para 1 ____ 30g 1,5L ____ X X = 45g
[sol. Mãe] = 120.000mg ____ 1L 1g ____ 1000mg X ____ 120.000mg X = 120g TSH	Para 1,0L ____ 120g 1,5L ____ X X = 180g

Então, será necessário pesar 180g de reagente em 1,5L de água para a preparação da solução mãe (reagente) para o tratamento do efluente no tanque de decantação (TQ02).

Condições experimentais para o cálculo do volume do reagente para colocar no TQ02:

Volume do TQ02 \approx 1450 L

[solução Mãe] = 120.000 ppm (120.000 mg/L)

(sol. Mãe) (TQ02)

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$120.000 \text{ ppm} \cdot V1 = 100 \text{ ppm} \cdot 1450 \text{ L}$$

$$V1 = \frac{145.000 \text{ ppm} \cdot \text{L}}{120.000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = \frac{145.000 \text{ ppm} \cdot \text{L}}{120.000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 1,208 \text{ L} \approx 1,2 \text{ L (volume de reagente no TQ02 com a concentração de 100 ppm)}$$

7ª etapa: Acionar nova agitação do efluente no TQ02 por 30 minutos após a adição do reagente no tanque.

8ª etapa: Anotar a hora do fim da agitação.

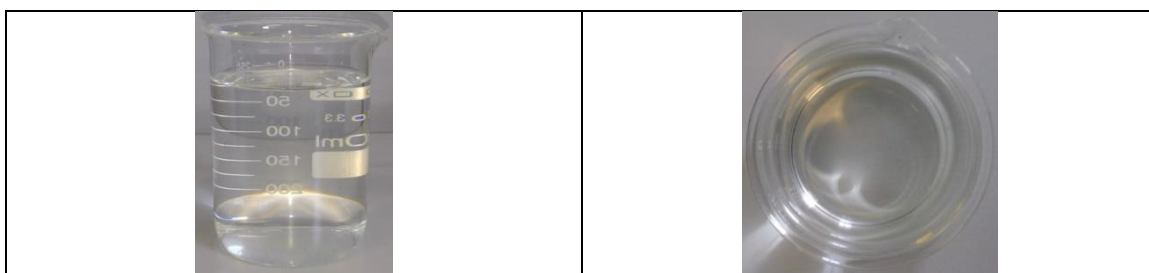
Após 24h do tratamento:

1ª etapa: Realizar a coleta do efluente tratado em 24h após a finalização da última agitação:

Antes de realizar a coleta do efluente tratado para a verificação da clarificação do mesmo, deve-se abrir a **1ª torneira** (de cima para baixo) do TQ02 e retirar um pouco do efluente que está parado na torneira. Após isto, descartar este efluente e com outro béquer limpo realizar a coleta do efluente tratado da **1ª torneira** (de cima para baixo) do TQ02 para a verificação do efluente tratado.

Vide exemplo abaixo:

No tratamento usado como exemplo neste procedimento foi verificado na coleta do efluente tratado após 24h que o efluente havia clarificado muito melhor do que o teste de bancada (registrado em foto).



Em seguida, foi verificado o pH, a cor e a turbidez desta amostra, sem a diluição da mesma.

	pH	Cor	Turbidez
Estudo 1	7,81	70,22	3,21
Duplicata	7,89	69,87	2,20
Triplicata	-	-	2,52

Os valores ficaram tão bons quanto no teste de bancada realizado antes do tratamento. Apresentando remoções acima de 99% tanto para cor, quanto para a turbidez. Logo, esse tratamento foi o que apresentou os melhores resultados, comprovando a reprodutibilidade dos testes de bancada realizados em laboratório.

2ª etapa: Descartar o efluente tratado das torneiras clarificadas para o esgoto, por meio da torneira de descarte.

Obs₆.: As torneiras que NÃO apresentarem clarificação em seu efluente tratado não são descartadas. Deixar este efluente no TQ02 para um novo tratamento.