

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TAYANE MATSUDA ASSUNÇÃO

**COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO DE
COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE DE
POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) COM O PROCESSO DE
ELETROCOAGULAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE AÇO INOX
EM EFLUENTES TEXTÉIS**

CAMPO MOURÃO

2018

TAYANE MATSUDA ASSUNÇÃO

**COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO DE
COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE DE
POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) COM O PROCESSO DE
ELETROCOAGULAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE AÇO INOX
EM EFLUENTES TEXTÉIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Rodrigues

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE DE POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) COM O PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE AÇO INOX EM EFLUENTES TÊXTEIS

por

Tayane Matsuda Assunção

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:00h do dia 29 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eudes José Arantes

((UTFPR))

Prof^a. Vanessa Marconi Jamarim

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

((UTFPR))

Co-orientador

Prof. Paulo Henrique Rodrigues

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo aos meus pais, Tales e Maura, por tudo o que tenho hoje, por toda educação, amor e esforço que fizeram para me tornar a pessoa que sou. Sempre serei grata por todo carinho e amor que vocês me dão.

Às minhas irmãs, Thais e Tatiane, que são meu tudo, obrigada por sempre cuidarem de mim, me apoiarem no que quero e acredito, e sempre me guiarem no melhor caminho.

À todos da minha família por todo apoio e amor que me deram!

Agradeço ao meu namorado, Ewerton, por estar ao meu lado, me ajudar a enxergar o lado bom das coisas e tornar essa etapa da vida muito mais divertida e cheia de amor. Obrigada por não desistir de mim e por cada sorriso que você me proporciona.

Ao meu orientador Paulo Henrique Rodrigues, e minha co-orientadora Paula Cristina de Souza, obrigada pela oportunidade que me deram e por toda ajuda!

Agradeço aos demais professores da UTFPR que fizeram parte da minha graduação, pelas lições e ensinamentos dados ao longo das aulas.

Aos meus amigos de Andradina, pela amizade que já passa uma década.

Agradeço a todos os meus amigos da faculdade pelas risadas, pelo carinho e pela força! Sem vocês eu não teria chegado até aqui!

Agradeço a UTFPR-CM pela disponibilização do laboratório e pelos materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqui não citados diretamente, mas que me ajudaram ao longo da minha formação acadêmica.

RESUMO

A indústria têxtil é de grande importância para a economia nacional, pois além de ter grande peso no PIB, é dada como a segunda maior empregadora da indústria de transformação. Entretanto, esse ramo é caracterizado por consumir um considerável volume de água durante os vários processos que o compõe, gerando uma grande quantidade de efluente têxtil que, por ser altamente poluidor, necessita de tratamento prévio a fim de enquadrar seus parâmetros nos limites impostos pelo CONAMA e pelo CEMA, para posterior despejo em corpo hídrico. O trabalho tem como objetivo apresentar um método de tratamento de efluentes têxteis por eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox e comparar os resultados com os do método físico-químico de coagulação e floculação utilizando o coagulante PAC aplicado e publicado por Souza (2016). Após o tratamento por eletrocoagulação, os resultados foram analisados e foi determinado como sendo as condições ótimas de tratamento: o efluente bruto com pH 8, a corrente de 3 A e o espaçamento entre eletrodos de 20 mm. Ao final do trabalho, os dois tratamentos mostraram-se eficazes, uma vez que ambos apresentaram resultados de cor, turbidez, DQO e temperatura dentro dos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA, para a eletrocoagulação os resultados pós tratamento foram, respectivamente, 6,00 gPt-Co.L⁻¹, 23,50 NTU, 184,85 mgO₂.L⁻¹ e 36 °C, e para o método utilizando coagulante PAC, os resultados foram 26,38 gPt-Co.L⁻¹, 70,20 NTU, 144,27 mgO₂.L⁻¹ e 29 °C. Para os dois tratamentos, o pH do efluente tratado apresentou-se fora do limite estabelecido pelo CONAMA, necessitando assim uma correção do mesmo antes do despejo do efluente tratado no corpo receptor.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Eletrocoagulação. Coagulante PAC.

ABSTRACT

The textile industry is of great importance for the national economy, in addition to having great weight in the PIB, it is given as the second largest employer of the transformation industry. However, this branch is characterized by consuming a considerable volume of water during the various processes that compose it, generating a large amount of textile effluent that, because it is highly polluting, needs previous treatment in order to fit its parameters within the limits imposed by CONAMA and by CEMA, for later discharge in water body. The objective of this study is to present a method of treatment of textile effluents by electrocoagulation using stainless steel electrodes and to compare the results with those of the physical-chemical method of coagulation and flocculation using the coagulant PAC applied and published by Souza (2016). After treatment by electrocoagulation, the results were analyzed and the optimal treatment conditions were determined: crude effluent with pH 8, current of 3 A and electrode spacing of 20 mm. At the end of the work, the two treatments were effective, since both presented results of color, turbidity, COD and temperature within the parameters established by CONAMA, for electrocoagulation the results after treatment were, respectively, 6,00 gPt-Co.L⁻¹, 23,50 NTU, 184,85 mgO₂.L⁻¹ and 36 °C, and for the method using coagulant PAC, the results were 26,38 gPt-Co.L⁻¹, 70,20 NTU, 144,27 mgO₂.L⁻¹ and 29 °C. For the two treatments, the pH of the treated effluent was outside the limit established by CONAMA, thus requiring a correction of the same before the effluent discharged in the receiving body.

Keywords: Textile effluent. Electrocoagulation. Coagulant PAC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão	17
Figura 2 – Fluxograma do processo de beneficiamento.....	19
Figura 3 – Interações observadas durante a eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço	37
Figura 4 – Desenho ilustrativo dos arranjos dos eletrodos (a) Reator em batelada com eletrodos monopolares conectados em paralelo. (b) Diagrama elétrico do arranjo monopolar em paralelo.....	42
Figura 5 – Desenho ilustrativo do reator de eletroflotação com eletrodos monopolares ligados em paralelo.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quantidade de efluente gerado em cada etapa de beneficiamento têxtil.....	25
Quadro 2 – Processos de tratamento de efluente	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Outras condições para lançamento de efluentes líquidos	30
Tabela 2 – Padrões para lançamento de efluentes líquidos oriundos de tinturaria, indústrias têxteis e lavanderias industriais em corpos receptores.....	31
Tabela 3 – Resumo das análises efetuadas	47
Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos do efluente bruto	48
Tabela 5 – Parâmetros de redução de DQO, cor e turbidez em duplicata do efluente tratado.	50
Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos, em valores absolutos, do efluente tratado por eletrocoagulação com eletrodos de aço inox, por coagulante PAC com concentração de 0,20 ml.L-1 e o padrão determinado pelo CONAMA.	51
Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos, em porcentagem de redução, do efluente tratado por eletrocoagulação com eletrodos de aço inox, por coagulante PAC com concentração de 0,20 ml.L-1 e o padrão determinado pelo CONAMA.....	52

LISTA DE SIGLAS

ABQCT	Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CODEMA	Conselho de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DDP	Diferença de Potencial
DQO	Demanda Química de Oxigênio
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
PAC	Policloreto de Alumínio
SD	Sólidos Dissolvidos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SED	Tempo de Sedimentação
SS	Sólidos Suspensos
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TML	Tempo de Mistura Lenta
TMR	Tempo de Mistura Rápida
TOC	Carbono Orgânico Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1 Indústria Têxtil	16
4.1.1 Processo de Beneficiamento do Tecido	18
4.1.1.1 Beneficiamento primário ou pré-tratamento	19
4.1.1.1.1 Chamuscagem	19
4.1.1.1.2 Desengomagem	20
4.1.1.1.3 Mercerização	20
4.1.1.1.4 Purga ou Cozimento Alcalino	20
4.1.1.1.5 Alvejamento.....	21
4.1.1.2 Beneficiamento secundário	21
4.1.1.2.1 Tinturaria	21
4.1.1.2.2 Estamparia	22
4.1.1.3 Beneficiamento final ou acabamento.....	22
4.1.2 Corantes utilizados na indústria têxtil para beneficiamento.....	22
4.1.2.1 Corantes ácidos	22
4.1.2.2 Corantes azoicos.....	23
4.1.2.3 Corantes diretos	23
4.1.2.4 Corantes dispersos.....	23
4.1.2.5 Corantes reativos	23
4.1.2.6 Corantes de enxofre	24
4.1.2.7 Corantes à cuba	24
4.2 Efluente Têxtil	24
4.2.1 Característica dos efluentes têxtil.....	26
4.2.1.1 Sólidos Totais	26
4.2.1.2 Sólidos Suspensos	27
4.2.1.3 Metais Pesados	27
4.2.1.4 Detergentes e agentes tensoativos	27

4.2.1.5 Corantes.....	28
4.2.1.6 Temperatura e pH	28
4.3 CONAMA.....	29
4.3.1 Resolução nº 357/2005	29
4.3.2 Resolução nº 430/2011	29
4.4 CEMA.....	30
4.4.1 Resolução nº 070/2009	31
4.4.2 Resolução nº 072/2009	31
4.5 Métodos de Tratamento do Efluente Têxtil	32
4.5.1 O processo físico-químico	34
4.5.1.1 Coagulação, floculação e decantação.....	34
4.5.1.1.1 Coagulante policloreto de alumínio (PAC).....	35
4.5.2 O processo eletrolítico.....	35
4.5.2.1 Fundamentos do processo de eletrofloculação	36
4.5.2.2 Condutividade elétrica do efluente	38
4.5.2.3 Sobrenadante.....	38
5 METODOLOGIA	40
5.1 Coleta e Preservação das Amostras	40
5.2 Tratamento Mecânico por Coagulação/ Floculação Utilizando o PAC	41
5.3 Tratamento por Eletrofloculação	41
5.3.1 Reator.....	41
5.3.1.1 Arranjo monopolar	42
5.3.1.2 Eletrodos	43
5.3.1.2.1 Desgaste dos eletrodos.....	44
5.3.1.2.2 Espaçamento entre eletrodos.....	45
5.4 Análises Físico-Químicas	45
5.4.1 Temperatura.....	45
5.4.2 Alcalinidade e acidez volátil.....	45
5.4.3 Cor.....	46
5.4.4 Determinação da DQO – Demanda química de oxigênio.....	46
5.4.5 Turbidez	47
5.4.6 Resumo de análises.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSOES.....	48
6.1 Caracterização do Efluente Não Tratado.....	48

6.2 Tratamento por Eletrocoagulação com Eletrodos de Aço Inox	49
7 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

O processo de industrialização brasileira ocorreu de forma lenta entre os anos de 1844 e 1913. Em 1864, já existia uma razoável cultura algodoeira, matéria-prima básica da indústria têxtil, mão-de-obra abundante e um mercado consumidor em crescimento. Outros fatores também influenciaram a evolução da indústria têxtil, dentre os quais se citam: a guerra civil americana, a guerra do Paraguai e a abolição do tráfico de escravos, o que resultou na maior disponibilidade de capitais, antes empregados nessa atividade (REVISTA TEXTÍLIA, 2006).

Em 1864, estariam funcionando no Brasil 20 fábricas, com cerca de 15.000 fusos e 385 teares. Em 1881, menos de 20 anos de depois, o número de fábricas aumentou para 44 enquanto os fusos quaduplicaram, gerando cerca de 5.000 empregos. Nas décadas seguintes, houve uma aceleração do processo de industrialização e, às vésperas da I Guerra Mundial, já haviam instaladas 200 fábricas, que empregavam 78.000 pessoas (REVISTA TEXTÍLIA, 2006).

A Segunda Guerra Mundial pode ser considerada como fator decisivo na consolidação da indústria têxtil brasileira, uma vez que foi nesse período que houve uma limitação da capacidade do país de importar, o que propiciou a oportunidade de crescimento da produção interna no vácuo deixado pelo não suprimento externo de tecidos. Assim, a interrupção do fluxo de entrada de artigos têxteis oriundos do exterior, pela concentração dos países europeus e Estados Unidos no esforço da guerra, funcionou como elemento de estímulo para o crescimento da indústria brasileira (SINDIMALHAS, 2004).

Atualmente, segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), as indústrias têxteis são de grande importância para a economia nacional, sendo que as regiões sul e sudeste ocupam a posição de maiores produtores têxteis do Brasil. Conforme explicado por Kunz *et al.* (2002), o processo empregado na indústria têxtil consome um alto teor de água, o que faz com que a indústria seja geradora de grande quantidade de despejos altamente poluidores, uma vez que os efluentes têxteis contêm elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Os processos e, conseqüentemente, os despejos que são gerados pela indústria têxtil variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e de acordo com a demanda do consumo por outros

tipos de tecidos e cores. Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim, em cada etapa, diferentes despejos (HASSEMER e SENZ, 2002).

Segundo Ratna e Padhi (2012), o efluente têxtil possui em sua composição uma alta carga de corantes e aditivos, adicionados durante o processo de coloração dos tecidos, devido ao fato de serem projetados para ter alta solubilidade em água, são difíceis de remover durante os processos convencionais de tratamento de efluentes. Esses corantes e aditivos podem sofrer degradação e formar outros produtos tóxicos e cancerígenos, se tornando um risco para os organismos vivos presentes no corpo hídrico de despejo, pois quando presentes na água tendem a afetar o ecossistema do local onde o efluente é despejado.

A preocupação com os problemas ambientais tem crescido cada vez mais, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Nas últimas décadas, são diversos os problemas apontados, e destacam-se os problemas de escassez e contaminação de água (TUNDISI, 2008).

As atividades empregadas nos processos que envolvem o tingimento originam problemas devido ao despejo inadequado dos efluentes gerados. Os efluentes destas indústrias, se não tratados convenientemente antes de serem lançados em águas naturais, são capazes de atingir reservatórios e estações de água, sendo uma das maiores preocupações ecológicas (IMMICH, 2006).

As resoluções foram criadas com o intuito de controlar e regulamentar o lançamento de efluentes, algumas nacionais como a Resolução nº 357 de 2005 e a Resolução nº 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e outras de âmbito estaduais, como a Resolução nº 070 de 2009 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) referente ao estado do Paraná.

A fim de controlar a poluição gerada pelos efluentes têxteis e adequar estes aos limites impostos pela legislação, as indústrias optaram pelo uso de tecnologias de tratamento de despejos, dentre as quais podem ser citadas técnicas físico-químicas e a eletrocoagulação.

Assim, as técnicas de eletrocoagulação são uma alternativa viável, uma vez que apresentam uma boa eficiência com consumo baixo de produtos químicos a ser utilizados e de energia, quando comparado com o processo de floculação tradicional e coagulação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Comparar o processo de tratamento de efluente têxtil por eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox e por coagulação e floculação utilizando o coagulação utilizando coagulante químico PAC (policloreto de alumínio), no tratamento de efluentes têxteis líquidos de uma lavanderia de jeans do interior do estado do Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o efluente têxtil já coletado, a fim de obter os parâmetros característicos do mesmo antes de aplicar o tratamento;
- Aplicar o processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inoxidável no efluente têxtil;
- Analisar o efluente tratado, a fim de obter os parâmetros característicos do mesmo pós-tratamento;
- Comparar os resultados obtidos com os de PAC já realizados em trabalhos previamente publicados.

3 JUSTIFICATIVA

A crescente urbanização e industrialização provocaram um aumento da demanda da água que, complementada a um uso inadequado e a falta de tratamento, resultou em uma das maiores discussões globais: os problemas relacionados aos recursos hídricos, entre eles, a escassez de água.

Segundo Azevedo (1997), o setor têxtil foi instalado no Brasil desde o século XIX, sendo assim, um dos segmentos mais tradicionais da economia brasileira. Hassemer e Senz (2002) afirmam que a indústria têxtil consome aproximadamente 100 m³ de água para cada tonelada de tecido produzido. Conforme a Associação Brasileira de Indústria Têxtil e Confecções - ABIT (2013), “a produção mundial de fios, tecidos, malhas e confeccionados foi de 76 milhões de toneladas em 2010”, o que gerou um consumo de água de 7,6 bilhões m³. De acordo com os estudos de Beltrame (2000), o efluente têxtil possui uma alta carga poluidora, uma vez que apresenta em suas composições sulfetos, cloro, cloretos, cianetos, fenóis, óleos e graxas; e alguns metais pesados como cádmio, cobre, chumbo, cromo, estanho, ferro, zinco e níquel.

Outro item que gera uma carga poluidora ao efluente são os corantes. O mesmo pode concentrar até 50% dos corantes que não se fixam nas fibras do tecido durante o tingimento. A poluição da água não se limita apenas a visual, mas também abrange alterações em ciclos biológicos e possíveis problemas relacionados à saúde física (FRANCO, 2009; KUNZ *et al.*, 2002).

São variados os tipos de tratamentos que podem ser aplicados a um efluente têxtil para eliminar as suas propriedades poluentes e reduzir a sua toxicidade. Dentre esses tratamentos podem-se citar, o processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox e o processo mecânico de coagulação e floculação utilizando o coagulante químico PAC (policloreto de alumínio) (SOUZA, *et al.* 2016).

Este trabalho se justifica na comparação de dois métodos de tratamento de efluente têxtil, sendo um deles convencional e já aplicado no mercado (coagulação; floculação e decantação) e outro um método alternativo ainda em teste (eletrocoagulação) quanto a sua eficiência.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Indústria Têxtil

Segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2016), a indústria têxtil, uma das indústrias mais tradicionais da economia brasileira, teve sua consolidação entre a segunda metade do século XIX e as primeiras décadas do século XX, estimulada pela Primeira Guerra Mundial.

Conforme Franco (2009), no século XX, houve um crescimento das atividades industriais, o que resultou no desenvolvimento de vários processos de produção e o surgimento de novos produtos em todas as linhas de produção, inclusive na têxtil. Devido ao aumento da necessidade de consumo da sociedade, tais processos e produtos tiveram seu crescimento estimulado; o que resultou no surgimento de novas tendências, cores e estampas diversificadas.

O setor têxtil tem uma importância fundamental para a economia do país, em razão da alta taxa de empregos que proporciona, e devido ao alto volume de produção e exportação. A participação do setor no PIB da Indústria de Transformação, segundo o ABIT, foi em 2011 de 5,03%, e a sua participação nos empregos, no mesmo período, foi de 12,91%. Conforme os dados gerais publicados pela ABIT em 2017, o setor têxtil produziu em média 1,7 milhões de toneladas de tecidos em geral, faturou US\$ 37 bilhões e exportou US\$ 2,2 bilhões em 2016. Os dados mostram ainda que há instaladas 29 mil empresas (formais) do setor no país, e o Brasil ocupa o quinto lugar de maior produtor têxtil do mundo.

A indústria têxtil é caracterizada por um alto consumo de água durante o seu processo de produção, o consumo de água é de 100 m³ por tonelada de tecido processado. Em razão disso, a quantidade de efluentes têxteis gerados é alta, e a mesma possui elevada carga orgânica, coloração acentuada e compostos químicos tóxicos (HASSEMER e SENZ, 2002). Freitas (2002) ressalta o setor de beneficiamento na produção de efluentes poluidores.

Conforme Immich (2006), devido à utilização de vários produtos químicos, os efluentes possuem substâncias contaminantes, que podem causar prejuízos ao meio ambiente quando o despejo não for devidamente tratado e destinado corretamente.

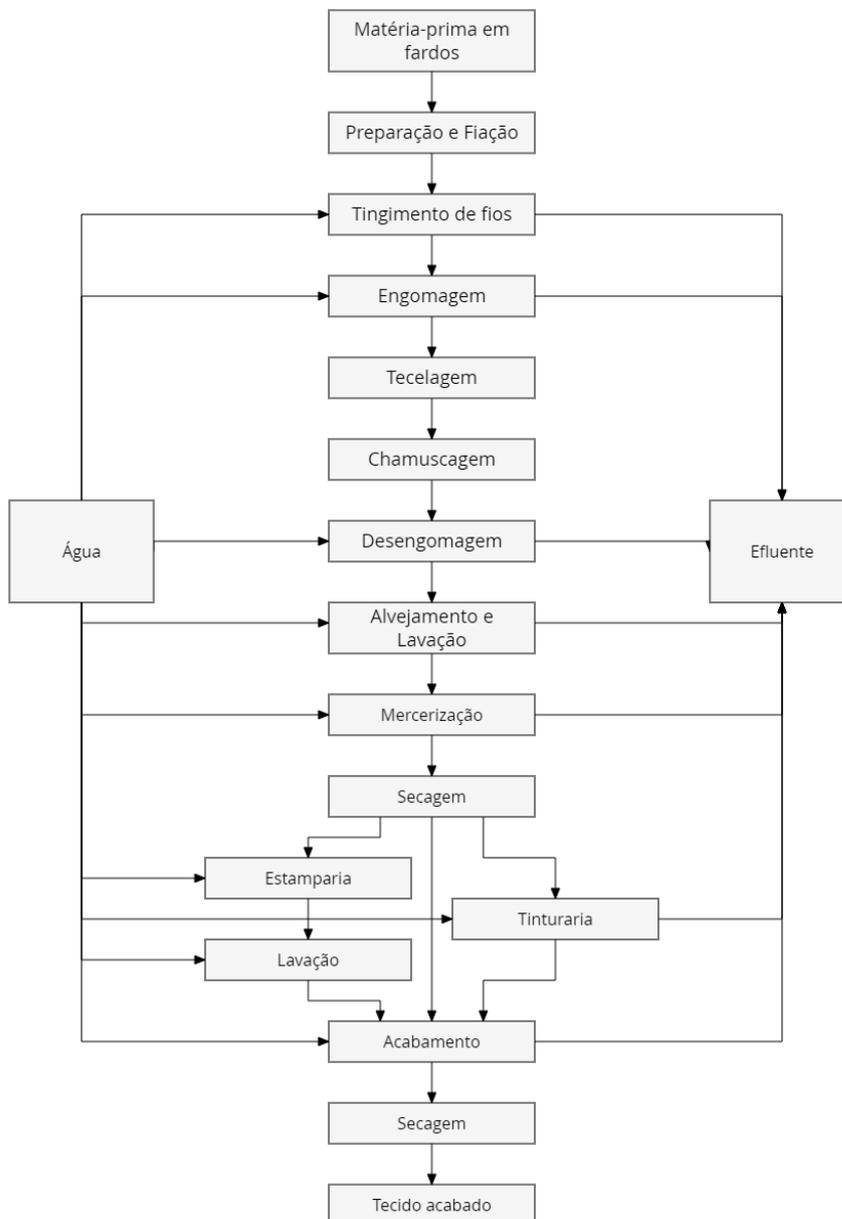
A água tem como função na indústria têxtil transportar os produtos químicos que serão utilizados e que entram no processo produtivo têxtil, e é usada, também, a

fim de retirar do excesso daqueles produtos químicos considerados indesejáveis para o substrato têxtil. (CAMBOIM, 2010)

A fim de obter o tecido como produto final, é realizado um processo produtivo que se inicia com a matéria-prima, fibras, seguido pela fiação, tecelagem plana ou malharia e, por último, o acabamento (IMMICH, 2006).

A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão, e retrata quais as etapas apresentam um consumo de água e saída de efluente em níveis significativos.

Figura 1 – Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão



Fonte: Adaptado de Peres e Abrahão (1999).

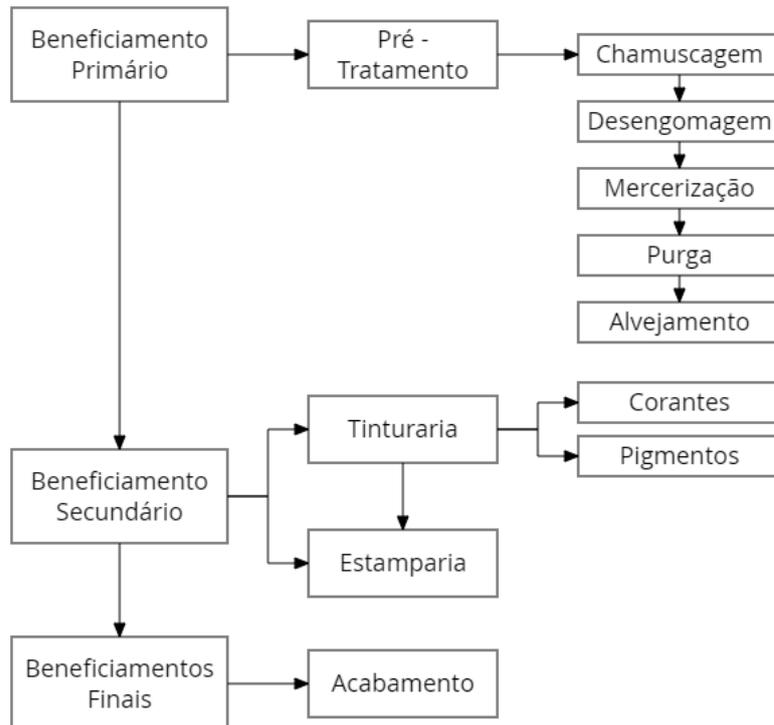
4.1.1 Processo de Beneficiamento do Tecido

Freitas (2002) caracteriza o processo de beneficiamento têxtil como um conjunto de processos aplicados aos materiais têxteis com o objetivo de transformá-los, a partir do estado bruto, em artigos brancos, tintos, estampados e acabados.

Assim, são compreendidas no processo de beneficiamento todas as etapas de transformação do tecido relacionadas à aparência, aumento da resistência, toque, capacidade de absorção de água. Os efluentes têxteis são gerados durante esse procedimento (BELTRAME, 2000).

O processo de beneficiamento do tecido é composto por diversas etapas: chamoscagem, desengomagem, mercerização, purga, alveamento, tinturaria, estamparia e acabamento. Alguns autores como Beltrame (2000), classificam o processo em 4 fases: Pré-tratamento, que engloba as cinco primeiras etapas supracitadas; Tinturaria, Estamparia e Acabamento Final. Outros autores como Immich (2006), dividem o beneficiamento em 3 etapas: Beneficiamento primário, o qual é composto pelo pré-tratamento e seus estágios; Beneficiamento secundário, composto pelo tingimento e estamparia; e por fim Beneficiamentos finais.

A Figura 2 apresenta as etapas do beneficiamento.

Figura 2 – Fluxograma do processo de beneficiamento

Fonte: Beltrame (2000); Immich (2006).

4.1.1.1 Beneficiamento primário ou pré-tratamento

A etapa corresponde aos tratamentos “para eliminar óleos, ceras, pigmentos, marcações e sujeiras adquiridas durante os processos de fiação e tecelagem” dos tecidos (IMMICH, 2006). Segundo Beltrame (2000), o pré-tratamento é composto basicamente pelos procedimentos que tem por finalidade eliminar as impurezas do produto têxtil, a fim de prepará-lo para os processos químicos subsequentes.

4.1.1.1.1 Chamuscagem

Efetuada em chamuscadeiras, é nessa etapa que ocorre a queima de fibrilas (pontas de fibras salientes) de fios e tecidos, a fim de obter um aspecto mais uniforme e uma superfície fique mais lisa (ABQCT, 2007). Não são gerados efluentes nesse procedimento.

4.1.1.1.2 Desengomagem

A finalidade dessa fase é eliminar os engomantes, que adicionados anteriormente a fim de aumentar a rigidez e resistência dos fios, formam uma película sobre os mesmos, interferindo assim na capacidade de absorção do material (ABQCT, 2007).

A etapa de desengomagem depende do tipo de engomagem utilizada: se a goma utilizada conter amido, será usado amilase ou peróxidos para degradação da mesma; caso forem utilizados produtos solúveis em água, a desengomagem ocorre por lavagem do tecido com detergentes ou outros tipos de tensoativos.

4.1.1.1.3 Mercerização

Criada por John Mercer em 1848, a mercerização consiste na aplicação a frio de soda cáustica em solução concentrada (D'URSO, 2015).

Beltrame (2000) lista entre as finalidades da etapa: conferir ao produto têxtil maior brilho, estabilidade, resistência e absorção de água e corantes e uma superfície mais lisa.

Pode ocorrer antes ou depois das demais operações dentro do pré-tratamento, entretanto é entre a desengomagem e a purga que são observadas mais vantagens, dentre estas a dispensa da série de enxagues e a neutralização final com ácido acético.

4.1.1.1.4 Purga ou Cozimento Alcalino

A ABQTC (2007) define como purga: “termo empregado para designar a operação na qual ocorre a limpeza a úmido que possuem grande carga de impurezas, necessitando assim de álcalis fortes”.

O procedimento de cozimento alcalino tem por finalidade retirar do produto têxtil características oleosas, como ceras e graxas adquiridas durante o processo de tecelagem. Os compostos oleosos dificultam a ação da água quando introduzida no processo (NEVES *et al.*, 2000).

Segundo estudos de Immich (2006), entre os produtos químicos utilizados no processo de purga encontram-se os álcalis, usados a fim de saponificar óleos

naturais; e surfactantes, conhecidos também como tensoativas, para emulsionar e suspender impurezas não saponificáveis. No processo de purga, a fibra se torna mais absorvente, o que melhora a eficácia dos tratamentos seguintes, tais como o alveamento e tingimento. Finalizado a etapa do banho de purga, o tecido é submetido novamente a lavagens a quente e a frio, com a finalidade de remover o álcali residual.

4.1.1.1.5 Alveamento

O alveamento tem como objetivo remover a “coloração amarelada natural das fibras” do substrato têxtil, assim como eliminar ceras, graxas e substâncias solúveis existentes, o que resulta em um aumento da brancura do substrato; a fim de prepará-lo para receber coloração, durante as etapas de tingimento ou estamparia. Essa etapa se faz necessária se o tecido acabado for de coloração branca ou tinto em cores claras (ABQCT, 2007; JULIANO e PACHECHO, 2008).

4.1.1.2 Beneficiamento secundário

O beneficiamento secundário engloba todos os processos relacionados à atribuição de cor ao substrato têxtil.

4.1.1.2.1 Tinturaria

É o processo de aplicação de corantes e pigmentos a fios e tecidos, a fim de modificar a sua coloração (BELTRAME, 2000). Freitas (2002) completa ao afirmar que durante essa etapa é utilizada “uma ampla gama de corantes, técnicas e equipamentos”.

Segundo estudos de Beltrame (2000), os corantes são pequenas moléculas que são compostas principalmente por dois elementos: o cromóforo, responsável pela cor e o grupo funcional, que liga o corante à fibra. A autora ainda classifica os corantes em: ácidos; básicos; complexo metálico 1:1 e 1:2 para lã; ao cromo; dispersos; diretos ou substantivos; azóicos ou naftóis; à cuba ou à tinta; ao enxofre; reativos; e pigmentos.

A autora declara que os pigmentos diferem dos corantes devido ao fato de precisarem ser acrescidos de ligantes para aderir às fibras, uma vez que não apresentam afinidade seja física ou química com as mesmas.

4.1.1.2.2 Estamparia

Em contraposição ao tingimento, a estamparia produz cores ou desenhos por toda ou em algum ponto da extensão física do produto têxtil. Esse tipo de beneficiamento exige uma variedade de técnicas e tipos de equipamentos, uma vez que cada cor deve ser aplicada separadamente (BELTRAME, 2000; FREITAS, 2002).

4.1.1.3 Beneficiamento final ou acabamento

Essa etapa pode ser realizada por tratamento mecânico ou químico no substrato têxtil, a fim de melhorar suas características (FREITAS, 2002).

Beltrame (2000) lista alguns resultados esperados na etapa, e as resinas insolúveis aplicadas para a obtenção dos mesmos, entre elas: proporcionar um aspecto de cetim, ao utilizar ácidos graxos ou ceras; aumentar a resistência, com a aplicação de resina polimérica; utilizar um antibactericida a base de formol, a fim de evitar ataques microbiológicos; impermeabilização; etc.

4.1.2 Corantes utilizados na indústria têxtil para beneficiamento

Guaratini e Zanoni (1999) afirmam que os corantes podem ser classificados de acordo com sua composição ou a partir do método pelo qual ele é fixado a fibra. As autoras, assim como Beltrame (2000), apresentam alguns dos principais corantes utilizados pela indústria têxtil:

4.1.2.1 Corantes ácidos

De grande importância para coloração em fibras como lã e seda, esses corantes correspondem a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos, e caracterizam-se por substâncias com estrutura química

baseada em compostos que fornecem uma ampla faixa de cloração e grau de fixação, entre os quais aparecem o azo, antraquinona, nitroso, entre outros (GUARATINI & ZANONI, 1999).

4.1.2.2 Corantes azoicos

Tais compostos coloridos são insolúveis em água, sua aplicação é diretamente sobre a fibra durante o processo de coloração, o que permite um tingimento com alto padrão de fixação e alta resistência à luz e à umidade (GUARATINI & ZANONI, 1999).

4.1.2.3 Corantes diretos

Os corantes dessa classe apresentam grande afinidade com fibras celulósicas em geral e ligam-se às fibras através de ligações de Van der Waals, que são ligações com menor energia de ligação. Tais corantes são extremamente solúveis em água, em razão disso são normalmente aplicados na presença de um eletrólito (cloreto de sódio ou sulfato de sódio) que aumentam a força iônica do meio, e facilita a aproximação das moléculas de corante com a fibra (GUARATINI & ZANONI, 1999).

4.1.2.4 Corantes dispersos

Formados por uma classe de corantes não-iônicos, tais compostos são insolúveis em águas, e são aplicados em fibras de celulose e fibras hidrofóbicas através de suspensão. Geralmente, no processo de tingimento com esses corantes, são utilizados agentes dispersantes que estabilizam a suspensão do corante, e facilita assim o contato entre o corante e a fibra hidrofóbica (JULIANO e PACHECHO, 2008).

4.1.2.5 Corantes reativos

Esses corantes se integram à estrutura molecular da fibra ao compartilhar elétrons com a mesma; uma vez o grupo eletrofílico (reativo) do corante é capaz de

formar uma ligação covalente com os grupos hidroxila das fibras celulósicas, com os grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas (JULIANO e PACHECHO, 2008).

4.1.2.6 Corantes de enxofre

Após a aplicação dessa classe de corantes, os mesmos se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são insolúveis em água. São geralmente utilizados no tingimento de fibras celulósicas, a fim de obter cores como: preto, verde oliva, azul marinho, marrom. Apesar de apresentar uma boa fixação, os resíduos que esses corantes geram são altamente tóxicos (UEDA, 2006). Beltrame (2000) completa ao afirmar que existe uma tendência mundial a substituir o uso dos corantes de enxofre pelos sulfurosos ecológicos, que são livres ou pobres em sulfeto.

4.1.2.7 Corantes à cuba

O tingimento com os corantes “à cuba” é geralmente feito por impregnação, e apesar de serem insolúveis em água, através da redução com hidrossulfito de sódio, em meio alcalino, os corantes “à cuba” se transforma em uma substância solúvel e que têm afinidade com a fibra celulósica.

As autoras Guaratini e Zanoni (1999) completam ao dizer que “os corantes a cuba constituem uma importante classe baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides”. Afirmam ainda que apresentam excelentes propriedades de fixação e são muito utilizados para tingimento de algodão. Por fim ressaltam que o custo da produção desses corantes é elevado, pois a produção química de hidrossulfito de sódio por causar problemas ecológicos.

4.2 Efluente Têxtil

A indústria têxtil é um dos maiores setores do mundo e se caracteriza por requerer de uma grande quantidade de água, corantes e produtos químicos que são utilizados durante ao longo das etapas envolvidas no processo produtivo (SANIN, 1997). Immich (2006) completa “o alto consumo de água demandado pela indústria

têxtil é devido às operações de lavagem, tingimento e acabamento dos tecidos, bem como de lavagem de pisos e equipamentos”.

Quadros (2005) afirma em seus estudos que o efluente gerado tem uma composição variada, visto que é oriundo de vários processos, tais como: engomagem, purga, alvejamento, tingimento de cores variadas, estamparia, tratamentos enzimáticos e lavagens; esses processos por sua vez utilizam produtos com as mais variadas formulações. Entre os contaminantes listados pela autora, encontram-se dextrinas, graxas, álcoois, hidróxido de sódio, carbonato de sódio, cloreto de sódio, peróxido de hidrogênio, ácido acético, sulfato de sódio, corantes e pigmentos.

O Quadro 1 apresenta o volume de efluente gerado por etapa do processo de beneficiamento têxtil.

Quadro 1 – Quantidade de efluente gerado em cada etapa de beneficiamento têxtil

Origem dos despejos	Volume em m³/dia
Tingimento de fios	80
Engomagem	4
Desengomagem e lavagem	864
Purga e lavagem	1200
Mercerização e lavagem	1728
Estamparia	549
Tinturaria	37
Lavagem (ensaboadeira)	1350
Vaporaização	4
Total	6 854

Fonte: Braile e Cavalcanti (1993)

O efluente têxtil apresenta uma variação de DBO e DQO; como também possui elevada presença de cor e sólidos totais (ST), os quais se referem, em sua grande maioria, aos sólidos dissolvidos (SD). (BAÊTA, 2012).

Segundo os estudos de Hassemer e Senz (2002), os efluentes têxteis gerados pelas indústrias podem ser tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados), os quais, apesar de apresentar bons resultados na redução de carbono, possuem desvantagens como a alta produção de lodo e a necessidade de grandes áreas para implantação do processo de tratamento e de aterros sanitários industriais para despejo do lodo. As

autoras acrescentam que devido ao fato desses efluentes caracterizarem-se por uma grande variação de cargas, posto que durante a variação do processo industrial são utilizados corantes, tensoativos espessantes e produtos outros químicos diversos que tornam o efluente complexo, com altas concentrações de DBO e DQO, e com diferentes características de biodegradação.

Os efluentes de origem têxtil, principalmente os gerados pelas etapas produtivas que envolvem a adição de corantes, são altamente poluentes, de modo que quando os efluentes são despejados em grande escala, os mesmos se tornam um dos maiores problemas ambientais. O principal desafio enfrentado pelas indústrias têxteis é tratar seus resíduos de forma a reduzir a cor, a turbidez e a DQO destes efluentes, a fim de satisfazer as regulamentações ambientais (PERINI *et al.*, 2012).

É necessário ter o conhecimento sobre a natureza do efluente, a fim de desenvolver o projeto e a operação de uma planta de tratamento adequados. Ademais, o efluente a ser lançado deve estar de acordo com os limites permitidos pela legislação ambiental vigente (BELTRAME, 2000).

4.2.1 Característica dos efluentes têxtil

Os efluentes apresentam substâncias poluidoras, essas podem ser classificadas da seguinte forma:

4.2.1.1 Sólidos Totais

A determinação de sólidos totais envolve os compostos particulados e dissolvidos, as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas em um líquido.

Esse parâmetro determina a qualidade da água e fornece boas informações sobre a quantidade de resíduos presentes nos efluentes, avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume (BELTRAME, 2000).

4.2.1.2 Sólidos Suspensos

Segundo Beltrame (2000), os sólidos suspensos são oriundos da porção da amostra do efluente que fica retida no filtro de fibra de vidro padrão ao ser submetida à filtração. A autora completa afirmando que em um efluente, os sólidos que não são filtráveis podem permanecer em suspensão, e após um período de tempo se sedimentam. Durante o período em que se encontram em suspensão, a turbidez da água aumenta, o que interfere na fotossíntese dos organismos presentes no corpo hídrico. Ao sedimentar, formam uma camada de lodo no leito do rio ou lago e reduz os espaços destinados à vida de determinados organismos.

4.2.1.3 Metais Pesados

Os metais pesados presentes nos efluentes têxteis originam-se dos corantes, principalmente dos corantes dispersos (SOUZA *et al.*, 2016).

Couto Júnior (2011) afirma que os metais são analisados de forma elementar durante o tratamento de efluente. Os metais presentes que apresam toxicidade são: alumínio; cobre; cromo; chumbo; estanho; níquel; mercúrio; vanádio; zinco. O autor completa ao relacionar o teor de toxicidade do metal com os números de oxidação que o mesmo apresenta (cromo trivalente e hexavalente, etc).

Devido ao alto padrão técnico disponível atualmente, a carga de efluentes têxteis por metais pesados é pouca. A presença de cádmio (Cd) é praticamente ausente, e a do mercúrio em pouca quantidade. Dependendo do processo de tingimento aplicado, o cromo, cobalto e cobre podem chegar aos efluentes em níveis abaixo de 1 m.L^{-1} ; e alguns processos de acabamento ainda usam zinco (STRÖHER, 2008).

4.2.1.4 Detergentes e agentes tensoativos

Apesar de muitas dessas substâncias não serem biodegradáveis, elas são usadas como detergentes para lavagem, emulsificadores, agentes umidificantes, agentes de correção no tingimento e agentes para aumentar a lisura e maciez do tecido. Os agentes tensoativos, entre eles detergentes, emulsionantes e

dispersantes, podem ser os principais responsáveis pela toxicidade dos efluentes têxteis (STRÖHER, 2008).

Os tipos mais usados são o ABS (alquil benzeno sulfonatos) nos quais as moléculas se caracterizam por ligações químicas do tipo sulfônico, em que o enxofre se encontra diretamente ligado a um carbono da cadeia orgânica, altamente resistente à ação química ou biológica (BELTRAME, 2000). A autora completa, “mesmo os detergentes biodegradáveis apresentam o inconveniente de possuírem fósforo na sua composição, o que favorece o processo de eutrofização”.

4.2.1.5 Corantes

Estima-se que a produção mundial de corantes e pigmentos esteja entre 750.000 e 800.000 toneladas/ ano, e que o consumo nacional seja de 26.500 toneladas/ ano. Desta quantidade em média 20% dos corantes têxteis aplicados são descartados em efluentes, em virtude da não fixação dos corantes à fibra têxtil durante o processo produtivo têxtil (DEL MONEGO, 2007).

A coloração acentuada é a característica mais notória do efluente têxtil. O problema da cor está associado aos corantes, especialmente aos solúveis em água que são adsorvidos em quantidade insignificante e, portanto, saem nos efluentes das estações de tratamento. Sua concentração é menor do que a de muitos outros produtos químicos encontrados nos efluentes, entretanto sua cor é perceptível até a baixas concentrações. Os corantes são moléculas orgânicas altamente estruturadas e de difícil degradação biológica (HASSEMER, 2002).

A descontaminação dos efluentes está entre os maiores impasses ambiental, uma vez que os corantes não pertencem a uma mesma classe de compostos químicos, os quais requerem métodos específicos para identificação, quantificação e degradação (PERINI *et al.*, 2012).

4.2.1.6 Temperatura e pH

Dependendo dos colorantes e pigmentos utilizados, os resíduos têxteis podem apresentar alterações intensas na coloração, na temperatura (acima de 40°C) e no pH. Os efluentes provenientes de um processo com lã mostram,

geralmente, um pH baixo (ácido), enquanto processos com algodão têm efluentes com pH altos (alcalino) (STÖHER, 2008).

Segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005 e a Resolução nº 430/2011, a temperatura do efluente a ser lançado no corpo hídrico deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação da temperatura do corpo receptor não deverá ultrapassar a 3°C na zona de mistura. As resoluções ainda apresentam uma limitação quanto ao pH do efluente a ser lançado, o mesmo de ter seu pH entre 5 e 9.

4.3 CONAMA

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), criado pela Política Nacional do Meio Ambiente, é um órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente). Tal conselho pode produzir atos, entre os quais: decisão, moção, proposição, recomendação e resolução, este último o instrumento principal e mais conhecido. São por meio das resoluções que são estabelecidas normas, critério e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, a fim do uso racional dos recursos ambientais.

4.3.1 Resolução nº 357/2005

A resolução: “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.” (BRASIL, 2005).

Em outras palavras, a resolução foi criada para estabelecer condições de qualidade para a classificação dos corpos hídricos em território brasileiro; e fixa valores limites superiores ou inferiores para as treze classificações da água: doce, salobra e salina. Ela traz em seu documento uma tabela nomeada de “Tabela X”, que limita as propriedades do efluente lançado.

4.3.2 Resolução nº 430/2011

O art. 44 da Resolução nº 357/2005 prevê e explica a necessidade de complementação das condições e padrões de lançamentos de efluentes definidos na mesma; o qual foi um dos objetos da elaboração da Resolução nº 430/2011.

A resolução dispõe sobre os parâmetros, condições, padrões e diretrizes para gestão de efluentes em corpos d'águas receptoras; e ainda alterou e complementou parcialmente a Resolução nº 357/2005. Uma das alterações feitas foi na denominada "Tabela X", modificando assim os parâmetros limitadores das propriedades dos efluentes lançados.

O Anexo A mostra os limites apresentados nas duas resoluções citadas acima, e compara as modificações efetuadas.

A Tabela 1 mostra outras condições apresentadas pelas resoluções.

Tabela 1 – Outras condições para lançamento de efluentes líquidos

Parâmetros	Unidade	Valores Máximos	
		Resolução nº 357/2005	Resolução nº 430/2011
pH	-	5,0 a 9,0	5,0 a 9,0
Temperatura	°C	< 40	< 40
Material	mg/L	1,0	1,0
DBO	mg/L	120	120
Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas)	mg/L	20 (minerais)	100
		50 (vegetais e gorduras animais)	
Material flutuante	-	ausente	ausente

Fonte: Adaptado de CONAMA Resolução nº357/2005 e Resolução nº430/2011

4.4 CEMA

O Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) é um órgão superior de caráter colegiado, consultivo, normativo e deliberativo, e é integrante do SISAMA. No Estado do Paraná, foi criado pela Lei Estadual nº 7.978/84 e disposto no Decreto Estadual nº 4.447/01. Dentre as competências do CEMA, está a deliberação sobre normas, critérios técnicos, padrões de proteção e conservação do meio ambiente. (BRASIL, 2009)

4.4.1 Resolução nº 070/2009

A Resolução trata sobre o licenciamento ambiental e estabelece condições e critérios além de dar outras providências para empreendimentos industriais. (BRASIL, 2009)

No Anexo 7 da Resolução nº 070/2009 estão estabelecidos os padrões de parâmetros como DBO, DQO, compostos químicos e toxicidades para o lançamento de efluentes líquidos oriundos de empreendimentos industriais em corpos receptores.

A Tabela 2 apresenta os padrões para o lançamento de efluentes líquidos estabelecidos pela Resolução.

Tabela 2 – Padrões para lançamento de efluentes líquidos oriundos de tinturaria, indústrias têxteis e lavanderias industriais em corpos receptores

Parâmetros	Unidade	Valores Máximos
DBO	mg/L	50
DQO	mg/L	200
Cromo total	mg/L Cr	0,5
Cádmio total	mg/L Cd	0,2
Cianeto total	mg/L CN	0,2
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	15
Níquel total	mg/L Ni	2
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	1
Zinco Total	mg/L Zn	5
Toxicidade aguda	-	FTd para <i>Daphnia magna</i> : 8 (12,5%) FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8 (12,5%)

Fonte: Adaptado de CEMA Resolução nº 070/2009.

4.4.2 Resolução nº 072/2009

É importante salientar que a Resolução nº 070/2009 possui uma atualização, denominada Resolução nº 072/2009; entretanto esta não altera o Anexo 7 da primeira resolução citada.

4.5 Métodos de Tratamento do Efluente Têxtil

Beltrame (2000) afirma que após a caracterização dos efluentes, ou seja, após os parâmetros analíticos obtidos dos efluentes forem comparados com a legislação vigente, será necessário à aplicação de um tratamento adequado aos rejeitos, a fim de minimizar os resíduos presentes no efluente.

Conforme os estudos de Freitas (2002), a fim de controlar a poluição gerada pelos efluentes têxteis, as indústrias optaram pelo uso de tecnologias de tratamento de despejos, que representam um tipo de despesa, uma vez que são investimentos improdutivos suplementares; e ainda apresentam custos elevados de operação, os quais são diretamente proporcionais ao tempo de uso das instalações.

O efluente têxtil contém alto teor de sólidos suspensos, alcalinidade e corantes. Para o tratamento desse efluente são utilizados meios que visam à remoção das partículas poluentes mediante operações, sejam estas físicas, químicas e biológicas ou a combinação das três últimas, com intuito de reduzir os sólidos totais, eliminar a cor e remover as substâncias tóxicas presentes (FREITAS, 2002).

Segundo Lagunas (1998, apud Quadros, 2005), os tipos de tratamento podem ser separados como:

- Métodos Físicos

É um tratamento inicial onde os resíduos maiores do efluente são removidos, uma vez que o método físico visa proteger as tubulações e equipamentos dos processos seguintes. Nesse método são utilizadas grades, peneiras simples ou rotativas, filtros, tanques de remoção de óleos e graxas, decantadores, entre outros.

- Métodos Físico-Químicos

São utilizados na remoção de matéria orgânica e coloidal, cor, turbidez, odores, ácidos e álcalis. O processo de neutralização dos despejos é uma etapa importante, uma vez que a variação do pH influencia nos tratamentos posteriores. Através da decantação das partículas suspensas no efluente, objetiva-se obter um bom nível de redução da carga orgânica (DBO), temperatura e em alguns casos, coloração, a níveis aceitáveis para despejos conforme a legislação vigente. Os

processos físico-químicos mais usados são a coagulação, a floculação, a precipitação, a oxidação.

- Métodos Biológicos

Esses processos visam aproveitar o metabolismo dos seres vivos existente no corpo hídrico de despejo, que transformam a carga orgânica despejada em material celular. O problema relacionado ao despejo é que quando o efluente, não tratado devidamente, é depositado no corpo d'água ocorre um aumento de nutrientes e uma diminuição de oxigênio, causando assim um desequilíbrio. As estações de tratamento biológico procuram evitar esse desequilíbrio, ao remover a carga de nutrientes na própria estação.

Os processos de tratamento de efluentes podem ser classificados em primários ou mecânicos, secundários ou biológicos, e terciários ou físico-químicos (FREITAS, 2002).

O Quadro 2 apresenta as classificações de tratamento de efluentes.

Quadro 2 – Processos de tratamento de efluente

Tratamento	Tipo de processo	Operação unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/ Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/ Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Lagoas de estabilização Filtros biológicos
	Físico/ Químico	Carvão ativado
Terciário	Químico	Coagulação/ Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osiose reversa Evaporação

Fonte: Peres e Abrahão (1998, apud Freitas 2002).

4.5.1 O processo físico-químico

O processo de tratamento físico-químico de efluentes têxteis consiste na remoção de sólidos presentes nos resíduos e recepção dos mesmos por meio da introdução de produtos químicos coagulantes, seguido de uma mistura rápida a fim de dispersá-los, e posteriormente uma mistura lenta para a formação dos flocos sedimentáveis (MARTINS, 2014).

4.5.1.1 Coagulação, floculação e decantação

Segundo Martins (2014), os fenômenos de coagulação, floculação e decantação juntos são responsáveis pelo processo de tratamento de soluções aquosas, inclusive para água potável.

A coagulação consiste no processo de desestabilização das partículas coloidais suspensas, o processo é realizado pela atuação em conjunto das ações físicas e químicas. Para o processo de coagulação são necessárias duas etapas: a mistura rápida e a mistura lenta. O processo de mistura rápida tem por objetivo dissipar o coagulante visando o maior aproveitamento possível, desde que já tenha ocorrido a verificação de parâmetros como o pH, fator que interfere diretamente na formação dos coágulos. Após a desestabilização das partículas e formação dos coágulos, a qual se inicia a floculação, que ocorre na fase de mistura lenta.

A floculação consiste na agitação suave, a fim de que ocorram choques entre as partículas e que estas se aglomerem formando partículas maiores, os flocos. A floculação se caracteriza por uma operação unitária de clarificação, constituída por um conjunto de atividades físicas, nos quais se objetiva reduzir o número de partículas suspensas e coloidais na massa líquida, e visa à formação de flocos mais robustos que serão extraídos com mais facilidade posteriormente.

Ao adicionar determinados produtos químicos à água, após um período, ela se torna mais límpida. Os parâmetros de cor e turbidez melhoram devido à precipitação de coágulos, formados a partir da ionização desses produtos químicos, denominados coagulantes.

4.5.1.1.1 Coagulante policloreto de alumínio (PAC)

O policloreto de alumínio (PAC) é um coagulante inorgânico polimerizado, e é encontrado na forma de líquido de cor âmbar com aparência viscosa. O PAC é um coagulante muito eficiente na floculação em uma ampla faixa de pH e temperatura, devido ao grande volume e estrutura polimérica dos flocos produzidos.

O PAC é amplamente utilizado por ser um floculante químico recomendado para uso nas seguintes aplicações:

- Substitui com grande desempenho o sulfato de alumínio e cloreto férrico, aumentando a eficiência na decantação primária, melhora as características de filtração, e reduz a carga enviada ao tratamento biológico.
- Auxilia o processo de espessamento de lodo por centrífuga, filtro prensa ou de esteira.
- Clarificação de efluentes líquidos industriais e clarificação de água potável e águas para fins industriais.
- Floculante, coagulante e clarificante para processos industriais.

4.5.2 O processo eletrolítico

O fenômeno da eletrólise consiste em um processo onde dois eletrodos (condutores metálicos ou de primeira classe) são inseridos em uma solução aquosa (eletrólito ou condutor de segunda classe) e nesse sistema é aplicada uma corrente elétrica contínua, a qual ocasiona uma decomposição química da solução (eletrólito). Durante o processo eletrolítico, um eletrodo, ânodo, cede elétrons ao meio aquoso por meio de oxidação, e o outro recebe elétrons (cátodo) por meio de redução (RODRIGUES *et al.*, 2001).

Dentre os processos decorrentes do tratamento eletrolítico aplicados usualmente podem ser citadas a eletrocoagulação, eletrofloculação e a eletroflotação.

Na eletrocoagulação, o processo gera a desestabilização das moléculas presentes no efluente em tratamento, através de uma tensão aplicada aos eletrodos, assim espécies catiônicas são geradas pelo ânodo, e reagem com os coloides do efluente, o que resulta na flotação das mesmas em forma de hidróxidos (STRATE, 2014).

O processo de eletroflotação consiste na formação de bolhas de hidrogênio ou oxigênio, geradas devido à eletrólise, nas quais as partículas sólidas em suspensão no efluente se aderem o que resulta na flotação das partículas formando assim uma espuma flutuante (MOLLAH *et al.*, 2004).

A eletrofloculação é combinação dos dois processos eletrolíticos citados, eletrocoagulação e eletroflotação. (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

4.5.2.1 Fundamentos do processo de eletrofloculação

Os íons envolvidos no processo de eletrofloculação são gerados através da oxidação de eletrodos de aço, a oxidação é causada pela aplicação de corrente a esses eletrodos. Os íons são gerados no ânodo, enquanto o gás de hidrogênio surge do cátodo.

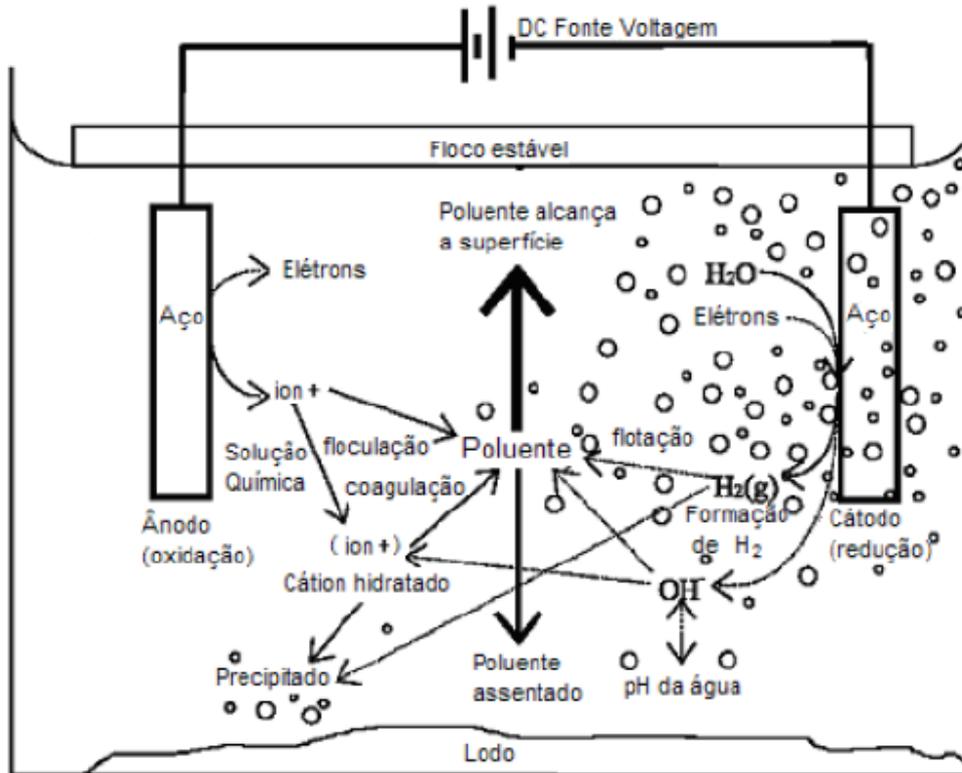
O processo de eletrofloculação ocorre dentro de um tanque reator, o qual funciona como uma célula eletrolítica, onde eletrodos do mesmo metal são interligados e colocados em paralelo em contato com o efluente, uma corrente elétrica é aplicada nos eletrodos o que gera reações de oxirredução.

O ânodo, eletrodo que sofre oxidação, gera os íons positivos, cátions, que coagulam as partículas suspensas do efluente. Dependendo do pH do efluente, os íons podem formar hidróxidos pouco solúveis em água, os quais detêm cargas residuais positivas e ao interagir com as partículas negativas do efluente formam flocos, resultando assim numa maior eficiência da retirada das partículas poluentes do efluente em tratamento.

No eletrodo que sofre redução, cátodo, são geradas bolhas de gás hidrogênio, as quais ajudam na floculação e flotação das partículas presentes no efluente, uma vez que os flocos e partículas se aderem ou são englobadas pelas bolhas formadas, assim as impurezas e partículas em suspensão são arrastadas até a superfície (BELAN, 2014).

A Figura 3 ilustra o processo de eletrofloculação.

Figura 3 – Interações observadas durante a eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço



Fonte: Adaptado de Henriques (2004).

Segundo estudos de Mollah *et al.* (2001), o processo eletrofloculação apresenta várias características peculiares, entre as quais:

- As bolhas de gás geradas durante o processo podem transportar as partículas poluentes para o topo do efluente, onde pode ser mais facilmente concentrada, coletada e removida;
- As lamas formadas pela EC tendem a ser de fácil despejo, uma vez que são compostas principalmente por hidróxidos. A técnica de eletrofloculação produz baixa quantidade de lodo;
- Os efluentes tratados através da eletrofloculação resultam em água potável, clara, incolor e inodora;
- A eletrofloculação produz efluentes com menos teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) em comparação aos tratamentos químicos. Caso a água tratada for reutilizada, o baixo nível de SDT contribui para um menor custo de tratamento água posterior; e

- O processo de eletrofloculação evita o uso de produtos químicos, assim não há problema em neutralizar o excesso dos mesmos, e não há possibilidade de uma poluição secundária causada por substâncias químicas adicionadas a altas concentrações, como ocorre no processo no processo de coagulação química.

4.5.2.2 Condutividade elétrica do efluente

A condutividade elétrica está associada à habilidade de uma solução aquosa transmitir corrente elétrica. Quanto maior a quantidade de íons condutores, maior será a condutividade e mais fácil será a passagem de corrente elétrica (CERQUEIRA, 2006; BELAN, 2014).

Segundo Souza *et al.* (2016), a condutividade elétrica pode ser ajustada, para aumentá-la é preciso adicionar ao sistema de tratamento compostos de sais.

A condutividade está diretamente relacionada também ao consumo energético do processo de eletrofloculação. A fim de reduzir o custo do processo, deve-se aumentar a condutividade da solução do efluente; quanto maior for a concentração de íons no efluente, maior será a capacidade de condução da corrente elétrica. (CERQUEIRA, 2006; BELAN, 2014; STRATE, 2014).

4.5.2.3 Sobrenadante

Ao longo do processo de eletrocoagulação é formado na superfície do efluente um tipo de espuma denominada sobrenadante. Nessa espuma encontram-se todos os contaminantes que são transportados através de bolhas para a superfície. Ao decorrer do tratamento do efluente, o sobrenadante aumenta gradativamente, com um aumento em sua espessura. É através dessa espuma que é possível observar a presença dos gases formados e flotados. Ao decorrer do processo de tratamento do efluente algumas partículas, principalmente os metais pesados, não conseguem flotar com o auxílio das bolhas e decantam.

Ao decorrer do processo, a região externa da camada de espuma se adensa devido aos escapes de gases formados inicialmente e que transportaram as partículas quanto pela ação do seu próprio peso, uma vez que as partículas poluentes são menos densas que o próprio efluente. Dessa forma, o sobrenadante

dificulta a liberação de novas quantidades de gases formados na eletrólise e, conseqüentemente, a espuma deve ser removida. A camada formada pelo sobrenadante é bastante rígida e provém da aglomeração das impurezas arrastadas pelos gases da eletrólise (CRESPILHO *et al.*, 2004).

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta e Preservação das Amostras

A coleta e preservação das amostras foram as mesmas aplicadas por Souza (2016). As amostras de efluente utilizadas são oriundas de uma lavanderia industrial instalada no município de Campo Mourão, noroeste do estado do Paraná. A lavanderia possui capacidade de beneficiar aproximadamente 7000 kg.dia^{-1} de tecidos, e são utilizados nos processos aproximadamente $100 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de água, nos períodos de trabalho com dois turnos diários de 4 horas cada (8 horas de funcionamento). A fim de diminuir o consumo de água, a empresa trata e reusa a água servida em dois, dos três enxagues tradicionais (o número de enxague altera conforme o beneficiamento empregado).

O efluente final possui em sua composição poluentes orgânicos e inorgânicos, além uma coloração escura. Por apresentar parâmetros fora dos limites apresentados pelo CONAMA nº 430/2011 e dos apresentados pelo CEMA nº 070/2010, o efluente gerado precisa de tratamento a fim de adequá-lo para despejo em corpo hídrico. O Rio do Campo, cujo afluente é o Rio Mourão que desagua no Rio Ivaí, é utilizado como corpo receptor deste efluente.

As amostras colhidas foram distribuídas em recipientes de 600 ml e de 5 litros e armazenadas em geladeiras (10°C), com propósito de preservar o máximo possível as características das amostras. Foram empregados os critérios de preservação, acondicionamento e prazo de análise em amostras de efluente recomendado por Camboim (2010).

A lavanderia trabalha com beneficiamento de jeans, e após a coleta, o efluente foi caracterizado em relação a sua coloração específica (PtCo APHA e Absorbância), pH, turbidez, sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e demanda biológica de oxigênio (DBO).

5.2 Tratamento Mecânico por Coagulação/ Floculação Utilizando o PAC

Como base de comparação deste trabalho foram adotados os métodos empregados por Rodrigues (2014) e Couto Júnior (2011). O equipamento utilizado foi o jar-test simples, Milan – Modelo JT 101/6, com regulador de rotação das hastes misturadoras, sendo o efluente em temperatura ambiente.

A metodologia consiste na adição de diferentes dosagens de coagulantes em uma amostra (500mL) de efluente em béqueres de prova, a fim de encontrar a concentração ótima do coagulante.

O tempo de mistura rápida (TMR) foi de 5 minutos, o de mistura lenta (TML) e o de sedimentação (SED) foram de quase 30 minutos de acordo com o utilizado por Couto Júnior (2011).

A fim de ocorrer a sedimentação do material, as amostras foram mantidas em repouso por um período de 20 a 30 minutos após a finalização do ensaio de coagulação/floculação. Após o repouso as amostras foram analisadas.

A determinação dos parâmetros: DQO, cor, turbidez, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), os ensaios foram realizados em duplicatas aplicando os métodos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), os resultados foram reportados com as unidades, $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ PtCo-APHA, FAU, e $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

5.3 Tratamento por Eletrofloculação

O tratamento do efluente têxtil por eletrofloculação assim como as análises das amostras foram executados em duplicata no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão.

5.3.1 Reator

Segundo Mollah *et al.* (2001), o reator eletrocoagulante, na sua forma mais simples, é constituído por duas placas metálicas, denominadas cátodo e ânodo,

ligadas a uma fonte de alimentação externa de corrente contínua e utilizam conexões elétricas em paralelo. As placas, as quais podem ser constituídas de um mesmo material ou pode ser de materiais diferentes, são conhecidas como eletrodos de sacrifício, uma vez que assim que o sistema for alimentado por corrente contínua, o material do ânodo sofrerá corrosão eletroquimicamente devido à oxidação, enquanto o cátodo será sujeito a passivação.

O reator de acrílico utilizado no trabalho possui diâmetro de 0,20 metros e 0,20 metros de altura, com um volume de 4 litros. Foram utilizados eletrodos de aço inoxidável com dimensões de 0,10 x 0,195 x 0,03 m, alimentados por uma fonte de energia contínua, fornecendo uma tensão de 0 a 50 V e intensidade de corrente de 0 a 5 A.

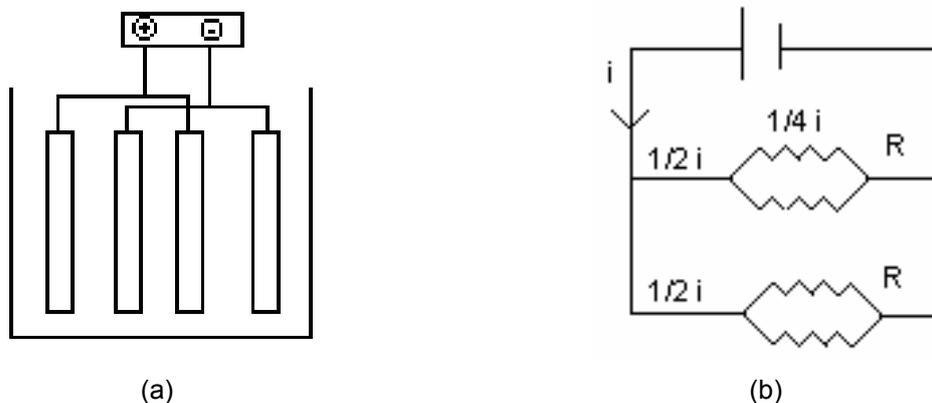
Para os ensaios, a fonte foi regulada com intensidade de corrente variando entre 1 A, 3 A e 5 A. Foi utilizado um amperímetro para averiguação da corrente fornecida durante todo o processo.

5.3.1.1 Arranjo monopolar

O arranjo dos eletrodos monopolares foi feito em paralelo, uma vez que a resistência nesse tipo de arranjo é menor que a no arranjo em série, ou seja, no arranjo em paralelo existe uma resistência menor do que no arranjo em série, assim é necessária uma menor diferença de potencial (ddp) para uma mesma corrente fluir em todos os eletrodos (MOLLAH *et al.*, 2004; CRESPILO, 2004).

A Figura 4 ilustra o arranjo monopolar em paralelo:

Figura 4 – Desenho ilustrativo dos arranjos dos eletrodos (a) Reator em batelada com eletrodos monopolares conectados em paralelo. (b) Diagrama elétrico do arranjo monopolar em paralelo

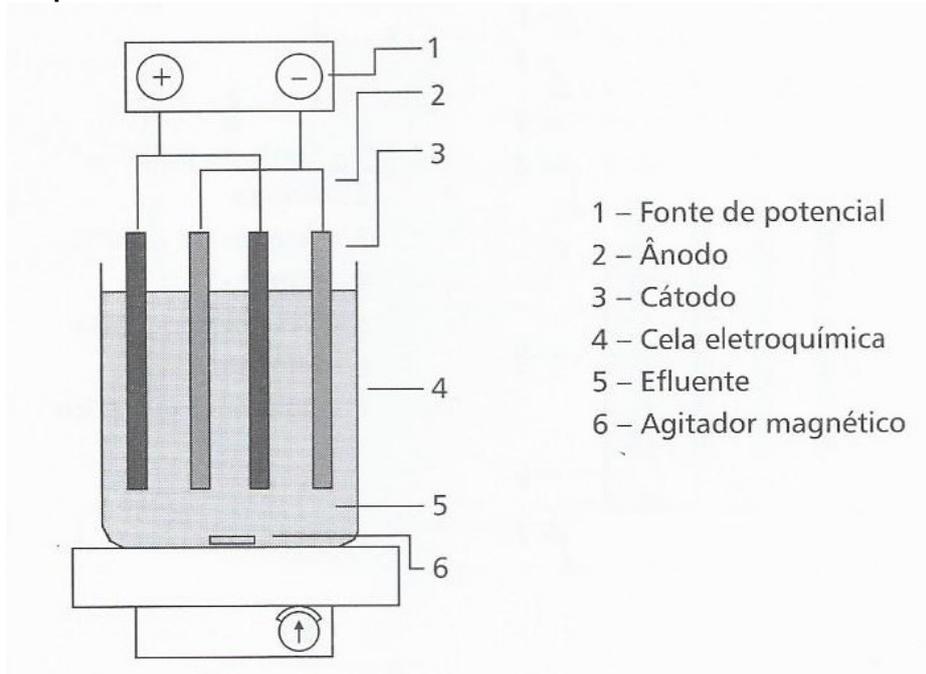


Fonte: MOLLAH *et al.* (2004).

No arranjo em paralelo, a corrente elétrica foi dividida entre as placas e o conjunto dos eletrodos de sacrifício se conecta internamente com cada um, sem que haja contato com eletrodos de fora.

A Figura 5 apresenta a configuração do conjunto.

Figura 5 – Desenho ilustrativo do reator de eletroflotação com eletrodos monopolares ligados em paralelo



Fonte: CRESPILO (2004).

5.3.1.2 Eletrodos

Foram utilizadas 6 placas de aço inoxidável de dimensões 0,195 x 0,10 x 0,003 m (altura x largura x espessura) para montar o sistema de eletrodos monopolares, mantendo a relação área do eletrodo x volume do efluente proposto por Valente *et al.* (2012).

As placas foram ligadas eletricamente em paralelo, o que resultou em 3 pares de eletrodos, e foram isoladas e distanciadas por anéis de borracha. Foi mantida uma conexão elétrica em paralelo do tipo monopolar entre os eletrodos para a aplicação da corrente contínua.

5.3.1.2.1 Desgaste dos eletrodos

Devido ao fato da eletrofloculação estar ligada à Primeira Lei de Faraday, e a massa do eletrodo consumida estar relacionada com a corrente aplicada. A massa consumida é definida pela equação 01 (CRESPILHO, 2004):

$$m_{el} = \frac{i \times t \times M}{F \times z} \quad (01)$$

onde:

m_{el} = massa do eletrodo consumida, em gramas;

i = corrente aplicada, em A;

t = tempo de aplicação da corrente, em s;

M = massa molar do elemento predominante no eletrodo, em g.mol^{-1} ;

Z = número de elétrons envolvidos na reação de oxidação do elemento do ânodo; e

F = constante de Faraday, sendo $F = 96.500 \text{ C.mol}^{-1}$;

Caso o modelo inclua p eletrodos de eletrólise, e seja alimentado por uma vazão Q , logo, a razão entre a massa do metal e a vazão será:

$$C = \frac{m (p - 1)}{Q_e} \quad (02)$$

onde:

C = razão entre a massa do metal dissolvido e a vazão de alimentação, em Kg.h.m^{-3} ;

Q_e = vazão de alimentação do reator, em $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

p = número de eletrodos; e

m = quantidade teórica de metais dissolvidos, em kg;

5.3.1.2.2 Espaçamento entre eletrodos

Segundo Pereira (2007), quanto maior for a distância entre os eletrodos, maior deverá ser a diferença de potencial (ddp) aplicada, uma vez que a solução possui resistividade à passagem de corrente elétrica. Assim, a distância entre os eletrodos varia de acordo com as características do efluente, a fim de obter uma melhor eficiência do processo.

Para os ensaios deste trabalho, o espaçamento entre eletrodos foi variado em 10 mm, 20 mm e 30 mm, a fim de se obter o espaçamento ótimo de tratamento.

5.4 Análises Físico-Químicas

5.4.1 Temperatura

O aumento da temperatura da solução contribui para melhorar a eficiência do tratamento aplicado, visto que com o aumento da temperatura há um aumento da movimentação dos íons produzidos, que por sua vez, facilita a colisão dos íons com o coagulante formado (DANESHVAR *et al.*, 2014).

O experimento utilizou o efluente têxtil em temperatura ambiente, e o mesmo saiu numa temperatura de 40 a 47°C.

5.4.2 Alcalinidade e acidez volátil

A alcalinidade e acidez são determinados pelo valor do pH:

$$\text{pH} \begin{cases} <7, & \text{solução ácida} \\ =7, & \text{solução neutra} \\ >7, & \text{solução alcalina} \end{cases} \quad (03)$$

Camboim (2010) afirma que “praticamente em todas as fases de fornecimento de água e tratamento de água residuais dependem do pH da água”.

Foi utilizado o método ponteciométrico para realizar as medidas de pH, no presente trabalho as medidas foram aferidas por meio do equipamento pHmetro. Este equipamento é composto por um eletrodo ligado a um potenciômetro, o qual

possibilidade a conversão do valor de potencial do eletrodo em unidades de pH. Ao ser submerso na amostra, no caso com volume proposto de 100 mL, o eletrodo produz milivolts que são transformados para uma escala de pH, indicando assim a acidez, neutralidade ou alcalinidade da amostra analisada.

Para os ensaios realizados durante este trabalho, o pH inicial Odo efluente bruto foi calibrado em 4, 6 e 8.

5.4.3 Cor

Neste trabalho foi aplicada a metodologia proposta por *American Public Health Association* (ALPHA, 1995), e aplicada por Couto Júnior (2011), onde a cor é determinada pelo método *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW). Este método consiste na medida da absorvância da amostra analisada em comparação com a solução padrão de platina e cobalto, para isso foi utilizado um espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, onde foi realizada a leitura direta, ou seja, a leitura da magnitude mediante o uso de um instrumento de medida no caso o espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, sendo os resultados expressos em mg PtCo.L^{-1} .

O procedimento de execução foi ajustar o comprimento de onda de 455nm no espectrofotômetro, a fim de calibrar o equipamento e foi acrescentado 25mL de água destilada na cubeta e equipamento será zerado, e após, foi acrescentado 25mL de amostra do efluente na cubeta e a leitura foi realizada.

5.4.4 Determinação da DQO – Demanda química de oxigênio

A DQO pode ser definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica.

A determinação da DQO, baseada na oxidação química da matéria orgânica por dicromato de potássio a elevadas temperaturas e em meio ácido, foi realizada através do micro método, proposto pelo APHA (1995), por meio de digestão e quantificação fotométrica a 600nm. Um reator HACH foi utilizado como digestor, e um espectrofotômetro HACH, modelo DR/2010, foi utilizado para leitura espectrofotométrica, no qual foi inserida uma curva padrão para os reagentes

preparados no método. As determinações das concentrações de DQO nas amostras foram realizadas em duplicadas.

5.4.5 Turbidez

Conforme estudos de Couto Júnior (2011), a turbidez pode ser definida como o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma porção de água, devido a presença de partículas em suspensão presentes.

A metodologia aplicada foi através do método *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, na qual a turbidez foi determinada a partir de uma pré-agitação da amostra de efluente, a fim de obter uma dispersão e homogeneização dos materiais presentes. Para a leitura da turbidez de forma direta foi utilizado um espectrofotômetro HACH, e os resultados obtidos foram expressos em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

5.4.6 Resumo de análises

A Tabela 3 apresenta o resumo de análises que serão realizadas para este projeto:

Tabela 3 – Resumo das análises efetuadas

Análise	Efluente
Temperatura	Bruto/ Tratado
Alcalinidade e Acidez Volátil	Bruto/ Tratado
Cor	Bruto/ Tratado
DQO	Bruto/ Tratado
Turbidez	Bruto/ Tratado

Fonte: Autora (2018).

6 RESULTADOS E DISCUSSOES

6.1 Caracterização do Efluente Não Tratado

O efluente utilizado neste trabalho foi oriundo de uma lavanderia industrial instalada no município de Campo Mourão. No total foram coletadas sete amostras durante o período de Março de 2017 e Janeiro de 2018, as quais foram caracterizadas e armazenadas devidamente.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados do efluente não tratado.

Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos do efluente bruto

Parâmetros	Unidade	Resultados		
		Mínima	Média	Máxima
Cor Aparente	mgPt-Co.L ⁻¹	136	384	632
Cor Real	mgPt-Co.L ⁻¹	76	140,5	205
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	127,2	214,2	301,2
pH		5,9	6,7	7,5
Temperatura	°C	17	22	27
Turbidez	NTU	15,5	47,2	78,9

Fonte: Autora (2018).

Os parâmetros sólidos suspensos, sólidos totais e cor aparente, são os que mais sofreram variação durante o período de coleta, uma vez que a variedade de produtos e tipos de tecidos lavados pela lavanderia industrial produz uma diversidade de materiais e resíduos.

Os parâmetros cor, DQO e sólidos não se enquadram no padrão estabelecido pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA, verificando-se assim a necessidade de tratamento do efluente têxtil bruto para posterior despejo.

6.2 Tratamento por Eletrocoagulação com Eletrodos de Aço Inox

Para a realização deste trabalho, os ensaios foram realizados variando os parâmetros de corrente entre 1 A, 3 A e 5 A, pH inicial entre 4, 6 e 8, e espaçamento entre eletrodos entre 10 mm, 20 mm e 30 mm. Foram realizados ao todo 27 ensaios em duplicata, a fim de avaliar as melhores condições de tratamento de efluente têxtil pelo método de eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox, e comparar os resultados obtidos do tratamento na condição ótima com os parâmetros de efluente têxtil tratado pelo método físico-químico de coagulação e floculação utilizando coagulante PAC, na concentração de coagulante de $0,20 \text{ mL.L}^{-1}$, obtidos por Souza (2016).

A Tabela 5 apresenta os resultados, em porcentagem de redução, obtidos após o tratamento por eletrocoagulação.

Tabela 5 – Parâmetros de redução de DQO, cor e turbidez em duplicata do efluente tratado.

Exp.	S (mm)	i (A)	pH	Eficiência de remoção de DQO (%)		Eficiência de remoção da cor (%)		Eficiência de remoção de turbidez (%)	
				DQO ₁	DQO ₂	Dec ₁	Dec ₂	Tur ₁	Tur ₂
1	10	1	4	71,70%	84,91%	80,15%	86,03%	27,63%	14,47%
2	10	1	6	58,49%	69,81%	73,53%	77,21%	0,00%	8,49%
3	10	1	8	30,19%	15,09%	92,65%	94,12%	54,61%	53,95%
4	10	3	4	80,52%	87,27%	90,08%	88,43%	91,20%	89,42%
5	10	3	6	81,43%	78,57%	87,10%	88,71%	98,18%	98,22%
6	10	3	8	77,86%	79,64%	60,48%	71,77%	83,53%	85,87%
7	10	5	4	51,47%	52,94%	85,35%	80,25%	97,47%	96,20%
8	10	5	6	47,06%	57,35%	77,71%	98,22%	97,47%	94,93%
9	10	5	8	42,25%	46,48%	80,25%	81,53%	80,16%	82,08%
10	20	1	4	58,23%	64,56%	82,64%	97,31%	92,68%	90,24%
11	20	1	6	62,07%	55,17%	93,47%	93,86%	92,11%	94,74%
12	20	1	8	70,69%	15,52%	98,85%	83,49%	97,37%	68,42%
13	20	3	4	74,68%	68,35%	98,78%	98,29%	94,34%	90,57%
14	20	3	6	70,89%	75,95%	98,78%	98,04%	96,23%	90,57%
15	20	3	8	75,95%	73,42%	97,07%	96,58%	84,91%	79,25%
16	20	5	4	63,29%	72,15%	96,82%	96,58%	86,79%	86,79%
17	20	5	6	17,72%	18,99%	19,80%	13,94%	28,30%	20,75%
18	20	5	8	-13,92%	-3,80%	-8,56%	-22,49%	5,66%	-7,55%
19	30	1	4	57,78%	49,87%	67,56%	67,47%	22,41%	24,14%
20	30	1	6	47,23%	36,68%	52,37%	54,27%	27,59%	20,69%
21	30	1	8	14,91%	35,36%	52,53%	59,49%	18,97%	27,59%
22	30	3	4	12,93%	16,89%	56,01%	57,44%	31,03%	32,76%
23	30	3	6	6,33%	20,84%	54,91%	53,48%	22,41%	25,86%
24	30	3	8	35,36%	35,36%	58,07%	58,86%	34,48%	36,21%
25	30	5	4	34,04%	35,36%	59,81%	59,81%	31,03%	32,76%
26	30	5	6	32,72%	20,84%	61,55%	63,45%	37,93%	36,21%
27	30	5	8	45,91%	37,99%	59,65%	61,23%	24,14%	27,59%

Fonte: Autora (2018).

Após a análise dos dados experimentais expostos pela Tabela 5, com o auxílio do software *Statistica*®, os parâmetros que definem o ponto ótimo foram obtidos, os quais são pH 8, corrente de 3 A, e espaçamento entre eletrodos de 20 mm.

A Tabela 6 apresenta em valores absolutos os resultados obtidos através do tratamento por eletrocoagulação, os obtidos pelo tratamento de coagulação e floculação utilizando coagulante PAC a uma concentração de 0,20 ml.L⁻¹ de coagulante e os padrões estabelecidos pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA.

Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos, em valores absolutos, do efluente tratado por eletrocoagulação com eletrodos de aço inox, por coagulante PAC com concentração de 0,20 ml.L⁻¹ e o padrão determinado pelo CONAMA.

Parâmetros	Unidade	Resultados em valores absolutos		
		Eletrocoagulação	Coagulante PAC (0,20 ml.L ⁻¹)	Padrões de Lançamento
Cor	gPt-Co.L ⁻¹	6,00	26,38	*
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	184,85	144,27	200
pH	-	9,15	3,07	5,0 – 9,0
Temperatura	°C	36,00	29,00	< 40
Turbidez	NTU	23,50	70,20	*

Fonte: Autora (2018) (eletrocoagulação) com os resultados obtidos por Souza (2016) (PAC) e dados do CONAMA (2011) e CEMA (2009).

É possível observar que os parâmetros como DQO e temperatura para os dois tratamentos, eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox e coagulação e floculação utilizando coagulante PAC, estão dentro do limite estabelecido pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA.

O parâmetro de pH, tanto para o tratamento de eletrocoagulação quanto para o de coagulação e floculação, não se enquadra no padrão estabelecido pelo CONAMA, o que torna necessário uma calibração do mesmo antes de despejar o efluente tratado no corpo receptor.

O efluente tratado por eletrocoagulação apresentou melhores resultados em valores absolutos de cor e turbidez, enquanto o efluente tratado por processo

utilizando coagulante PAC apresentou melhores resultados em valores absolutos de DQO.

A Tabela 7 expõe em porcentagem de redução de cor, DQO, pH, temperatura e turbidez do tratamento por eletrocoagulação e do tratamento por coagulação e floculação utilizando coagulante PAC.

Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos, em porcentagem de redução, do efluente tratado por eletrocoagulação com eletrodos de aço inox, por coagulante PAC com concentração de 0,20 ml.L⁻¹ e o padrão determinado pelo CONAMA.

Parâmetros	Resultados em % de redução	
	Eletrocoagulação	Coagulante PAC (0,20 ml.L ⁻¹)
Cor	98,53%	76,67 %
DQO	60,15%	70,03 %
pH	*	*
Temperatura	*	*
Turbidez	76,02%	77,00%

Fonte: Autora (2018) com os resultados obtidos por Souza (2016) e dados do CONAMA (2011).

O processo por eletrocoagulação apresentou melhores valores de porcentagem de redução de cor, enquanto o processo físico-químico utilizando coagulante PAC apresentou melhores valores em porcentagem de redução para temperatura e turbidez.

7 CONCLUSÃO

Pela observação dos aspectos analisados e pela comparação dos mesmos em relação aos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA e pelo CEMA, tanto o tratamento de efluentes têxteis por eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inox quanto o tratamento por coagulação e floculação com coagulante PAC mostram ser eficazes ao apresentarem resultados pós-tratamento dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA e dos padrões estabelecidos pela Resolução nº 070/2009 do CEMA, com exceção do parâmetro pH; o efluente tratado, para os dois tratamentos, deve ter seu pH ajustado antes do seu despejo no corpo receptor para que assim se enquadre nos limites estabelecidos pelo CONAMA e pelo CEMA.

Para os parâmetros cor e turbidez, o tratamento por eletrocoagulação apresentou melhores resultados absolutos, respectivamente 6,00 gPt-Co.L⁻¹ e 23,50 NTU, em comparação ao tratamento por coagulação e floculação com coagulante PAC (26,38 gPt-Co.L⁻¹ e 70,20 NTU). Quando analisado o percentual de redução, tendo em vista que as amostras do efluente bruto são oriundas de diferentes períodos, o tratamento com coagulante PAC apresenta um maior percentual de redução de turbidez (77%) quanto ao tratamento de eletrocoagulação (76%). Para o percentual de redução de cor, o tratamento por eletrocoagulação apresentou um percentual de redução de 98%, enquanto o efluente tratado utilizando o PAC, apresentou um percentual de redução de 77%.

Para parâmetros como DQO e temperatura, o tratamento por coagulação e floculação utilizando coagulante PAC obteve os melhores resultados em valores absolutos, respectivamente 144,27 mgO₂.L⁻¹ e 29 °C, quanto ao tratamento por eletrocoagulação (184,85 mgO₂.L⁻¹ e 36 °C). Em percentual de redução, o tratamento por eletrocoagulação apresentou 60% de redução da DQO, e o tratamento com coagulante PAC 70% de redução.

Portanto, os dois tratamentos mostram-se eficazes quanto atender aos requisitos para lançamento de efluentes em corpos hídricos, impostos pelo CONAMA e pelo CEMA.

REFERÊNCIAS

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TEXTIL E CONFECÇÕES. **Cartilha: Indústria Textil e de confecção brasileira (2013)**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TEXTIL E CONFECÇÕES. **Conjuntura do Setor**. 2006. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TEXTIL E CONFECÇÕES. **Perfil do Setor**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

ABQCT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICOS E COLORISTAS TÊXTEIS. **Tecnologia têxtil II**. 2007.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 16.ed., Washington, 1995.

AZEVEDO, G. H. W. de. **A indústria têxtil brasileira: desempenho, ameaças e oportunidades**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1997.

BAÊTA, B. E. L. **Tratamento de efluentes de indústria têxtil utilizando reatores anaeróbios de membranas submersas (SAMBR) com e sem carvão ativado em pó (CAP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

BELAN, A. L. D. **Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis: revisão bibliográfica**. Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. 2014.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2000.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA). **Apresentação**. Disponível em: <<http://www.cema.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=11>>. Acesso em: 05 de Maio de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA). **Resolução nº 070, de 01 de Outubro de 2009**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011.

CAMBOIM, R. A. **Técnica de eletroflotação aplicada na remoção de cores de efluentes têxteis**. 2010. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. 2010.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Química

pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

COUTO JUNIOR, O. M. **Tratamento de efluentes da indústria textil por coagulação e floculação utilizando polímeros naturais.** (2005). Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Maringá. Maringá-PR.

CRESPILHO, F. N.; RESENDE, M. O. O. **Eletroflotação. Princípios e Aplicações.** RiMa Editora. São Paulo. 2004, 74 p.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O., **Tratamento de efluente de indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação.** Química Nova Vol. 27, No. 3, 387-392, 2004.

DANESHVAR, N.; KHATAEE, A.R.; AMANI, GHADIM, A.R.; RASOULIFARD, M.H. **Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC).** Journal of Hazardous Materials, v.148, n.3, p.566-572, september. 2007.

DEL MONEGO, M. L. C. **Degradação eletroquímica de corantes e efluentes da indústria têxtil.** 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Campus Curitiba, Curitiba, 2007.

D'URSO, L. **Beneficiamento têxtil – etapas e conceitos.** Universidade Veiga de Almeida. Curso Design de Moda. Rio de Janeiro, 2015.

FORNARI, M. M. T.; PALÁCIO, M. S.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MÓDENES, A. N.; SILVA JR., F. G.; SZYMANSKI, N.; KROUMOV, A. D.; TRIGUEROS, D. E. G. **Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation.** Chemical Engineering Journal, v.151, p. 59-65, 2009.

FRANCO; L. C. A. C. **A gestão dos efluentes das indústrias têxteis e os princípios da responsabilidade social em Sergipe, 2008.** Dissertação (Mestrado

em Saúde e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente pela Universidade Tiradentes. Aracaju – SE, 2009.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil.** 2002. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes Têxteis.** Química Nova; v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000. wastewater. 1999.

HAMILTON, M. A.; RUSSO, R.C., THURSTON R.V. **Trimmed Spearman Karber statistical method for estimating median lethal concentration in toxicity bioassays,** Environ. Sci. Technol. v.11, p.714–719, 1997.

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

HENRIQUES, D. M. **Degradação de nonilfeol polietoxilado e de efluente têxtil por meio de eletrocoagulação e processos fenton.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2004.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis Utilizando Folhas de Azadirachta Indica como Adsorvente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 2006. Disponível em <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m164.pdf>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

JULIANO, L. N.; PACHECHO, S. M. V. **Estamparia e beneficiamento têxtil.** Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFET/SC. 1ª Ed. Santa Catarina, 2008.

KOBYA, M.; HIZ, H.; Senturk, E.; Aydiner, C.; Demirbas, E. **Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation**. *Desalination*, n. 190, p. 201- 211, 2006.

KUNZ, A; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Campinas, 2002. Disponível em:<<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2002/vol25n1/13.pdf>>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

MARTINS, H. C. **Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canvieira**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina. Londrina, 2014.

MINISTÉRIO DA INDUSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÕES**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/renai/public/arquivo/arq1273166252.pdf>. Acesso: em 28 de outubro de 2017.

MOLLAH, M.Y.A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L., **Electrocoagulation (EC): science and applications**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 84, p. 29-41, 2001.

MOLLAH, M. Y. A., MORKOSVSKY, P., GOMES, J. A. G., KESMEZ, M., PARGA, J., COCKE, D. L. **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. *Journal of Hazardous Materials* v. 114, p. 199-210, 2004.

NEVES, J. D.; CRESPIM, L.; LEITE, R. G. **Purga**. Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional de Goioerê. 2000.

PALÁCIO, S. M. **Aplicação do processo de eletrocoagulação seguido por degradação fotocatalítica utilizando TiO₂ no tratamento de efluente têxtil**. 2009. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

PEREIRA, A. F. S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil**. 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. **Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis- uma primeira abordagem**. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT , Vol 52, p. 22-39, 1998.

PERINI, B. L. B.; DREWS, J. L.; CUNHA, S. K. K.; KROHL, D. R.; SELLIN, N. **Adsorção de corantes de efluente têxtil por resíduos da bananicultura**. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia, 2012.

QUADROS, S. S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. Dissertação (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau. Blumenau – SC, 2005.

REVISTA TEXTÍLIA. **História da Indústria Têxtil no Brasil**. Publicado em: 22/08/2006. Disponível em: <<http://www.fashionbubbles.com/historia-da-moda/historia-da-industria-textil-no-brasil-2/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

RODRIGUES, M. C; BRITO, R. S.; SINOTI, A. L. L.; SOUZA, M. A. A. **Tratamento eletrolítico de efluentes de reatores anaeróbios**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Trabalhos Técnicos. 2001.

RODRIGUES, P. H. **Comparação do processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes policloreto de alumínio e sulfato de alumínio no tratamento de um efluente têxtil**. Universidade Tecnológico Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

SANIN, L. B. B. **A indústria têxtil e o meio ambiente**. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (46), 1997.

SILVA, H. S. **Princípios de tratamento de efluentes líquidos**. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (39), 1995.

SINDIMALHAS – SINDICATO DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS DE MALHAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **História da indústria têxtil no Brasil**. Minas Gerais, 2004. Disponível em: <http://www.sindimalhas.com.br/estudos_conteudo,14,6.html#>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

SOBRERO, M. S.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga**. In: Ensayos Toxicologicos y Métodos de Evaluacion de calidad de Aguas: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Facultad de Ciencias Físicas e Matemáticas Ed. Chile, cap. 4, 2004.

SOUZA, P. C. **Aplicação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria têxtil**. 194 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Campus Maringá. Maringá, 2016.

SOUZA, C. R. L. **Degradação de corantes reativos e remediações de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/6788/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Claudio%20Roberto%20Lima%20de%20Souza.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S.; CONSOLIN FILHO, N.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M. **Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação**. Editora UniBH. e-xacta, v. 9, n. 2, p. 123-132. Belo Horizonte, 2016.

SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M.; ALMEIDA, G. B. E.; SANTOS, L. R. **Avaliação dos processos de eletrocoagulação e coagulação/floculação através do coagulante policloreto de alumínio no tratamento de efluente têxtil**. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza - CE, 2016.

SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M.; ALMEIDA, G. B. E.; SANTOS, L. R. **Avaliação dos processos de efluente têxtil através do uso da eletrocoagulação e polímeros naturais**. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza - CE, 2016.

STORTI, S. **Depuração biológica da água de tinturaria, acabamento têxtil e sua reutilização no ciclo de produção**. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (42), 1996.

STRATE, J. **Avaliação do processo de eletrocoagulação/flotação para tratamento de efluente de indústria de laticínios**. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, RS. 2014.

STRÖHER, A. P. **Tratamento por adsorção em bagaço de laranja de um efluente da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, 2010.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estudos Avançados, 22:7-16. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a02.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2017.

UEDA, A. C. **Aplicação de micelas reversas na remoção de corantes têxteis catiônicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2006.

VALENTE, G. F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M.; FELIX, L. B. **Avaliação do custo de energia elétrica e de material no tratamento de efluente de uma indústria de laticínios por eletrocoagulação**. III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, São Pedro, SP. 2012.

WIENDL, W. G. **Processos Eletrolíticos no Tratamento de Esgotos Sanitários**. ABES, Rio de Janeiro. 1998.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela X – limites para lançamento de efluentes líquidos

Parâmetros	Simbologia	Valores Máximos (mg.L ⁻¹)	
		Resolução nº 357/2005	Resolução nº 430/2011
Inorgânicos			
Arsênio total	As	0,5	0,5
Bário total	Ba	5,0	5,0
Boro total	B	5,0	5,0
Cádmio total	Cd	0,2	0,2
Chumbo total	Pb	0,5	0,5
Cianeto total	CN	0,2	1,0
Cianeto livre	CN	-	0,2
Cobre dissolvido	Cu	1,0	1,0
Cromo total	Cr	0,5	-
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	-	0,1
Cromo trivalente	Cr ⁺³	-	1,0
Estanho total	Sn	4,0	4,0
Ferro dissolvido	Fe	15,0	15,0
Fluoreto total	F	10,0	10,0
Manganês dissolvido	Mn	1,0	1,0
Merúrio total	Hg	0,01	0,01
Níquel total	Ni	2,0	2,0
Nitrogênio amoniacal total	N	20,0	20,0
Prata total	Ag	0,1	0,1
Selênio total	Se	0,3	0,3
Sulfeto	S	1,0	1,0
Zinco total	Zn	5,0	5,0
Orgânicos			
Benzeno		-	1,2
Clorofórmio		1,0	1,0

Dicloroetano		1,0	1,0
Estireno		-	0,07
Etilbenzeno		-	0,84
Fenóis totais	C ₆ H ₅ OH	0,5	0,5
Tetracloroeto de carbono		1,0	1,0
Tricloroetano		1,0	1,0
Tolueno		-	1,2
Xileno		-	1,6

Fonte: Adaptado de CONAMA Resolução nº357/2005 e Resolução nº430/2011