



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA



Minimização da Geração de Efluentes de uma Indústria Têxtil do RS

Autor: Henrique Augusto Milagre Neto

Orientador: Lílana Amaral Féris

Porto Alegre, julho de 16

Sumário

Sumário	ii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	2
2.1 Fibras de Tecido	2
a) Algodão	2
b) Poliéster	2
c) Poliamida	3
2.2 Processo de Fiação	3
2.3 Processo de Tecelagem	5
2.3.1 Tecelagem de Tecido Plano	5
2.3.2 Tecelagem de Malha	5
2.4 Processo de Tingimento	6
2.4.1 Corantes Têxteis	6
2.4.1.1 Corantes Ácidos	6
2.4.1.2 Corantes Dispersos	7
2.4.1.3 Corantes Reativos	8
2.4.2 Tingimento por Esgotamento	8
2.5 Consumo de água no processo têxtil	11
2.6 Efluentes Têxteis	12
2.7 Tratamento de Efluentes Têxteis	13
2.7.1 Coagulação e Floculação	13
2.7.2 Lodo Ativado	14
2.8 Legislação	15
3 Estudo de Caso	16
3.1 A empresa do Estudo	16
3.2 Obtenção de Dados	18
4 Resultados	19
4.1 Processo da Empresa	19
4.2 Geração de Efluentes	20
4.3 Tratamento de Efluentes	21
4.3.1 Estação de Tratamento de Efluentes e técnicas aplicadas	21
4.3.2 Parâmetros Analisados	23
4.3.2.1 Avaliação dos dados de pH	24
4.3.2.2 Avaliação dos dados de DQO	25
4.3.2.3 Análise dos dados de DBO ₅	25
4.3.2.4 Avaliação dos dados de Alumínio	26
4.4 Estudos de Melhoria do Processo	27
4.4.1 Estudos de Remoção de Corantes Reativos	27

4.4.2	Estudos de Remoção de Corantes Dispersos	28
4.4.3	Estudo de Remoção de Corantes Ácidos	28
4.5	Propostas de Melhoria	29
4.5.1	Proposta da adição de um sistema de membranas com Nanofiltração e Osmose Reversa	29
4.5.2	Implementação de um sistema de reutilização do efluente com membrana e eletro-oxidação	30
4.5.3	Implementação de um sistema com membrana, eletro-oxidação e trocador iônico	31
4.5.4	Reutilização de água de banho	32
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	33
6	Referências	34

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais pelo apoio em todos os momentos de dificuldades. Sem eles, as minhas conquistas não seriam possíveis. A sua orientação foi fundamental, para que eu esteja neste momento da minha vida.

À minha orientadora Liliana, por todo o auxílio e apoio ao trabalho. Além de ter contribuído com o seu conhecimento e disponibilizado seu tempo, para me auxiliar na realização do trabalho.

A toda a minha família, avós, tios, tias que sempre apoiaram as minhas decisões e sempre acreditaram na minha capacidade de transpor barreiras.

Ao meu tio, Rogério, por conceder acesso à Empresa, sem a qual este trabalho não poderia ser realizado. Um sincero agradecimento aos funcionários da empresa, pois auxiliaram com muita disposição durante a minha visitação, sempre com vontade de ajudar e contribuir para este trabalho.

Aos demais amigos e familiares.

Resumo

A água é um bem essencial, para a manutenção da vida. Entretanto a sua qualidade é afetada à medida que o desenvolvimento industrial acontece, além de que parte sua é utilizada, para geração de energia e irrigação na agricultura. Um grande contribuinte, para a poluição dos corpos hídricos, é a indústria têxtil. A indústria têxtil necessita de grandes quantidades de água, visto que a água atua tanto como solvente de substâncias químicas, quanto um médio de enxágue e lavagem. Os corantes são utilizados em indústrias de diversos setores, mas possuem um grande destaque nos produtos têxteis. Nos processos têxteis grande parte do corante não se fixa ao tecido e é lançado aos corpos hídricos como efluente líquido da empresa. Com a necessidade de gradualmente reduzir a quantidade de água no processo têxtil, é necessário o aprimoramento das técnicas empregadas para tratar os efluentes líquidos. Os efluentes, ao diminuir a quantidade de água utilizada no processo, tendem a concentrar-se. Neste contexto, o presente estudo consistiu em um estudo de caso do processo produtivo de uma empresa têxtil do Rio Grande do Sul, visando à minimização da produção de efluentes e elaboração de melhorias pontuais ao processo. Com base nos dados de substâncias químicas, e da composição dos tecidos utilizados na empresa, foi possível efetivamente propor medidas de minimização da quantidade de água utilizada. Estas propostas foram baseadas em uma análise dos novos estudos sobre tratamentos de indústrias têxteis, comparando com os dados obtidos da empresa. As propostas abordaram dois aspectos: dentro do próprio processo da empresa, realizando uma reutilização da água de banho do processo de tingimento; e no tratamento de efluentes, propondo uma modernização da ETE, para que se possa reutilizar a água do efluente no próprio processo produtivo.

Palavras-chave: Membranas, Eletro-oxidação, Reutilização de água, Efluentes Têxteis

Lista de Figuras

Figura 2-1: Fluxograma de produção de uma fibra de algodão.....	3
Figura 2-2: Fluxograma de produção de poliéster.....	4
Figura 2-3: Produção de uma fibra de nylon.....	4
Figura 2-4: Estrutura molecular do corante ácido Violeta.....	7
Figura 2-5: Da esquerda para a direita e de cima para baixo estão representados os corantes dispersos Amarelo 3, Vermelho 7, Azul 7 e Azul 165.....	8
Figura 2-6: Reação de tingimento de algodão com corante que possui grupo sulfatoetilsulfona como grupo reativo.....	8
Figura 2-7: Máquina <i>Jigger</i> , em que apenas o tecido possui um movimento mecânico e o banho permanece estático. Fonte: (L. VIGO, 1994).....	10
Figura 2-8: Representação esquemática de um tingimento de uma máquina <i>jet</i> . Fonte: (JADHAV <i>et al.</i> , 2013).....	10
Figura 2-9: Modelo de coagulação e floculação.....	13
Figura 2-10: Processo de floculação usando polieletrólitos.....	14
Figura 2-11: Esquema simplificado de um sistema de tratamento de efluentes por Lodo Ativado.....	14
Figura 4-1: Fluxograma simplificado do processo da empresa.....	20
Figura 4-2 Fluxograma do processo da estação de tratamento de efluentes.....	21
Figura 4-3: Carta de controle dos valores coletados diariamente de pH no período de 1 ano.....	24
Figura 4-4 Carta de controle dos valores coletados semanalmente de DQO no período de 1 ano.....	25
Figura 4-5 Carta de Controle dos valores coletados mensalmente de DBO5 no período de 1 ano.....	26
Figura 4-6 Carta de Controle dos valores coletados mensalmente de Al no período de 1 ano.....	27
Figura 4-7: Implementação de sistema de membranas (nanofiltração e osmose reversa) no processo. Adaptado de: (RANGANATHAN; KARUNAGARAN; SHARMA, 2007).....	30
Figura 4-8: Implementação de um sistema de membrana (nanofiltração) e eletro-oxidação.....	31
Figura 4-9: Implementação de um sistema com membrana, eletro-oxidação e um trocador iônico.....	32

Lista de Tabelas

Tabela 2-1: Gasto de água por etapa do processo para produzir têxtil de algodão. Fonte: (SHAIKH, 2009).....	11
Tabela 2-2: Gasto de água por etapa do processo para produzir têxtil sintético. Fonte: (SHAIKH, 2009).....	11
Tabela 3-1: Inventário das máquinas de tingimento a jato de água.....	17
Tabela 3-2: Inventário das máquinas de tingimento de banho estático.....	17
Tabela 3-3 Parâmetros exigidos na licença operacional pela legislação para o descarte de efluente em corpos hídricos por uma empresa têxtil.....	18

Lista de Abreviaturas e Siglas

CO – Algodão

PES – Poliéster

PA – Poliamida (nylon)

Al – Alumínio

Cu - Cobre

ETE – estação de tratamento de efluentes

ETA – estação de tratamento de água

LCS – limite de controle superior

LCI – limite de controle inferior

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

OR – Osmose reversa

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

SISAUTO – Sistema de Automonitoramento de Atividades Poluidoras

1 Introdução

A água doce é um bem de suma importância para a manutenção da vida no planeta. Evitar sua escassez é um grande desafio para a população mundial. No Brasil, a qualidade da água é provavelmente o problema ambiental mais importante. O aumento do consumo de água concomitantemente com o seu redirecionamento para irrigação e geração de energia aumentou o impacto dos efluentes industriais na qualidade de água brasileira (MARGULIS *et al.*, 2002).

A indústria têxtil consome uma quantidade substancial de água no seu processo de fabricação, visto que a água consiste em matéria-prima essencial para as operações de tingimento. O efluente líquido resultante desta importante atividade é classificado como o mais poluente de todos os setores industriais, considerando o volume e a composição do efluente (LÓPEZ *et al.*, 2006; ŞEN; DEMIRER, 2003). A demanda por produtos têxteis, o aumento proporcional da sua produção, além do uso de corantes sintéticos contribuíram conjuntamente, para tornar o efluente têxtil, um dos mais severos problemas de poluição a ser tratado (OGUGBUE; SAWIDIS, 2011; SANTOS, DOS; CERVANTES; LIER, VAN, 2007).

Na indústria têxtil, tornam-se anualmente 200.000 toneladas de corante em efluentes através das operações de tingimento e acabamento, devido à ineficiência do processo de tingimento (OGUGBUE; SAWIDIS, 2011). É estimado que, durante o processo de tingimento, as perdas de corante ao meio ambiente possam atingir de 10-50% da quantidade utilizada (FORGACS; CSERHÁTI; OROS, 2004). A presença de corantes em corpos hídricos é muito prejudicial, visto que são de difícil degradação e aumentam a turbidez da água, o que impede a penetração dos raios solares. Outra problemática da presença de corantes no corpos de água é a interferência na solubilidade de gases, principalmente o oxigênio, para a respiração da vida aquática (RAJKUMAR; KIM, 2006).

Assim, o objetivo geral do presente trabalho é analisar o processo produtivo de uma empresa têxtil do Rio Grande do Sul. Ainda, como propósito de propor melhorias no processo, para que haja uma mudança no sentido de aplicar técnicas mais modernas e eficientes de tratamento de efluentes.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo aborda as etapas de produção do processamento da fibra têxtil até a etapa final de obtenção do tecido pronto para comercializar. São descritas as etapas produtivas de uma indústria têxtil, desde o instante em que a fibra é adquirida pela indústria, sua transformação em um tecido cru, até o seu tingimento e conseqüentemente acabamento para um tecido pronto para comércio. Também são descritos os corantes utilizados na indústria e qual tipo de corante que cada tecido necessita. São apresentados os métodos convencionais de tratamento de efluentes e a problemática da grande quantidade de água utilizada na produção de um tecido na indústria.

2.1 Fibras de Tecido

As fibras têxteis podem ser criadas de diversas fontes naturais (pelo de animal, bicho da seda), tanto quanto métodos semi-sintéticos que utilizem polímeros naturais, além de métodos sintéticos que usam materiais a base de polímero. As fibras são a base de todos os tecidos e suas propriedades conferem resistência e durabilidade aos tecidos. Portanto, deve-se conhecer suas características, para a produção de um tecido de qualidade superior.

a) Algodão

O algodão é constituído basicamente de celulose, ceras naturais e proteínas. O grande número de hidroxilas da celulose permite uma grande capacidade de absorver água (cerca de 50% de seu peso) (Alcântara e Daltin, 1996).

b) Poliéster

O poliéster é obtido através da reação do ácido tereftálico com etileno glicol na presença de catalisadores. A policondensação exige um período de 5 a 8 horas sob pressão reduzida em temperatura próxima a 300°C para que o polímero fique suficientemente fluido. Em seguida, o polímero é solidificado por jatos de água fria e cortado em forma de grãos regulares. O polímero é novamente fundido, fiado e solidificado por correntes de ar frio (Alcântara e Daltin, 1996).

c) Poliamida

A poliamida é fabricada a partir da reação de ácido adípico e hexametilenodiamina. Estes compostos são dissolvidos em metanol e aquecidos, dando origem ao chamado “sal nylon”, que tem sua policondensação terminada a 280°C. Essa massa fundida é fiada e solidifica-se ao ar frio. Submete-se essa massa a um processo de estiramento para paralelizar as moléculas do polímero, e conseqüentemente aumentar a resistência da fibra (Alcântara e Daltin, 1996).

2.2 Processo de Fiação

Nesse processo, a fibra de algodão é aberta e passa por um batedor onde ocorre a limpeza e desagregação das fibras. Neste batedor pode haver mistura entre as diferentes fibras do algodão. A figura 2-1 mostra o processo composto basicamente por etapas físicas, para a produção de um fio de algodão. A fibra de algodão é produzida a partir de grandes fardos de algodão que, após sua limpeza, são penteados, desenredados, trançados e fiados.

As fibras sintéticas como o poliéster e a poliamida, que são produzidas em forma de filamentos, não necessitariam passar pelo processo de fiação, entretanto, para melhorar seu aspecto final e torná-las semelhantes às fibras naturais, são cortadas na saída da extrusora e fiadas normalmente como pode-se verificar através da figura 2-2 e 2-3 que mostram desde a produção dos polímeros até a sua fiação. Para evitar com que as fibras atritem e gerem cargas elétricas danosas para a manutenção das fibras, coloca-se sobre as fibras óleos lubrificantes, que futuramente na etapa de purga serão agregados aos efluentes líquidos (Alcântara e Daltin, 1996).

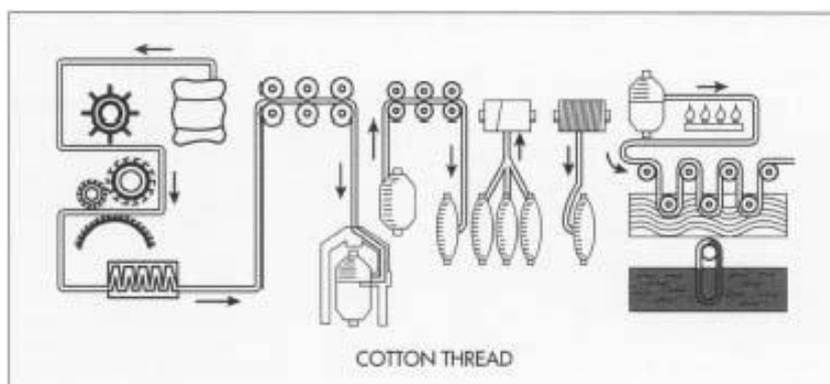


Figura 2-1: Fluxograma de produção de uma fibra de algodão. Fonte: (“How Products are Made”, 2016).

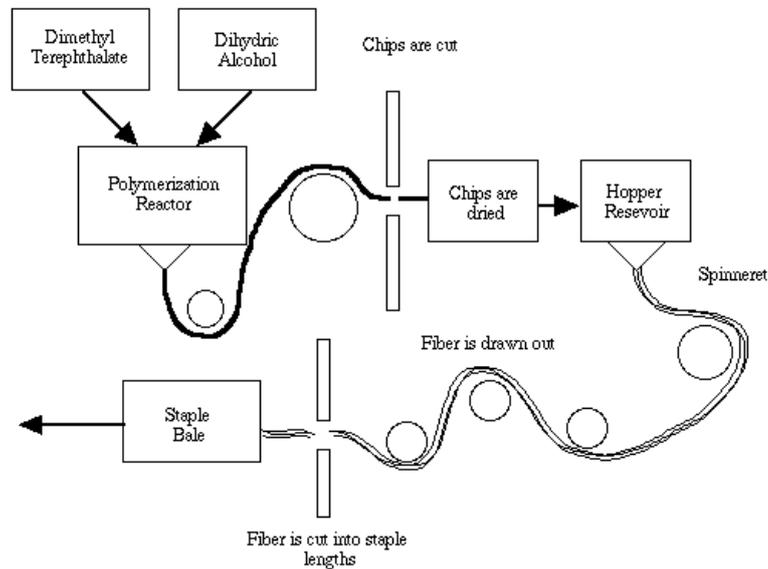


Figura 2-2: Fluxograma de produção de poliéster. Fonte: (“Textile Learner”, 2016).

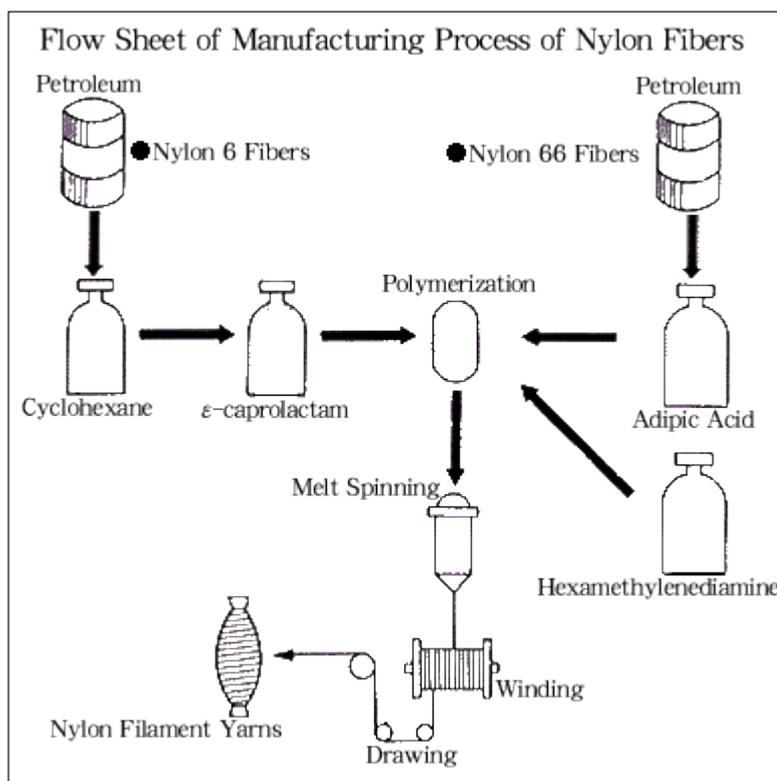


Figura 2-3: Produção de uma fibra de nylon. Fonte: (“Japan Chemical Fibers Association”, 2016).

2.3 Processo de Tecelagem

Há três tipos de tecelagem na indústria têxtil: tecelagem de tecido plano, tecelagem de tecido de malha e de tecidos não tecidos. O foco será na tecelagem de tecido plano e de tecido de malha, visto que são os processos utilizados na indústria do presente estudo. Os efluentes provenientes da tecelagem são basicamente sólidos, visto que o processo de tecelagem envolve apenas operações físicas com as fibras provenientes da fiação.

2.3.1 Tecelagem de Tecido Plano

Esta tecelagem caracteriza-se pelo entrelaçamento de sistemas de fios paralelos que formam através de ligamentos um ângulo de 90°. O primeiro sistema, chamado de urdume, é composto por fios que entram no tear no sentido do comprimento do tecido. O segundo sistema, denominado trama, é composto por fios que cruzam alternadamente os fios de urdume, na largura do tecido.

Os fios sofrem atrito e tensão durante o processo, e causam rompimentos e conseqüentemente perda de tempo para que haja a correção e conseqüentemente a reativação do tear. Os fios normalmente são reforçados antes deste processo, por substâncias químicas, como gomas e lubrificantes.

2.3.2 Tecelagem de Malha

A tecelagem de malha ocorre principalmente através de duas metodologias, do tecimento de malha circular. Basicamente a tecelagem de tecido de malha consiste no entrelaçamento de fios em forma de laçadas, que são feitas por um conjunto de agulhas com apenas um fio que corre em forma espiral, ou circular.

A tecelagem de urdume consiste num tricotamento dos fios no sentido do urdume, que é o sentido do comprimento do tecido. Cada agulho do equipamento é alimentada por um ou mais fios, e as malhas são formadas simultaneamente, resultando em tecidos indesmalháveis, que não podem mais ser destricotados.

Para facilitar a tricotagem, frequentemente procede-se com a lubrificação ou parafinação dos fios, para reduzir o coeficiente de atrito, o que reduz as tensões e

quebras nos fios. A parafinagem é utilizada em fios de algodão que não receberam a ensimagem, que é o processo de adição de um composto de proteção à fibra, enquanto os fios sintéticos recebem óleos de ensimagem ou lubrificantes (Araújo e Castro, 1987).

2.4 Processo de Tingimento

A tintura de tecidos é uma arte que começou há milhares de anos, e a sua disponibilidade comercial é grande. As técnicas modernas de tingimento são compostas por etapas, de acordo com a natureza da fibra a ser tingida, e que características ela possui.

O processo de tingimento normalmente possui três etapas: a montagem, a fixação e o tratamento final. Para se levar a escolher um corante adequado à fibra, deve-se levar em conta as seguintes características (BELTRAME, 2000):

- afinidade – o corante deve ser uma parte integrante da fibra;
- igualização – a cor obtida deve ser uniforme em todo o tecido;
- solidez – o corante aderido deve ser resistente aos desencadeadores de desbotamento;
- economia – não deve-se ultrapassar a quantidade estritamente necessária de compostos a adicionar aos tecidos;

2.4.1 Corantes Têxteis

Os corantes consistem em pequenas moléculas compostas por dois componentes principais: o cromóforo, que é responsável pela cor, e o grupo funcional da molécula, que é o responsável a ligar-se à fibra.

A fixação dos corantes existentes deve-se basicamente à 4 tipos de interações: ligações iônicas, pontes de hidrogênio, de Van der Waals e covalentes. Os corantes normalmente são classificados pela metodologia pela qual são fixados à fibra têxtil (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

2.4.1.1 Corantes Ácidos

Os corantes ácidos são pertencentes a um grupo de corantes aniônicos que portam de um a três grupo sulfônicos. A solubilidade em água deste tipo de corantes

é conferida através destes grupos SO_3^- . A aplicação deste tipo de corante ocorre em fibras proteicas, como lã e seda, ou em fibras de poliamida sintética. Esse tipo de corante deve ser neutralizado antes de reagir com a fibra (com cloretos, acetatos, entre outros) e fixa-se à fibra através de uma troca iônica entre os elétrons livres dos grupos da fibra. Na figura 2-4 encontra-se a fórmula molecular de um corante ácido da cor Violeta (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

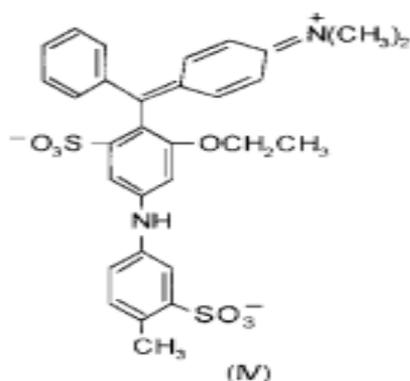


Figura 2-4: Estrutura molecular do corante ácido Violeta. Fonte: (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

2.4.1.2 Corantes Dispersos

Esta classe de corante é utilizada em todas as fibras hidrofóbicas, sendo basicamente o único tipo de corante a ser utilizado para o tingimento de poliéster. Durante o tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma inicialmente insolúvel é precipitada lentamente numa forma dispersa. O grau de solubilidade do corante deve ser baixo e de valor definido, o que influencia diretamente na qualidade da tintura. Com o auxílio de agentes dispersantes, permitem o tingimento por esgotamento nas fibras, já que estes agentes estabilizam a suspensão do corante, facilitando, pois, o contato entre corante e fibra. A figura 2-5 mostra um tipo de corante na sua forma solubilizada (BELTRAME, 2000; GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

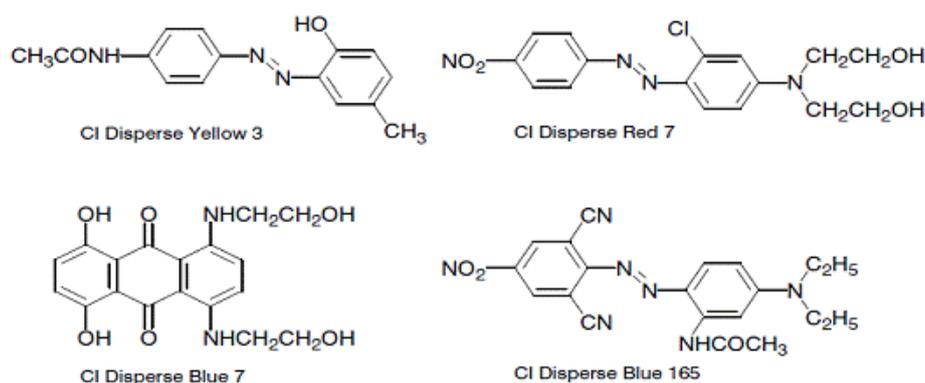


Figura 2-5: Da esquerda para a direita e de cima para baixo estão representados os corantes dispersos Amarelo 3, Vermelho 7, Azul 7 e Azul 165. Fonte: (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

2.4.1.3 Corantes Reativos

Os corantes reativos possuem um grupo eletrofílico, o qual recebe o nome de reativo, que é capaz de formar ligação covalente com os grupos hidroxila das fibras celulósicas, grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas. Normalmente esses corantes possuem função azo e antraquinona como grupos cromóforas, e como grupos reativos possuem clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila. Neste tipo de corante a reação ocorre diretamente da substituição do grupo nucleofílico com peça hidroxila presente na celulose. A figura 2-6 demonstra um exemplo do processo de tingimento do algodão e a reação que se sucede (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

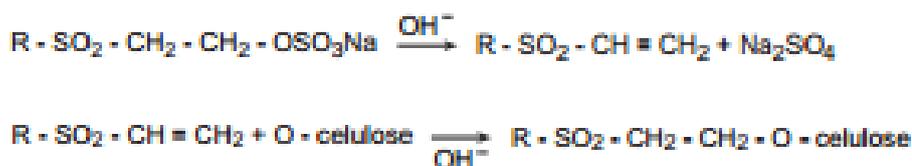


Figura 2-6: Reação de tingimento de algodão com corante que possui grupo sulfatoetilsulfona como grupo reativo. Fonte: (GUARATINI; ZANONI, V. B., 1999).

2.4.2 Tingimento por Esgotamento

Há três principais processos ou princípios mecânicos empregados no tingimento: o que o banho de tingimento se move e o tecido é estacionário. O que não ocorre nenhum movimento mecânico do banho de tingimento, e sim do tecido. E o caso em que ambos se movem mecanicamente (L. VIGO, 1994).

O processo de tingimento por esgotamento é um processo descontínuo. Onde o corante é deslocado do banho para a fibra, através de um contato frequente entre ambos mediante a movimentação do banho, ou da fibra. A adesão do corante ao tecido ocorre devido à substantividade, que é a propriedade do corante deslocar-se do banho de tingimento para uma fibra.

Durante o processo do tingimento ocorrem três etapas, as quais são consideradas de maior importância: a “montagem”, a fixação e o tratamento final. A fixação do corante é feita por reações químicas (corantes reativos, e ácidos), ou insolubilização do corante (corantes dispersos). O tingimento ocorre em diferentes etapas das fases de montagem e fixação. Como operação final de todo o processo de tingimento é necessária uma lavagem do tecido, para a retirada do excesso de corante no tecido, ou de corante hidrolisado que não se fixou à fibra (TWARDOKUS, 2004).

No processo de batelada usando a máquina *Jigger*, o banho de tingimento é estático, enquanto o têxtil se move. O tingimento pelo método *jig* é um processo antigo de batelada, em que grandes comprimentos de tecido são enrolados em um rolo, em um dos lados do *jig*, enquanto há um banho estático na parte inferior. Então, o rolo rota e faz com que o tecido passe pelo o banho. Uma grande desvantagem deste método é a não uniformidade da cor e sombras do tecido. Entretanto, este tipo de máquina fornece um tingimento de baixo custo. Na figura 2-7 está representada uma máquina *Jigger*, nela estão representados o banho estático e os rolos que fornecem o movimento mecânico do tecido, a proporção de banho neste equipamento é de 1:3, em que se utiliza 3 litros de água para cada quilograma de tecido (JADHAV *et al.*, 2013; L. VIGO, 1994).

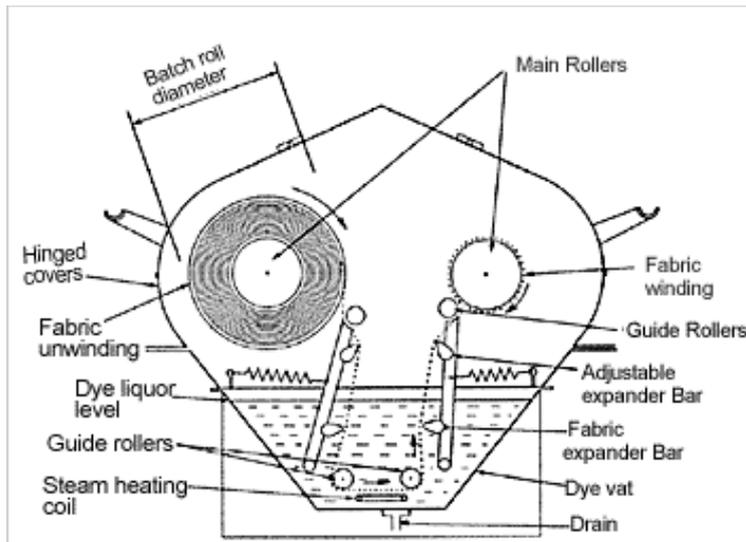


Figura 2-7: Máquina *Jigger*, em que apenas o tecido possui um movimento mecânico e o banho permanece estático. Fonte: (L. VIGO, 1994).

Outro processo que utiliza tingimento por esgotamento é o *Jet*. Da própria palavra em inglês *jet*, que significa jato, caracteriza este processo. A máquina *Jet*, diferentemente do *Jigger*, promove o movimento tanto da água para tingimento, quanto do tecido. A máquina possui um banho de tingimento que é bombeado e transformado em jato para tingir o tecido. O tecido por sua vez recebe o jato e ainda se movimenta pelo banho. Esta máquina possui um tingimento mais homogêneo, além de ter uma baixa relação de banho de 1:5. Na figura 2-8 está esquematizado o processo de tingimento em um equipamento *jet* (JADHAV *et al.*, 2013; L. VIGO, 1994)

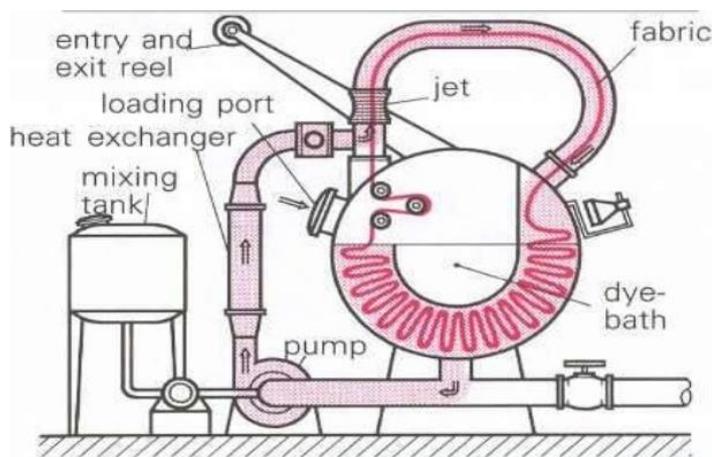


Figura 2-8: Representação esquemática de um tingimento de uma máquina *jet*. Fonte: (JADHAV *et al.*, 2013).

2.5 Consumo de água no processo têxtil

A água é utilizada para duas aplicações fundamentais ao processo têxtil: ela atua como solvente dos produtos químicos e é o meio, através do qual o tecido é enxaguado e lavado. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, uma indústria que produz 9 toneladas de tecido por dia consome aproximadamente 36m³ de água. A quantidade de água utilizada depende da tecnologia empregada no processo, além da composição do tecido. A tabela 2-1 mostra a quantidade de água necessária por etapa do processo de manufatura de um tecido de algodão em Litro/1000kg de produto. A tabela 2-2 aponta o gasto de água dos diversos tecidos sintéticos existentes em Litro/1000kg de produto (SHAIKH, 2009).

Tabela 2-1: Gasto de água por etapa do processo para produzir têxtil de algodão. Fonte: (SHAIKH, 2009).

Processo	Requerimento em litros/1000kg de produto
Dimensionamento	500 - 8200
Redução do Tamanho	2500 - 21000
Expurgo	20000 - 45000
Branqueamento	2500 - 25000
Mercerização	17000 - 32000
Tingimento	10000 - 300000
Estampagem	8000 - 16000

Tabela 2-2: Gasto de água por etapa do processo para produzir têxtil sintético. Fonte: (SHAIKH, 2009).

Processo	Requerimento em litros/1000kg de produto				
	Rayon	Acetato	Nylon	Acrílico / Modacrílico	Poliéster
Expurgo	17000 - 34000	25000 - 84000	50000 - 67000	50000 - 67000	25000 - 42000
Banho de sais	4000 - 12000	--	--	--	--
Branqueamento	--	33000 - 50000	--	--	--
Tingimento	17000 - 34000	34000 - 50000	17000 - 34000	17000 - 34000	17000 - 34000
Acabamento Especial	4000 - 12000	24000 - 40000	32000 - 48000	40000 - 56000	8000 - 12000

Através das tabelas do estudo de SHAIKH (2009) conclui-se que o consumo de água nas etapas de beneficiamento têxtil possui uma ampla faixa de variação. Esta variação está atrelada à tecnologia empregada nos processos, além de diferenças entre os passos utilizados pelo maquinário. Nos tecidos de algodão, a maioria do consumo de água está na etapa de tingimento, enquanto, em tecidos sintéticos, o consumo de água é semelhante em todas as etapas do beneficiamento têxtil.

2.6 Efluentes Têxteis

Segundo MARTINS (1997), a caracterização dos despejos têxteis é um fator de difícil descrição, uma vez que a grande característica deste tipo de efluente é sua descontinuidade e diversidade, visto que são diversas tonalidades de corantes, e diversos tipos de fibras a serem tingidas. O processo de beneficiamento é periódico, mas descontínuo, em termos de vazão. O processo produtivo é cíclico na totalidade de suas operações, já que os processos de tingimento são efetuados em bateladas.

A diversidade extrema de matérias-primas e esquemas de produção empregados pela indústria têxtil atribuem problemas característicos ao efluente e subsequentemente indicam quais devem ser as tecnologias de controle de poluição (CORREIA; STEPHENSON; JUDD, 1994).

O processo de beneficiamento têxtil gera emissões de poluentes sólidos, gasosos e líquidos. Entretanto são as emissões de poluentes líquidos que causam a maior contaminação e modificação do ambiente. Os efluentes líquidos da indústria têxtil são tóxicos e geralmente não biodegradáveis e resistentes à destruição por métodos de tratamento físico-químico. A não biodegradabilidade dos efluentes têxteis se deve ao alto conteúdo de corantes, surfactantes e aditivos que geralmente são compostos orgânicos de estruturas complexas (LEDAKOWICZ; GONERA, 1999)

Os consumos de água por unidade de massa do material e as características dos efluentes produzidos por uma planta de acabamento dependerão do tipo de fibras processadas e dos produtos químicos empregados. Outros fatores que determinam a quantidade e a qualidade do efluente são as operações realizadas e a tecnologia aplicada em sua execução (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; SANIN, 1997).

2.7 Tratamento de Efluentes Têxteis

Os processos empregados para tratamento de efluentes líquidos podem ser classificados genericamente como primários ou mecânicos, secundários ou biológicos e terciários ou físico-químicos e que geralmente são aqueles empregados nas indústrias têxteis. Os processos empregados mais usuais, para o tratamento de efluentes líquidos têxteis são: coagulação e floculação, que é um processo primário, e o processo secundário de lodo ativado.

2.7.1 Coagulação e Floculação

LAGUNAS e LIS (1998), definem a coagulação como sendo a desestabilização da micela iônica por neutralização de cargas e floculação como a desestabilização por adsorção ou aglomeração destes coloides que foram previamente descarregados. A matéria coloidal possui carga negativa e por isso é chamado de micela iônica. Essa propriedade que é resultante da solvatação provoca uma ionização parcial na superfície pela adsorção dos íons de água. A igualdade entre essas cargas elétricas promove a repulsão das partículas e as mantém indefinidamente em suspensão (LAGUNAS; LIS, 1998). A figura 2-9 representa o modelo deste processo, enquanto a figura 2-10 revela o mesmo processo, entretanto com a ação do polieletrólito.

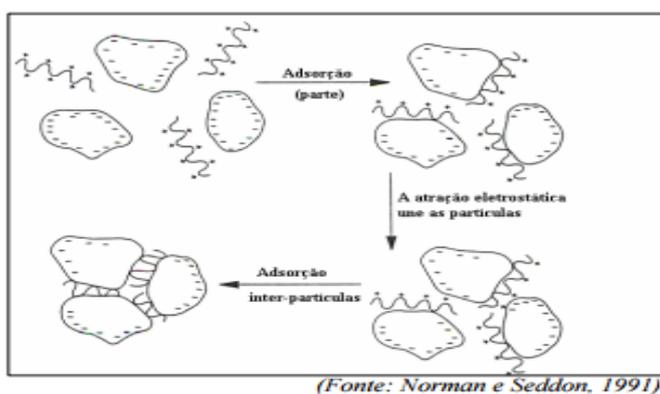
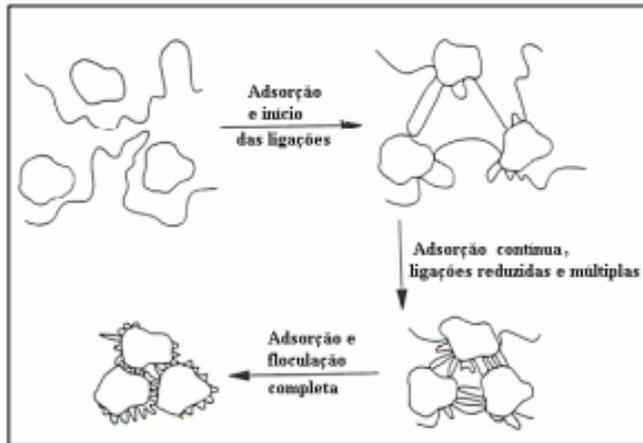


Figura 2-9: Modelo de coagulação e floculação.



(Fonte: Norman e Seddon, 1991)

Figura 2-10: Processo de floculação usando polieletrólitos.

2.7.2 Lodo Ativado

Lodo ativado são massas ativas de microrganismos (sólidos sedimentáveis) formados pela aeração das águas residuárias.

Neste processo de tratamento o lodo ativado é colocado em contato com a matéria orgânica proveniente do efluente, em um tanque com fornecimento controlado de oxigênio, através de uma aeração mecanizada, ou de ar difuso. Os microrganismos estabilizam-se aerobicamente à matéria orgânica e crescem. Após o tanque de aeração possui um decantador para que ocorra a separação sólido/líquido (BELTRAME, 2000).

Os microrganismos presentes no tanque de lodo ativado atuam na decomposição da matéria orgânica. As bactérias são responsáveis por oxidar as complexas moléculas orgânicas dos corantes em compostos de baixo conteúdo energético, como nitratos, sulfatos e gás carbônico (SILVA, 1995).

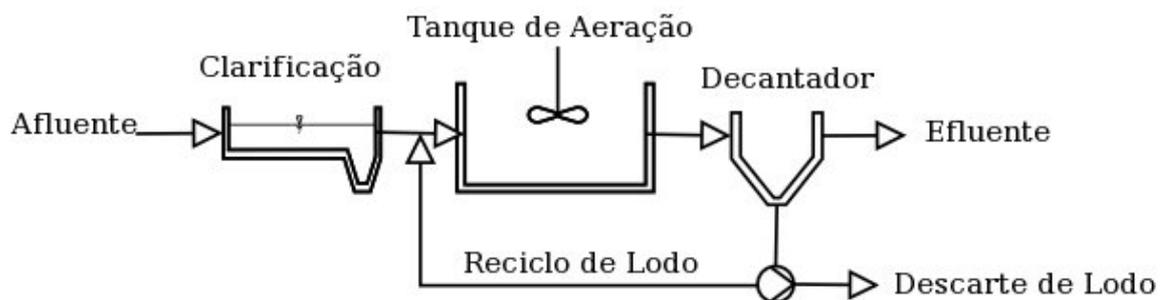


Figura 2-11: Esquema simplificado de um sistema de tratamento de efluentes por Lodo Ativado.

2.8 Legislação

A legislação vigente e todos os parâmetros que devem ser analisados constam na licença de operação da empresa, e a fiscalização é realizada pela FEPAM. Os padrões de efluentes são fixados por resoluções do CONSEMA. A resolução do CONSEMA que rege a emissão de efluentes de indústrias têxteis são: CONSEMA Nº 128/2006. A resolução CONSEMA Nº128/2006 dispõe da fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem os efluentes em águas superficiais do Rio Grande do Sul. Uma empresa pode ser incluída também no programa de automonitoramento, o SISAUTO, em que a FEPAM permite ao empreendimento realizar a própria análise do seu efluente e a empresa deve enviar frequentemente os dados à FEPAM. A resolução CONSEMA Nº01/1998 especifica as condições e exigências, para que uma empresa possa estar no SISAUTO.

Além das resoluções estaduais de meio ambiente, que regem as emissões de efluentes das indústrias têxteis, há as resoluções da CONAMA. Destacam-se as resoluções números 357 e 430 da CONAMA. A resolução Nº357 de 2005 da CONAMA dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Além de estabelecer as condições e padrões de emissão de lançamento de efluentes no âmbito nacional. A resolução Nº430 de 2011 complementa e altera a resolução Nº357 de 2005, atualizando as condições e os padrões de emissão de efluentes.

3 Estudo de Caso

O estudo realizado é de minimização da geração de efluentes de uma indústria do ramo têxtil. Foi analisado o processo produtivo da empresa, e os pontos de maior geração dos efluentes líquidos, os quais causam maior impacto para os corpos hídricos. Posteriormente foram analisados os dados provenientes da estação de tratamento de efluentes da própria empresa, quanto aos seus parâmetros coletados, os quais são monitorados e enviados à FEPAM. O efluente gerado na empresa é descartado no Arroio Alencastro, localizado no município de Farroupilha.

Após a análise de toda a parte do processo da empresa, e do tratamento do efluente gerado por ela foram propostas melhorias no processo de geração de efluentes. As propostas foram baseadas na literatura que utiliza técnicas modernas de redução de efluentes têxteis. Para correlacionar as possibilidades da literatura com o processo da empresa, foram analisados estatisticamente os parâmetros de emissão da empresa. A partir dessa análise, pôde-se analisar a possibilidade de reutilização da água de banho no próprio processo de tingimento. A reutilização de água de banho concomitantemente com técnicas modernas reduziria em grande quantidade a geração do efluente da empresa.

3.1 A empresa do Estudo

A presente empresa localiza-se no estado do Rio Grande do Sul, e situa-se na cidade de Farroupilha. A licença operacional da empresa número 4353/2011-DL, registra o empreendimento na atividade de tecelagem com tingimento, com uma área útil total de 20000m² e um total de 140 empregados. A capacidade produtiva máxima mensal da empresa é de 158.400m de tecido de algodão 100%, 67.200m de tecido de nylon 100%, 20.640m de poliéster 100%, 13.680kg de malha poliéster, 57.600kg de malha pol/alg, 148.800m de Jersey-nylon, e 13.920m de nyl/alg. Sendo que a atual produção mensal dessa empresa é de 111.802m de tecido de algodão 100%, 27.205m de tecido de nylon 100%, 33.125, de tecido de poliéster 100%, 23.257kg de malha de poliéster 100%, 4.446kg de malha pol/alg, 46m de malhas de nylon e 67.739m de Jersey-nylon.

Na etapa de tingimento utilizam-se dois tipos de máquinas, para efetuar o tingimento nos tecidos. As máquinas de tingimento a jato de água, *jets*, utilizados para os tecidos de poliéster, e as máquinas *Jiggers*, ou de banho estático, que são utilizados no tingimento dos tecidos de algodão e poliamida. O inventário das máquinas é representado nas tabelas 3-1 e 3-2.

Tabela 3-1: Inventário das máquinas de tingimento a jato de água.

Jet		
Quantidade	Capacidade	
Un	kg	L
3	60	500
1	150	1000
4	300	1500
1	600	5000

Tabela 3-2: Inventário das máquinas de tingimento de banho estático.

Jigger		
Quantidade	Capacidade	
Un	kg	L
4	1000	1500
3	200	800
1	60	500

A empresa também está incluída no Sistema de Auto monitoramento de Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Industriais Localizadas no Estado do Rio Grande do Sul – SISAUTO, na classe “D”, e os parâmetros do efluente devem ser medidos e analisados de acordo com a tabela 3-1.

Tabela 3-3 Parâmetros exigidos na licença operacional pela legislação para o descarte de efluente em corpos hídricos por uma empresa têxtil.

Parâmetros	Padrão de Emissão a ser atendido	Frequência de medição	Tipo de amostragem
Temperatura	inferior a 40 °C sendo a variação de temperatura do corpo receptor inferior a 3 °C na zona de mistura	diária	simples
Sól.Sedimentáveis	até 1 ml/L, em teste de 1 hora em cone Imhoff	mensal	composta
pH	entre 6,0 e 9,0	diária	simples
DQO	até 300 mg O ₂ /L	semanal	composta
Cloretos	semanal	composta
DBO ₅ (20° C)	até 80 mg O ₂ /L	mensal	composta
Sólidos Suspensos	até 100 mg/L	mensal	composta
Alumínio	até 10 mg/L	mensal	composta
Coliformes Termotolerantes	até 10.000 NMP/100 ml ou 95% de remoção *	mensal	simples
Fósforo Total	até 3 mg P/L ou 75% de remoção *	mensal	composta
Nitrogênio Total Kjeldhal	até 20 mg NTK/L ou 75% de remoção *	mensal	Composta
Nitrogênio Amoniacal	até 20 mg Nam/L	mensal	composta
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	até 2,0 mg MBAS/L	mensal	composta
Vazão	diária	simples
Espumas	virtualmente ausentes		
Materiais Flutuantes	ausentes		
Odor	livre de odor desagradável		
Cor	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor		

*caso a empresa optar por trabalhar com eficiência de remoção deverá apresentar laudos de análise dos efluentes brutos para o respectivo parâmetro;

3.2 Obtenção de Dados

Os dados da estação de tratamento de efluentes foram coletados para o presente estudo através de visitação na empresa. Estes dados foram obtidos através da planilha SISAUTO que a empresa envia mensalmente à FEPAM. Os dados analisados totalizam um período de 12 meses que compreendem de março de 2015 a fevereiro de 2016. Os parâmetros a serem analisados são de alumínio, ferro, cor, pH, DBO e DQO.

Os dados obtidos do processo produtivo da empresa foram requisitados em uma visitação, e fornecidos pelo engenheiro que gerencia o processo. Foram recebidas receitas das bateladas realizadas nas etapas de tingimento, além de dados dos equipamentos utilizados, como volumes, tempo de batelada por tipo de tecido, e por cor a ser tingida.

4 Resultados

4.1 Processo da Empresa

O processo da empresa consta no tratamento de um fio previamente adquirido. O fio adquirido passa pelos processos indicados no fluxograma da figura 4-1. Estas fibras podem ser de três tipos: poliéster, poliamida e algodão. Inicialmente ocorre o processo de tecelagem do fio, em que ele passa por máquinas que transformam o fio em tecido, ou malhas que serão utilizadas no processo de tingimento. Há três tipos de tecelagem que são realizadas na empresa: a tecelagem plana, a circular e a tecelagem de urdume (*kettenstuhl*).

A tecelagem plana é utilizada prioritariamente para os fios de algodão, apesar de, em menor escala, também ser utilizada nos fios de poliéster e de poliamida. A tecelagem plana baseia-se em entrelaçar os fios formando um ângulo de 90° entre eles.

A tecelagem circular é utilizada somente nos fios de poliéster. A malha produzida é criada em máquinas de tubos, nas quais, diferentemente da tecelagem plana, as agulhas são dispostas em um sentido circular.

A tecelagem por urdume ocorre diferentemente da tecelagem plana, e circular que são consideradas tramas. Na malha de urdume, o entrelaçamento se dá em malhas de numerosos fios em sentido longitudinal, alimentados individualmente, para cada agulha utilizada tem um único fio alimentando. Neste processo realizado em máquinas *kettenstuhl*, utiliza-se apenas os fios de poliéster.

Após o processo de tecelagem, os fios se transformam tecidos crus. Estes tecidos crus, então, passam para o processo de tingimento, onde ocorre a adição de cor ao tecido. Entretanto, necessita-se de um pré-tratamento do tecido cru antes do seu contato com o corante. Os fios recebem adição de alguns agentes químicos, para que se mantenham protegidos do atrito no processo de tecelagem. Portanto, ocorre um processo anterior ao tingimento, que é o de purga.

A purga é realizada para retirar óleos, ceras, gomas presente nos fios. Como o processo de batelada do tingimento é automatizado, a purga ocorre anteriormente à adição dos corantes. O processo consiste em banhos sucessivos com rampas de temperatura que variam em função da máquina e da composição do tecido.

Observa-se que o processo de tingimento ocorre em dois tipos de máquinas, que são escolhidas para a composição do fio a ser utilizada, visto que a adesão de corante depende da temperatura do banho e do tipo de fio que está sendo utilizado.

Para o tingimento dos tecidos de poliéster utilizam-se os corantes dispersos, que necessitam de um banho a temperaturas mais elevadas, em torno de 140°C, para que as fibras do tecido de poliéster se abram e o corante se disperse por entre elas, ficando aprisionado e conferindo à cor ao tecido quando a temperatura baixar. As máquinas de tingimento a jato operam fechadas a uma pressão acima da atmosférica, em quatro etapas sequenciais: purga, enxágue, tingimento e lavagem. As formulações para o tingimento dos tecidos de poliéster são mais curtas em termos de etapa, entretanto as etapas são mais longas.

O tingimento dos fios de algodão e dos fios de poliamida são realizadas em máquinas chamadas *Jiggers*, que constam em um banho estático e o tecido se movimenta através deste banho. As máquinas de banho estático são operadas à temperatura ambiente, visto que operam a temperaturas menores do que a temperatura de ebulição da água. As etapas nos processos de tingimento da poliamida e do algodão são mais rápidas, apesar de ter mais purgas e enxágues.

Após o processo de tingimento, os tecidos já prontos seguem à última etapa do processo da empresa, que é o acabamento. Os processos de acabamento podem ser de dublagem, que possui três métodos: à fogo, onde uma espuma é aderida ao tecido através de uma chama, à cola, em que uma cola a base de água une dois tecidos, e o *hotmelt*, que também é um tipo de cola que une os tecidos. Há também métodos físicos de acabamento, como calandragem, felpagem e escovadeira. Os processos químicos de acabamento dos tecidos, consistem na adição de algum composto químico, para conferir aos tecidos alguma propriedade desejada. Podem-se adicionar resinas, substâncias repelentes, ou também com ação antimicrobiana.



Figura 4-1: Fluxograma simplificado do processo da empresa.

4.2 Geração de Efluentes

Na parte de processo de tecelagem, a maioria dos resíduos sólidos são utilizados como um subproduto para outras empresas de ramo têxtil, e por isto não são classificados como resíduos. Na parte de acabamento, há resíduos sólidos provenientes da cola, e de alguns retalhos que sobram do processo, além de algum

excesso de produto químico usado, ou de pó proveniente do processo de acabamento físico, estão presentes em pequenas quantidades.

A maior quantidade de efluente e que deve constantemente ser analisada, a fim de poder minimizá-la, é a água proveniente da etapa de tingimento. Pela grande quantidade de água necessária, para que haja a fixação dos corantes aos tecidos, deve-se examinar a melhor metodologia a ser aplicada, para a reutilização desta água, ou o devido tratamento que ela deve receber, para um posterior descarte.

4.3 Tratamento de Efluentes

4.3.1 Estação de Tratamento de Efluentes e técnicas aplicadas

O efluente proveniente do processo de tingimento segue diretamente à estação de tratamento de efluentes que se encontra em uma construção ao lado do processo produtivo. A estação, pertencente à empresa, opera utilizando processo de lodo ativado, e coagulação e floculação. De acordo com a figura 4-2, pode-se analisar os processos da estação. A vazão de saída da estação é de aproximadamente 400 m³/dia.

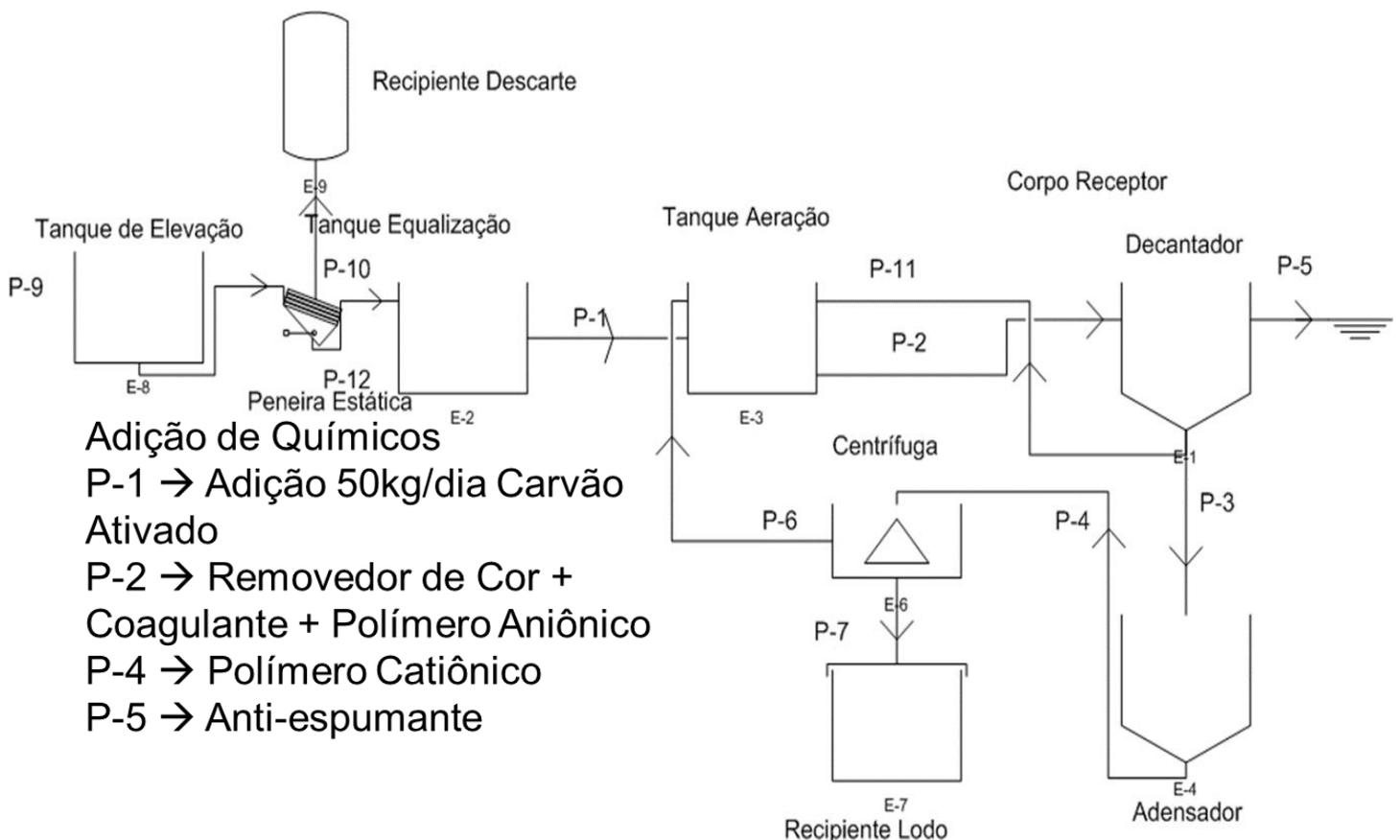


Figura 4-2 Fluxograma do processo da estação de tratamento de efluentes.

O efluente proveniente do processo de tingimento vai para a estação de tratamento e deságua em um tanque de elevação. Ao chegar em um determinado volume, o efluente é bombeado ao tanque de equalização, passando anteriormente por uma peneira estática, que serve para remover algum resíduo de fio. O tanque de equalização, com uma capacidade de 400m³, tem a função básica de homogeneizar o efluente, visto que a carga dele consiste de tingimento de três tipos diferentes de composição, com variados corantes, que estão em variadas tonalidades. A homogeneização do efluente é muito importante, visto que o processo consiste na atuação de bactérias, para biodegradar este efluente, e elas são sensíveis a diversas variações que podem ocorrer. A circulação de água, para que ocorra a homogeneização acontece da recirculação de água do tanque de equalização através de uma bomba nesta etapa.

Em seguida, o efluente segue para a etapa de degradação no tanque de aeração. Antes de ir ao tanque de aeração, o efluente passa por uma unidade que fornece carvão ativado ao sistema, na quantidade de 50kg/dia (Corrente P-1, da figura 4-1), para que haja uma maior adsorção das moléculas do efluente, aumentando conseqüentemente a ação dos microrganismos no tanque de aeração. A etapa de aeração é controlada utilizando uma sonda, para medir o oxigênio dissolvido no tanque, cuja quantidade é de 2mg/L para o processo. O tempo de retenção médio do processo de lodo ativado é de 5 a 7 dias. A capacidade do tanque de aeração é de 1200 m³.

Após a atuação dos microrganismos aeróbios no tanque de aeração, o efluente receberá os produtos químicos, para que haja o processo físico-químico de coagulação e floculação. O efluente recebe, então, uma dosagem, que foi definida pelo teste de jarros conjuntamente com um software da estação de tratamentos da empresa, de agente coagulante, a base de policloreto de alumínio (coagulante), do removedor de cor, e de um polímero aniônico (floculante) é adicionada ao efluente, para que a decantação possa ocorrer na etapa seguinte.

O decantador possui três saídas. Uma parte do fundo, contendo a biomassa sedimentada, e retorna ao tanque de aeração, para garantir que haja nutrientes para os microrganismos, diminuindo, pois, oscilações que possam ocorrer no processo. A parte clarificada recebe uma pequena dosagem de um antiespumante e segue para o corpo receptor do efluente, atravessando uma calha Parshall, para

o controle de sua vazão. Enquanto outra parte do fundo seguirá ao adensador, para que a retirada da água do lodo gerado no processo.

No adensador, o lodo é compactado mais através do processo de sedimentação. Na parte final há um bombeamento deste lodo, para a etapa de centrifugação. Anteriormente à centrifugação é adicionado ao lodo um polímero catiônico, que auxiliará a remoção de água do lodo gerado. A água removida no processo de centrifugação retorna ao tanque de aeração, e o lodo segue a uma caçamba, para que haja a sua posterior disposição. A empresa analisada terceiriza a disposição do seu lodo, e para tal, ele deve estar com devidas especificações de umidade, para que seja aceito. O lodo a ser descartado deve conter um fator de umidade de 85% aproximadamente, e é gerada uma quantidade de aproximadamente 110kg/h de lodo.

4.3.2 *Parâmetros Analisados*

Como há uma grande quantidade de parâmetros a serem analisados do efluente descartado no corpo receptor de água, foram analisados aqueles que são necessários, para que haja uma possível reutilização da água no próprio processo produtivo, seja na caldeira utilizada para aquecer a água do tingimento, ou no próprio banho utilizado na etapa de tingimento. As análises realizadas, ocorreram nos parâmetros de pH, DBO₅, DQO, Al, cujas periodicidades das análises seguem de acordo com a tabela 3-1. As análises de DQO e de pH foram realizadas pela própria empresa, visto que ela se encontra no sistema de auto monitoramento de efluentes autorizada pela FEPAM. Entretanto, os parâmetros de DBO₅ e de Alumínio foram realizados por terceiros.

Para a análise dos parâmetros, foi realizada a técnica estatística de carta de controle. Foi realizada uma média amostral de todos os dados coletados no período de março de 2015 a fevereiro de 2016, além de obter os desvios padrões amostrais de todos os parâmetros neste mesmo período. Para a carta de controle, utilizou-se a relação para limite superior e inferior de controle, o valor de 3 vezes o desvio padrão acima e abaixo da média amostral, para que os resultados possuam 99,6% e confiança de estarem no intervalo. Na carta também há os limites exigidos pela legislação, para que se tenha uma referência dos dados. Com a análise estatística da carta de controle, pode-se evidenciar, se o tratamento de efluentes na empresa

está operando com muita folga, ou no limite. O que posteriormente será de suma importância, para propor reutilização de água de banho, ou outras melhorias ao processo, visto que haveria uma margem para tal.

4.3.2.1 Avaliação dos dados de pH

Na análise de carta de controle para os dados de pH (figura 4-3), pode-se confirmar que os valores estão estatisticamente dentro da faixa de LCS: 7,45 e LCI: 6,12. A faixa entre os limites de controle é menor, visto que o desvio padrão amostral calculado para o pH é de 0,22. Essa faixa dos limites inferior e superior de controle estão dentro da faixa de pH que a FEPAM permite descartar, que é de 6 a 9. Houve, em janeiro de 2016, valores que saíram do controle estatístico da carta de controle, e, inclusive, saíram dos padrões da FEPAM. Ao serem analisador este valor, foi questionada a engenheira ambiental da empresa, o porquê destes valores fora da faixa. Foi relatado que a empresa havia tido férias coletivas no fim do ano de 2015, portanto houve uma parada no processo da empresa. Como a estação de tratamento de efluente nunca para, houve a adição de nutrientes para os microrganismos, que não são os nutrientes usuais, no caso os corantes do processo de tingimento. Nota-se que rapidamente o pH retorna aos valores normais de processo, quando o fim das férias coletivas acaba e as atividades resumem normalmente.

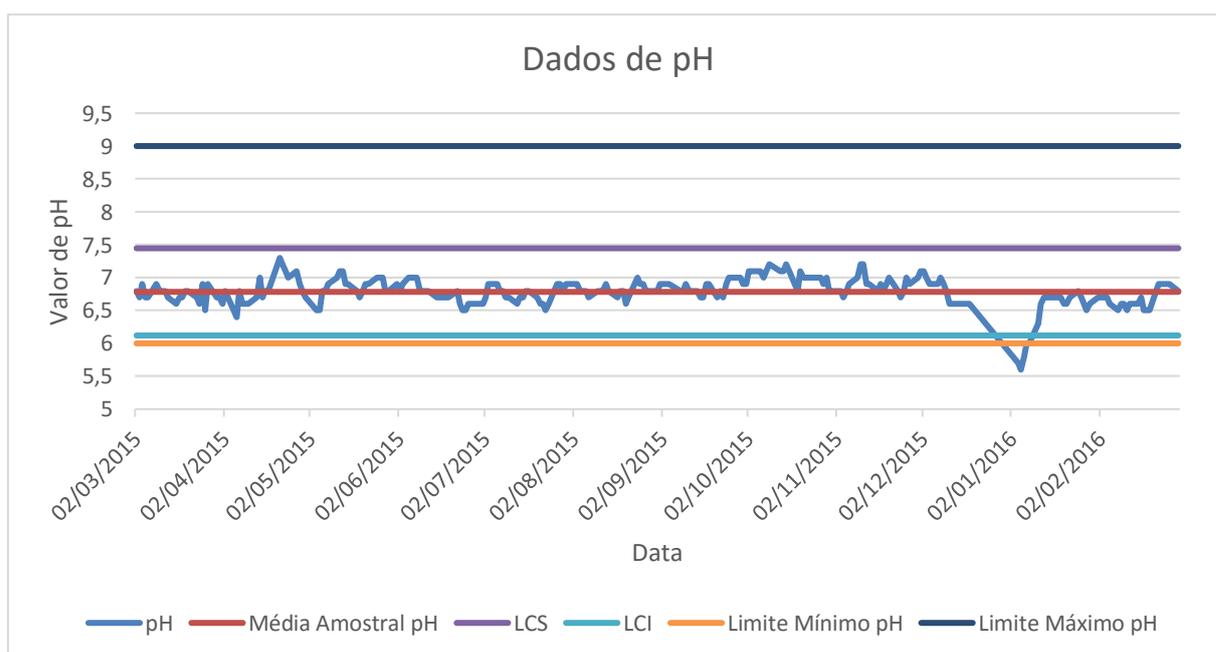


Figura 4-3: Carta de controle dos valores coletados diariamente de pH no período de 1 ano.

4.3.2.2 Avaliação dos dados de DQO

A análise da carta de controle de DQO (figura 4-4), confirma-se com 99,6% de confiança, que os valores analisados de DQO encontram-se entre os seus limites de controle LCS:284,62 mg/L e LCI: 13,42 mg/L. O desvio calculado, para o parâmetro DQO foi de 45,20, o que evidencia este intervalo de confiança dos dados um tanto elevado. Mesmo assim, o parâmetro DQO encontra-se abaixo do valor limitado pela legislação. Inclusive, nos últimos meses de análise, houve uma melhora geral dos valores obtido de DQO.

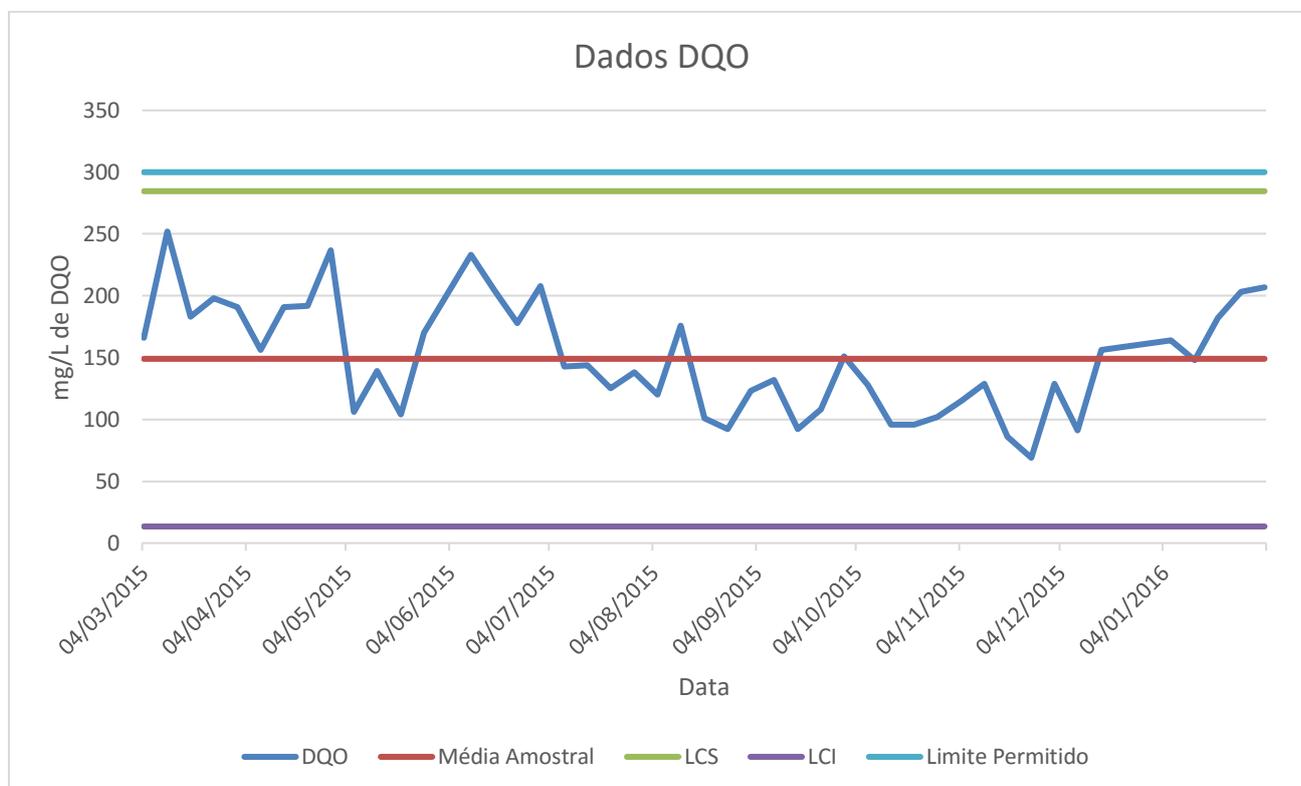


Figura 4-4 Carta de controle dos valores coletados semanalmente de DQO no período de 1 ano.

4.3.2.3 Análise dos dados de DBO₅

A análise dos dados coletados de DBO₅ (figura 4-5), conseguem mostrar estatisticamente, que os valores do parâmetro de DBO₅ encontram-se no intervalo de LCS:26,16 mg/L e LCI:0 mg/L, com um desvio padrão amostral de 5,25. O LCI não pode ser inferior a zero, apesar de a fórmula matemática sugerir, visto que se leva em consideração o fator físico de que uma concentração não pode ser

negativa. Os valores de DBO_5 encontram-se muito abaixo do valor permitido pela legislação. O que confere muita margem para a empresa atuar no processo, e ainda o parâmetro não infringir a CONSEMA 128/2006.

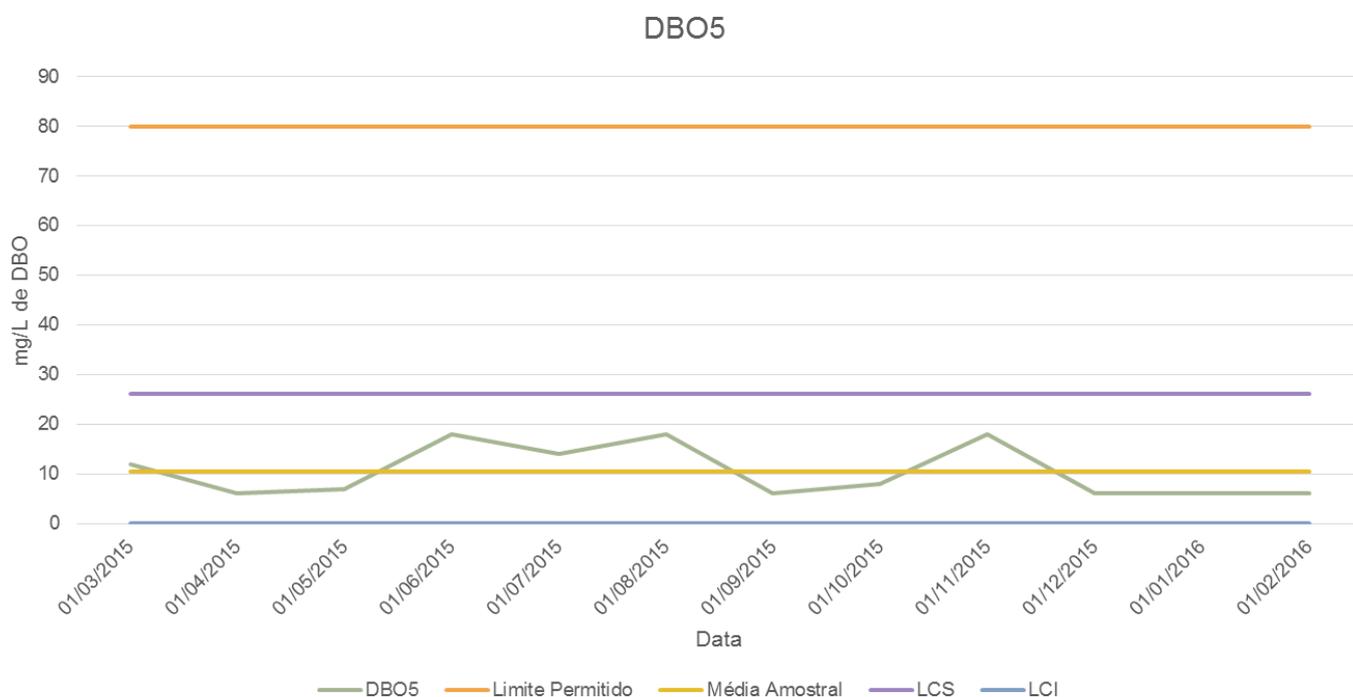


Figura 4-5 Carta de Controle dos valores coletados mensalmente de DBO_5 no período de 1 ano.

4.3.2.4 Avaliação dos dados de Alumínio

A análise dos valores coletados para o alumínio (figura 4-6), evidencia que, com 99,6% de confiança estatística, os valores de alumínio compreendem-se no intervalo de $LCS:3,08\text{mg/L}$ e $LCI:0\text{ mg/L}$, com um desvio padrão amostral de 0,79. O desvio padrão de alumínio, apesar de numericamente baixo, varia bastante, caso queira reutilizar o efluente no processo da empresa, que necessita de valores de alumínio menores que $0,25\text{mg/L}$. Quanto à legislação, os valores de concentração de alumínio que são desaguados no corpo hídrico receptor, estão muito abaixo do padrão exigido pela FEPAM, mas quanto a sua reutilização na empresa, deve-se empregar outros métodos, para que sua concentração diminua.

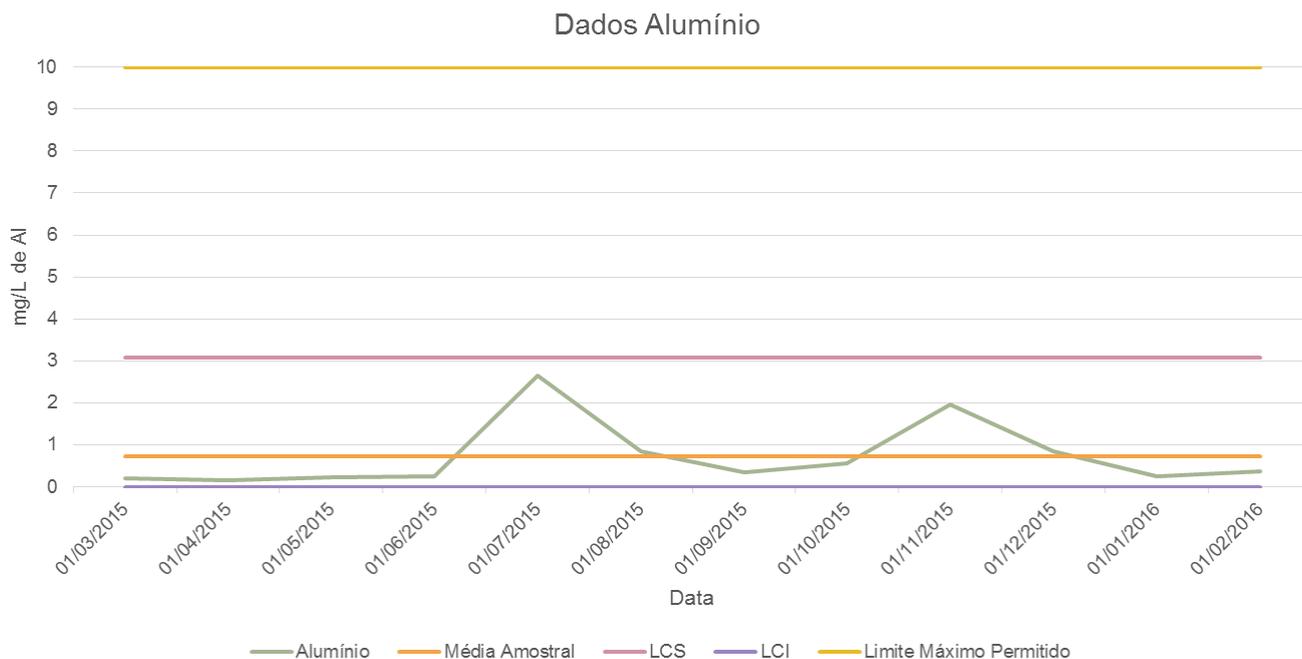


Figura 4-6 Carta de Controle dos valores coletados mensalmente de Al no período de 1 ano.

4.4 Estudos de Melhoria do Processo

4.4.1 Estudos de Remoção de Corantes Reativos

Após a análise de dados da estação de tratamento de efluentes e leituras acerca de técnicas condizentes com o tipo de corante utilizado na empresa, foi realizada a análise de possíveis melhorias. A maioria da bibliografia consultada, remete à reutilização do efluente têxtil proveniente de empresas têxteis que utilizem tingimento de algodão, que são corantes reativos. O estudo realizado por WANG *et al.* (2011) mostra os diversos métodos avançados de tratamento de efluentes têxteis e faz uma análise econômica das metodologias possíveis. O autor conclui que a melhor metodologia possível seria uma combinação entre sistemas baseados em membranas, além de uma combinação de sistemas que combinem a adsorção com a nanofiltração. O autor também cita, como alternativa ideal, a combinação de uma eletroxidação, seguido da ação biológica aeróbica, e após um tratamento fotoquímico com uma troca iônica, para a reutilização na própria empresa. A metodologia de membranas e nanofiltração estudadas por Wang são corroboradas nos trabalhos de ALLÈGRE *et al.* (2006) e RANGANATHAN; KARUNAGARAN; SHARMA (2007), que trataram efluentes de corante reativo utilizando uma combinação de nanofiltração e osmose inversa, e este efluente era reciclado no próprio processo, juntamente com os químicos que são utilizados para o tingimento

de algodão. A proposição destes trabalhos, é a emissão zero de efluentes, ou a captação próxima de nula, visto que a água é de difícil acesso, e os processos analisados foram satisfatórios.

4.4.2 Estudos de Remoção de Corantes Dispersos

Para o processo envolvendo poliésteres, utiliza-se o tingimento baseado em tintas dispersas. A metodologia, para remoção de tintas dispersas, remete majoritariamente à utilização de técnicas de eletro-oxidação. O estudo realizado por LIM *et al.* (2009) avalia a remoção de um corante escuro de cor vermelha, que é de difícil remoção, e aplica a eletro-oxidação com eletrodo de Cu(II), H₂O₂, e piridina, e consegue fazer uma remoção na coloração de 99%, além de remover 90% do COT. Já no caso de PASCHOAL; ANDERSON; ZANONI (2009), o processo de eletro-oxidação catalítica, foi realizado com um eletrodo de Ti/TiO₂ com radiação UV, e os resultados, para um efluente têxtil baseado em corantes dispersos, apresentou redução de cor de 80-89%, com redução de 50-60% de DQO, e 47-49% de COT. Nota-se que a redução dos parâmetros foi considerável em ambos os casos, o que propicia a utilização dos métodos, para uma eficiente redução dos efluentes no tingimento dos poliésteres.

4.4.3 Estudo de Remoção de Corantes Ácidos

O processo para a remoção e reutilização de corantes ácidos escuros, que são muito utilizados no tingimento de tecidos a base de PA, muito estudado e com grandes possibilidades de escala comercial é a utilização de membranas de nano e ultrafiltração, para a remoção do corante, e a água do permeado sendo reutilizada no próprio processo. O livro de FREEMAN S. HOWARD; REIFE (1996) remete exatamente à possibilidade econômica e eficaz da utilização de membranas, e sugere um aumento de eficiência usando processos combinados.

A combinação do processo de osmose reversa com nanofiltração é efetiva na remoção de cor de corantes ácidos, chegando a 99% para o caso de um corante vermelho, que é uma cor escura e de difícil remoção. A remoção de corantes reativos, que são utilizados no tingimento de tecidos de algodão, foi muito efetiva, com remoção de cor de mais de 90%, entretanto comparativamente com a remoção de corantes ácidos, o permeado, que seria a água de reutilização no processo, foi obtido em menor quantidade (ABID; ZABLOUK; ABID-ALAMEER, 2012).

4.5 Propostas de Melhoria

A empresa baseia-se principalmente na produção de tecidos a base de poliéster e algodão, representando mais de 90% de sua produção, o que remete à utilização de corantes reativos e dispersos. O processo de tingimento de tecidos a base de poliéster e a base de algodão ocorrem em máquinas distintas, o que facilita a implementação de sistemas dentro da empresa, para cada tipo de máquina.

4.5.1 *Proposta da adição de um sistema de membranas com Nanofiltração e Osmose Reversa*

Tanto os corantes reativos, quanto os corantes ácidos apresentam uma grande redução de cor utilizando sistemas de membrana, que poderia ser uma combinação de nanofiltração e osmose inversa (ABID; ZABLOUK; ABID-ALAMEER, 2012). O sistema de osmose inversa e nanofiltração é composto por membranas poliméricas, em configuração espiral. O tamanho do poro da membrana de nanofiltração retém 96% de $MgSO_4$. Enquanto a membrana de osmose inversa retém 99% de NaCl (BOTTINO; CAPANNELLI; DIPARTIMENTO, 2001). Um modelo de implementação de sistema de osmose inversa pode ser visto na Figura 4-7. Este modelo propõe um sistema estudado por RANGANATHAN; KARUNAGARAN; SHARMA, (2007) que fez um estudo econômica da implementação do sistema de membranas numa indústria têxtil, cuja dificuldade de acesso à uma água de qualidade de processo é difícil. Essa implementação tem alta eficiência na recuperação de químicos utilizados nos banhos, através da nanofiltração, e dos cilindros de osmose reversa, além de uma redução muito grande da disposição de água da ETE. Esses fatores podem compensar o investimento em um sistema de osmose reverso, cujo custo é bastante elevado.

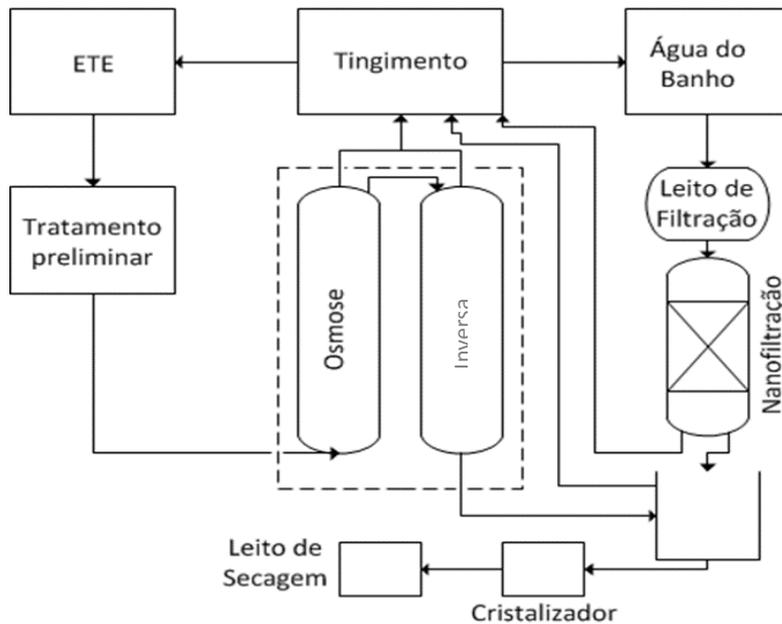


Figura 4-7: Implementação de sistema de membranas (nanofiltração e osmose reversa) no processo. Adaptado de: (RANGANATHAN; KARUNAGARAN; SHARMA, 2007).

4.5.2 Implementação de um sistema de reutilização do efluente com membrana e eletro-oxidação

A implementação de um sistema de menor custo, mas de alta eficiência, seria a aplicação de um sistema de membranas, com uma utilização de eletro-oxidação. Conforme a figura 4-8, uma corrente que saia do decantador retornaria para o processo através do refino por uma separação por membrana e uma posterior oxidação elétrica, para a total remoção de cor de componentes que possam não ter sido removidos pelas membranas. O procedimento de lodo ativado seguido de coagulação já é um método bem efetivo de remoção de corantes dispersos, visto que eles são insolúveis em água. Esta vantagem de já haver uma metodologia eficaz, para um dos tipos de corantes utilizados, facilitaria a implementação desse sistema para reutilizar a água no processo. Pode-se inicialmente utilizar a água retornada para a caldeira, visto que os parâmetros da caldeira e do processo são os mesmos, com diferentes exigências.

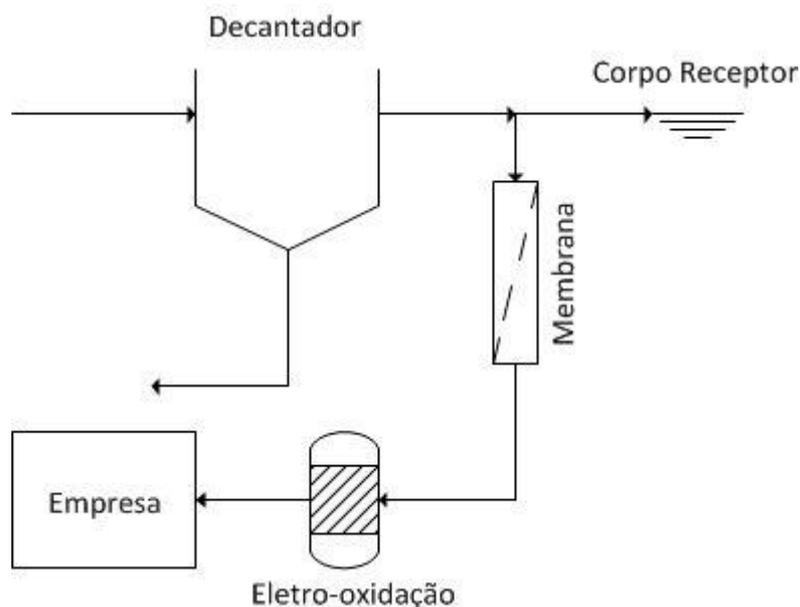


Figura 4-8: Implementação de um sistema de membrana (nanofiltração) e eletro-oxidação.

4.5.3 Implementação de um sistema com membrana, eletro-oxidação e trocador iônico

Este sistema, figura 4-8 é semelhante ao sistema proposto no item 4.5.2, com a adição de um trocador iônico. A função do trocador iônico seria a remoção de quaisquer íons remanescentes dos processos anteriores e que podem extrapolar os parâmetros necessários, para a reutilização no processo (WANG *et al.*, 2011). O trocador iônico deve ser composto de duas resinas. Uma resina catiônica fortemente ácido, e uma resina aniônica fortemente básica. A combinação de resinas pode ser tipo-H, e tipo-OH. A razão ótima é de 2:1 da resina aniônica e catiônica. O processo de troca iônica é muito eficaz na redução de parâmetros como dureza da água, íons metálicos (como ferro e alumínio), além de remover outros tipos de íons presentes em efluentes têxteis (LIN; CHEN, 1997).

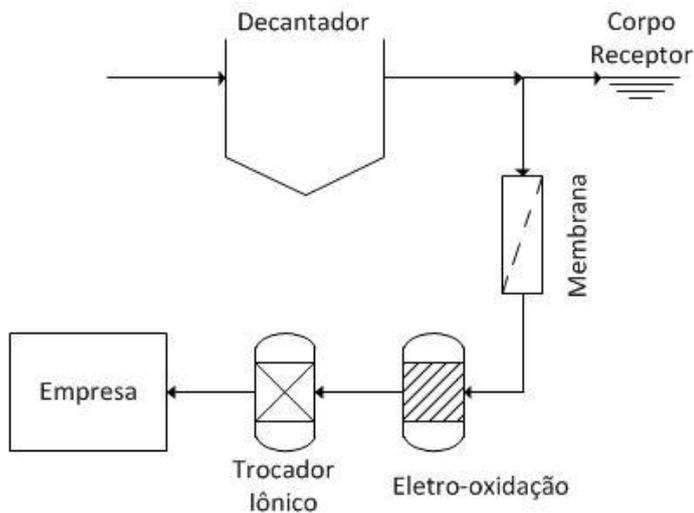


Figura 4-9: Implementação de um sistema com membrana, eletro-oxidação e um trocador iônico.

4.5.4 Reutilização de água de banho

Um processo possível, sem quaisquer investimentos de grande porte na empresa, é a reutilização da água de banho no próprio tingimento. Utilizando as águas de banho provenientes de cores mais claras em tingimentos de cores mais escuras (SHAIKH, 2009). Pela análise estatísticas dos parâmetros estudados, evidencia-se uma margem de operação no efluente. Essa margem propicia a reutilização da água de banho, visto que esta reutilização concentraria o efluente. Entretanto, a análise estatística dos parâmetros do efluente mostra a possibilidade qualitativa da reutilização da água de banho, mas a relação entre parâmetros do efluente e a quantidade de água de banho a ser reutilização necessita uma posterior análise.

A reutilização da água de banho de cores claras e médias é corroborada pelo o estudo realizado por TWARDOKUS (2004), em que ele relata que as análises espectrofotométricas das amostras de reuso de água nessas condições não levam à rejeição das amostras tingidas com a água de reuso. Além de que o valor de condutividade dos banhos de tingimento não é um fator restritivo para o reuso dessas correntes, visto que o sal também é reutilizado no tingimento seguinte. Neste trabalho, obteve-se também uma economia de aproximadamente 80% no total de tingimento utilizado.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho uma empresa do ramo têxtil foi estudada através de todo o seu processo produtivo, para identificar o maior gerador de efluentes, o processo de tingimento. Após a determinação da origem do efluente, avaliou-se a capacidade da estação de tratamento de efluentes, através dos seus parâmetros. Os parâmetros permitiram analisar as diferentes técnicas para tratamento de efluentes, além de uma atuação no próprio processo, em que incrementa o reuso das águas de banho.

A análise de diversos trabalhos da literatura que tratavam de processos de tratamento de efluente e sua posterior reutilização na empresa revelam uma tendência em termos de tecnologia de membranas. Os processos que abrangem a maior quantidade de químicos e corantes são os processos que utilizam membranas, como ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. Entretanto, há uma classe de corantes, os corantes dispersos, que deve receber um tratamento alternativo, principalmente, tratamentos de eletro oxidação.

Os resultados permitiram concluir que a combinação de um tratamento de membranas com um tratamento de eletro oxidação seja a melhor opção para a implementação na empresa. O reuso das águas de banho, em grande quantidade, também é possível, visto que, apesar de concentrar o efluente, será compensado pelo rendimento destas novas tecnologias.

Como deve-se considerar também a cultura da empresa, a proposição é começar em menor escala, para mostrar as vantagens da utilização de tecnologias modernas e mais eficientes, para que futuramente a empresa adote a ideia de que investir em tecnologias limpas significa uma economia, não só ao empreendedor, mas também um benefício ao meio ambiente.

Como meta futura, observa-se uma realização de estudos complementares, para efetuar um projeto de implementação destas tecnologias na empresa, através de um estudo de viabilidade econômica, para a aplicação de um sistema completo de tratamento de efluentes moderno e efetivo.

Acredita-se que o presente estudo possa ser um exemplo para empresas que apresentem o mesmo perfil e possa contribuir para a redução de águas contaminadas na mesma.

6 Referências

ABID, M. F.; ZABLOUK, M. A.; ABID-ALAMEER, A. M. Experimental study of dye removal from industrial wastewater by membrane technologies of reverse osmosis and nanofiltration. **Iranian journal of environmental health science & engineering**, 2012. v. 9, n. 1, p. 17. Disponível em:

<<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3570404&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>.

ALLÈGRE, C. *et al.* Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. **Journal of membrane science**, 2006. v. 269, n. 1-2, p. 15–34.

BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. 2000. p. 161. Disponível em:

<<http://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15866/1/LeocadiaTCB.pdf>>.

BOTTINO, B.; CAPANNELLI, G.; DIPARTIMENTO, G. T. Membrane separation processes tackle textile wastewater treatment. 2001. n. 130.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. J. Characterisation of textile wastewaters - a review. **Environmental technology**, 1994. v. 15, n. 10, p. 917–929.

FORGACS, E.; CSERHÁTI, T.; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. **Environment international**, 2004. v. 30, n. 7, p. 953–971.

FREEMAN S. HOWARD; REIFE, A. **Environmental chemistry of dyes and pigments**. [S.l.]: [s.n.], 1996.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, V. B. Fixação do corante a forma de fixação da molécula do corante a essas fibras geralmente é feita em solução aquosa e pode envolver basicamente. **Química nova**, 1999. v. 23, n. 1, p. 71–78.

How products are made. [S.l.], 2016. Disponível em:

<<http://www.madehow.com/Volume-5/Thread.html>>.

JADHAV, P. D. A. *et al.* Detail study of different dyeing processes. **International journal of emerging technology and advanced engineering**, 2013. v. 3, n. 9, p. 537–540.

Japan chemical fibers association. [S.l.], 2016. Disponível em:

<http://www.jcfa.gr.jp/english/cs/seni/e_nylon.html>.

L. VIGO, T. **Textile processing and properties**. Elsevier S ed. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1994.

LEPEZ, M. J. *et al.* Decolorization of industrial dyes by ligninolytic microorganisms isolated from composting environment. **Enzyme and microbial technology**, 2006. v. 40, n. 1, p. 42–45.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. **Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira**. Química Tê ed. São Paulo: [s.n.], 1998.

LEDAKOWICZ, S.; GONERA, M. Optimisation of oxidants dose for combined chemical and biological treatment of textile wastewater. **Water research**, 1999. v. 33, n. 11, p. 2511–2516.

LIM, C. L. *et al.* Treatment of terasil red r dye wastewater using h₂o₂/pyridine/cu(ii) system. **Journal of hazardous materials**, 2009. v. 168, n. 1, p. 383–389.

LIN, S. H.; CHEN, M. L. Purification of textile wastewater effluents by a combined fenton process and ion exchange. **Desalination**, 1997. v. 109, n. 2, p. 121–130.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916497000581>>.

MARGULIS, S. *et al.* **Brazil: managing water quality**. The World ed. [S.l.]: [s.n.], 2002.

MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de santa catarina**. [S.l.]: [s.n.], 1997.

OGUGBUE, C. J.; SAWIDIS, T. Bioremediation and detoxification of synthetic wastewater containing triarylmethane dyes by aeromonas hydrophila isolated from industrial effluent. **Biotechnology research international**, 2011. v. 2011, p. 967925.

PASCHOAL, F. M. M.; ANDERSON, M. A.; ZANONI, M. V. B. The photoelectrocatalytic oxidative treatment of textile wastewater containing disperse dyes. **Desalination**, 2009. v. 249, n. 3, p. 1350–1355. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2009.06.024>>.

RAJKUMAR, D.; KIM, J. G. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. **Journal of hazardous materials**, 2006. v. 136, n. 2, p. 203–212.

RANGANATHAN, K.; KARUNAGARAN, K.; SHARMA, D. C. Recycling of wastewaters of textile dyeing industries using advanced treatment technology and cost analysis-case studies. **Resources, conservation and recycling**, 2007. v. 50, n. 3, p. 306–318.

SANIN, L. B. B. A. **A indústria têxtil e o meio ambiente**. [S.l.]: Química Têxtil, 1997.

SANTOS, A. B. DOS; CERVANTES, F. J.; LIER, J. B. VAN. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. **Bioresource technology**, 2007. v. 98, n. 12, p. 2369–2385.

ŞEN, S.; DEMIRER, G. N. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. **Water research**, 2003. v. 37, n. 8, p. 1868–1878.

SHAIKH, M. Water conservation in textile industry. **Ptj**, 2009. v. 48, n. November, p. 48–51. Disponível em:

<[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SHAKIH 2009 Water conservation in the textile industry.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SHAKIH%202009%20Water%20conservation%20in%20the%20textile%20industry.pdf)>.

SILVA, H. S. **Princípios de tratamento de efluentes líquidos**. Química Tê ed.

São Paulo: [s.n.], 1995.

Textile learner. [S.l.], 2016. Disponível em:
<http://textilelearner.blogspot.com.br/2011/07/polyester-fiber-manufacturing-process_7309.html>.

TWARDOKUS, R. G. Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. **Universidade federal de santa catarina**, 2004. p. 136. Disponível em:
<<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m126.pdf>>.

WANG, Z. *et al.* Textile dyeing wastewater treatment. ... **in treating textile effluent, ed by ...**, 2011. p. 91–116. Disponível em:
<http://www.intechopen.com/source/pdfs/22395/intech-textile_dyeing_wastewater_treatment.pdf>.