

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIOVANNA BEATRIZ ELER DE ALMEIDA

**INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTE TÊXTIL POR ELETROCOAGULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

GIOVANNA BEATRIZ ELER DE ALMEIDA

## **INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR ELETROCOAGULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paula Cristina Souza  
Co-orientador: Eng. Paulo Rodrigues

CAMPO MOURÃO

2016



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

**INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO NO TRATAMENTO TÊXTIL POR ELETROCOAGULAÇÃO**

por

**GIOVANNA BEATRIZ ELER DE ALMEIDA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:30 do dia 15 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Engenheiro Paulo H. Rodrigues**

( UTFPR )

Co-orientador

**Prof. Dr. Morgana Suszek Goncalves**

( UTFPR )

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rafael Montanhini Soares  
de Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Paula Cristina Souza**

(UTFPR)

**Orientador**

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

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

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

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar preciso agradecer a quem me deu as possibilidades, abriu as portas e me capacitou para que eu pudesse realizar esse grande sonho que é minha graduação, Deus.

Obrigada a minha família que sempre me incentivou, acreditou em mim, me ajudou de todas as maneiras que precisei e todas as maneiras possíveis, em especial minha avó Neusa e meu avô Gilberto, obrigada por serem criaturas tão inspiradoras e admiráveis.

Obrigada aos meus amigos que estiveram comigo durante esses cinco anos em Campo Mourão sendo uma verdadeira família, amo vocês.

A minha professora orientadora, chefe de projeto de iniciação científica e amiga Paula Cristina Souza, obrigada por tudo prof, nunca vou conseguir agradecer tudo o que fez por mim.

Ao meu co-orientador e também amigo Paulo Rodrigues que me ajudou e ajuda de uma forma ímpar, obrigada Paulinho.

Às minhas companheiras de apartamento, minhas amigas, irmãos Ca, Lai e Bruninha, obrigada por serem o que são como pessoas e obrigada por ganharem um significado tão grande na minha vida.

Por fim obrigada a todos que de uma forma ou de outra me ajudaram a concluir essa minha graduação tão sonhada, que antes parecia tão distante e agora bate a porta.

## RESUMO

DE ALMEIDA, Giovanna B. E. Influência da velocidade de rotação no tratamento de efluente têxtil por eletrocoagulação. 2016. P. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016

A indústria têxtil, acompanhando o crescimento industrial, ganhou grande proporção no setor econômico com a fabricação de tecidos e seu beneficiamento. Esses processos têxteis tem como principal insumo a água, o que torna seu reaproveitamento muito interessante no ponto de vista econômico, porém para essa reutilização e também para o cumprimento de leis quanto ao descarte de efluente, o efluente deve ser tratado. Uma opção de tratamento é a eletrocoagulação, que em poucas palavras consiste em transformar as partículas naturais do efluente em partículas coagulantes através de corrente elétrica, que é passada para o efluente por meio de eletrodos, que são placas de metal, no caso desse estudo o metal escolhido foi o alumínio. No procedimento, enquanto a corrente passa para o efluente um agitador permanece ligado no interior do efluente. No presente trabalho estudou-se o comportamento dos resultados de remoção de cor, turbidez e DQO (demanda química de oxigênio), durante o tratamento e a influencia da velocidade de rotação do agitador no resultado final. O procedimento foi feito em laboratório, situado na UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Por fim comprovou-se que a velocidade de rotação do agitador no interior da eletrolise influencia sim no resultado final, tendo como velocidade ótima 690 rpm.

**Palavras chave:** Eletrocoagulação, efluente, rotação e lodo

## ABSTRACT

DE ALMEIDA, Giovanna B. E. speed Influence of treatment of textile effluent by electrocoagulation. P. 2016. Work Completion of course (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2016

The textile industry, following industrial growth, gained large proportion in the economic sector with the manufacture of tissue and its processing. These textile processing has as main input water, which makes its reuse very attractive in the economic point of view, however for such reuse and also to comply with laws regarding the disposal of effluent, the effluent must be treated. One treatment option is the electrocoagulation, which briefly consists in transforming the natural particles from the effluent in coagulant particles by electrical current that is passed to the effluent by means of electrodes, which are metal plates, on the study the metal the chosen metal was aluminum. In the procedure, while the electrical current passes through the effluent, a stirrer remains on within the effluent. In the present work we studied the behavior of color, turbidity and COD (chemical oxygen demand), removal results during treatment, and the influence of the stirrer rotation speed on the final result. The procedure was done in the laboratory, located at UTFPR (Federal Technological University of Paraná). Finally it was shown that the agitator rotation speed within the electrolysis have influence on the final result, with the optimum speed of 690 rpm.

**Keywords:** electrocoagulation, wastewater, and sludge rotation

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ETAPAS PRINCIPAIS ENVOLVIDAS NA COAGULAÇÃO PELA ELETROQUÍMICA ASSISTIDA. ....	23
FIGURA 2 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM REATOR DE EC ESCALA DE BANCADA COM ELETRODO MONOPOLAR ARRANJADO EM PARALELO. ....	24
FIGURA 3- ESQUEMA DE UM REATOR DE EC ESCALA DE BANCADA COM ELETRODOS MONOPOLARES ARRANJADOS EM SÉRIE .....	25
FIGURA 4 - ESQUEMA DE UM REATOR DE EC ESCALA DE BANCADA COM ELETRODOS BIPOLARES DE CONEXÕES PARALELAS. ....	26
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DA INDÚSTRIA TÊXTIL DE ALGODÃO. ....	31
FIGURA 6 - GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA. MARCA INSTRUTHERM. ....	33
FIGURA 7 - ELETRODOS DE ALUMÍNIO .....	34
FIGURA 8 - AGITADOR. MARCA FISATAM .....	35
FIGURA 9 - CONES DE IMHOF .....	37
FIGURA 10 - CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS .....	37
FIGURA 11 - PORCENTAGEM DE REDUÇÕES DE COR, TURBIDEZ E DQO PARA AS 4 DIFERENTES VELOCIDADES DE ROTAÇÃO .....	40
FIGURA 12 - COMPARAÇÃO DE PERCENTUAIS DE REMOÇÃO DE PARÂMETROS ENTRE EFLUENTE TRATADO POR ELETROCOAGULAÇÃO E POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM COAGULANTE QUÍMICO SULFATO DE ALUMÍNIO. ....	41
FIGURA 13 - QUANTIDADE DE LODO EM M/L OBTIDA PELO ENSAIO DO CONE IMHOFF .....	42
FIGURA 14 - RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE LODO GERADO E PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ. ....	43
FIGURA 15 - RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE LODO GERADO E PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE COR .....	44

FIGURA 16 - RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE LODO GERADO E PORCENTAGEM DE REMOÇÃO .....45



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS. ....	17
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE BRUTO .....	38
TABELA 3 - RESULTADOS NUMÉRICOS DOS PARÂMETROS DO EFLUENTE TRATADO .....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>16</b>
4.1	A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL	16
4.2	LEGISLAÇÃO	16
4.3	DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NA REMOÇÃO DE POLUENTES E NA GERAÇÃO DE LODO	18
4.4	DESAGUAMENTO DO LODO	19
4.4.1	<i>O lodo gerado pelo processo de eletrocoagulação</i>	19
4.5	PROCESSOS QUÍMICOS	20
4.5.1	<i>Adsorção em carvão ativado e outras substancias adsorventes</i>	20
4.5.2	<i>Eletrodialise</i>	20
4.5.3	<i>Osmose reversa</i>	21
4.5.4	<i>Troca iônica</i>	21
4.6	ELETROCOAGULAÇÃO	21
4.6.1	<i>Reatores</i>	23
4.6.2	<i>Parâmetros relacionados ao processo de eletrocoagulação</i>	26
4.6.2.1	<i>Condutividade elétrica do efluente</i>	27
4.6.2.2	<i>pH do efluente</i>	27

4.6.2.3 <i>Intensidade da corrente elétrica</i> .....	27
4.6.2.5 <i>Consumo de energia elétrica</i> .....	29
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
5.1 AS AMOSTRAS DO EFLUENTE TEXTIL COLETADAS.....	30
5.2 O TRATAMENTO.....	32
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO.....	38
6.2 EFLUENTE APÓS TRATAMENTO .....	39
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado pela natureza, tem grande quantidade de água doce disponível, cerca de 8% da quantidade existente no planeta (Peres; Abrahão, 1998). Em virtude dessa relativa abundância de água, não era notados nenhuma preocupação ou cuidado com esse insumo por parte do setor industrial, a salvo o setor que o utiliza como matéria prima (CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA, 2004.p 7).

Com a manifestação de déficits em relação à escassez e poluição de água em grandes centros urbanos, surge um interesse dos setores econômicos em atividades em que a água é utilizada e esse interesse é estimulado também por políticas federais e estaduais que dizem respeito ao gerenciamento dos recursos hídricos (CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA, 2004.p 7).

Um dos setores industriais com grande índice de resíduos líquidos é o têxtil, uma vez que todos os processos de beneficiamento de tecido como lavagem, desengomagem, amaciamento, estampagem e tingimento dos tecidos, entre outros procedimentos geram efluente.

O estudo de meios alternativos de tratamento para o efluente residual e para redução dos gastos de água no meio industrial se intensifica a cada dia, mas o custo para esses tratamentos é o que dificulta a implantação cotidiana, e também acaba estimulando a busca de meios de tratamentos mais eficientes e viáveis.

Tendo em vista as necessidades do mercado hoje em dia, este trabalho visa buscar soluções alternativas para o tratamento de efluente têxtil por meio de eletrocoagulação, explorando variáveis como a rotação da hélice usada na agitação do efluente enquanto este recebe uma corrente elétrica proveniente de um gerador.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Qualificar o efluente bruto de uma lavanderia industrial da região de Campo Mourão - PR, e verificar a influência, quanto à quantificação de lodo, cor, turbidez e DQO, da velocidade de rotação no reator de eletrocoagulação no tratamento deste efluente.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar do efluente têxtil gerado na lavagem de jeans, determinando parâmetros como: cor, turbidez e DQO (Demanda Química de Oxigênio).
- Estudar em um reator de eletrocoagulação, a remoção de cor, turbidez, DQO, para diferentes velocidades de rotação no reator, para o presente caso as velocidades são: 1,2,3 e 4 que são respectivamente 170rpm, 430rpm 690rpm e 950 rpm.
- Determinar em um reator de eletrocoagulação, a quantificação de lodo gerado no processo para as diferentes velocidades de rotação.

### 3 JUSTIFICATIVA

Um dos maiores problemas ambientais que enfrentamos na atualidade é a poluição das águas que se dá, entre outros motivos, pelo descarte de efluentes industriais nos rios. Assim sendo, aumenta-se a preocupação em investigar o meio mais econômico e ecologicamente viável para o tratamento desses efluentes a fim de reduzir essas cargas tóxicas.

Efluentes oriundos de indústrias e esgotos sanitários quando não tratados e lançados em corpos hídricos causam grande instabilidade no ecossistema aquático e podem comprometer de maneira agravante a saúde pública. Dependendo da concentração de nutrientes presentes nesses lançamentos a proliferação de algas excessivas pode ser um dos agravantes desse desequilíbrio. A água poluída lançada tem também como consequência a proliferação de doenças como cólera, disenteria, meningite, amebíase e hepatites A e B. Por outro lado o efluente proveniente das indústrias pode conter metais pesados e por isso causar contaminações que provocam tumores hepáticos e de tireóide, rinites alérgicas, dermatoses e alterações neurológicas (GONÇALVES, 2013).

O tratamento do efluente têxtil, não só diminui os impactos ambientais causados pela indústria e mantém regularizado conforme a legislação vigente, como também disponibiliza um efluente menos tóxico que poderá ser reutilizado em processos futuros.

Como defende Brito et al (1999, p. 215) a respeito da necessidade da busca por processos de recuperação e reciclagem das águas, mais de um terço do planeta se encontra em situação de escassez quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, surgindo então a necessidade de implantação de sistemas que visem reciclar esses efluentes, preservando ao máximo o meio-ambiente.

Inúmeras alterações quanto às políticas e regulamentos, tanto em nível nacional como internacional, foram feitas especialmente nas últimas três décadas. Os valores limites dos parâmetros controlados foram se ajustando para proteger o meio ambiente. Esses valores são estabelecidos para cada indústria e diferem

segundo os países. Normalmente os padrões quantitativos se estabelecem no setor têxtil para os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos em suspensão (SS), pH, e temperatura. Em alguns casos se adiciona a cor e o cromo (SANIN, 1997).

O maior problema encontrado no processo de eletrocoagulação está no lodo que é formado durante o processo de tratamento, pois no lodo estão contido metais pesados que só podem ser descartados em aterro industriais, que geram um custo significativo para a unidade de tratamento, além disso, o incorreto acondicionamento deste material pode causar contaminação do solo e do lençol freático. Portanto, a redução da quantidade de lodo gera, além de uma economia com o despejo em aterros industriais, a conservação do meio ambiente.

Logo, estudar e comparar diferentes tipos de tratamento de efluente, e encontrar aquele que apresenta uma maior eficiência é de grande importância, tanto para o bem estar da água e conseqüentemente dos ecossistemas a ela relacionados, como também para a economia da empresa, que passa a poder reutilizar o efluente tratado nos processos industriais.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL

Desde a revolução industrial, a indústria têxtil já impôs grande potencial no mercado e economia. O setor têxtil é um dos setores mais movimentados devido à grande demanda requerida para atender a população mundial. Em 2010, o consumo per capita mundial de fibras era de 11,6 kg/habitante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TEXTIL, 2013 p.17). Ainda de acordo com a Cartilha Industrial da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TEXTIL (ABIT), no mesmo ano foram consumidas 80 milhões de toneladas de fibras, sendo 62% de fibras químicas e 38% de fibras naturais, como o algodão enquanto a produção mundial de fios, tecidos, malhas e confeccionados foi de 76 milhões de toneladas. No *ranking* mundial de produção de artigos de vestuário o Brasil ocupa a quarta posição quinta posição entre os maiores produtores de manufaturas têxteis. No Brasil encontramos a produção desde as fibras até a confecção.

Tendo em vistas números tão significativos, o estudo de medidas para aperfeiçoar todas as etapas da confecção têxtil cresce a cada dia. A etapa mais significativa no estudo realizado para o presente trabalho é o beneficiamento, que compreende processos como mercerização, desengomagem, purga, cozimento, pré-alveamento, caustificação, tingimento e alveamento. Essa etapa é a que mais demanda água, e conseqüentemente a que mais gera águas residuais.

### 4.2 LEGISLAÇÃO

No Brasil a Resolução nº430/2011 do CONAMA impõe os padrões de lançamento de efluentes, apresentados abaixo:



## Seção II

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis: I - condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas: 1. óleos minerais: até 20 mg/L; 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes;
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

O CEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) na resolução Nº 70/2009 em seu ANEXO 7 estabelece ainda padrões específicos para o desaguamento na indústria têxtil na Tabela 1.

**Tabela 1 - Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais.**

6) TINTURARIA, TÊXTEIS E LAVANDERIA INDUSTRIAL	
DBO <sub>5</sub> :	50 mg/L
DQO:	200 mg/L
Cromo total:	0,5 mg/L Cr
Cádmio total:	0,2 mg/L Cd
Cianeto total:	0,2 mg/L CN
Ferro dissolvido:	15,0 mg/L Fe
Níquel total:	2,0 mg/L Ni
Cobre dissolvido:	1,0mg/L Cu
Zinco total:	5,0 mg/L Zn
Toxicidade aguda:	FTd para <i>Daphniamagna</i> : 8 FTbl para <i>Vibriofischeri</i> : 8

Fonte: Resolução CEMA 70/2009 - Anexo 7, p. 7

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NA REMOÇÃO DE POLUENTES E NA GERAÇÃO DE LODO

O lodo gerado no tratamento de EF é proporcional aos parâmetros (sólidos sedimentáveis, matéria desestabilizada por coagulação, a densidade de corrente e ao tempo de tratamento) do efluente não tratado (DE MENESES et al, 2012).

O movimento no interior da célula de eletrolise é responsável pela agitação dos íons gerados nas placas, quando temos uma maior agitação os flocos coagulados são formados mais rapidamente e com isso obtém-se maior na remoção de poluentes em um menor espaço de tempo. Essa agitação também promove uniformidade das condições na célula de eletrolise, evitando o desenvolvimento de gradiente de concentração na mesma (KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

Por outro lado, o aumento da turbulência pode proporcionar um o transporte de massa mais rápido ajudando a reduzir a passivação, que é uma camada protetora das placas dos eletrodos. A maior agitação proporciona também uma maior produção de bolhas de gás oxigênio e hidrogênio na EF, essas bolhas são esferas com propriedade isolantes, e caso se estas acumulem na superfície dos eletrodos irá elevar a resistência elétrica dos mesmos, resultando na necessidade de uma maior diferença de potencial para atingir a eficiência do tratamento. Por isso é errôneo afirmar que quanto maior a turbulência no interior do reator maior será a eficiência (MOLLA et al, 2004).

Até a velocidade ótima de agitação ser atingida, ocorre um aumento na eficiência da remoção de poluentes. Isso ocorre porque a movimentação dos íons gerados é facilitada, os flocos coagulados são constituídos mais rapidamente, o que gera um aumento na eficiência de remoção de poluentes em um tempo de eletrólise específico. Porém se a agitação continua a ser elevada após seu ponto ótimo, ocorre uma baixa na eficiência de remoção dos poluentes, pois com velocidade de movimentação elevada, os flocos tendem a colidirem-se uns com os outros e isso resulta na destruição dos mesmos (MODIRSHAHLA et al, 2008).

## 4.4. DESAGUAMENTO DO LODO

### 4.4.1 O lodo gerado pelo processo de eletrocoagulação

Lodo é o material sedimentado encontrado na parte inferior dos decantadores e na parte superior dos flotadores, mais especificamente, lodo é a junção de toda impureza que é retirada do efluente em cada etapa de tratamento. O lodo pode ser classificado em primário, secundário e químico. O lodo primário geralmente é constituído de partículas solidas em suspensão, situam-se antes dos reatores biológico, antes de tratamentos como coagulação e flotação, são ditos também de lodo séptico. Os lodos secundários são aqueles que são removidos após alguns dias no interior dos reatores, ou levados do próprio reator biológico, em que o lodo já passou pela digestão, não podendo mais ser chamado de lodo séptico. O lodo químico é resultante de procedimentos físico-químicos, em que são agregados coagulantes como sais de alumínio, cal, oxidantes, redutores, entre outros (NUNES, 2001).

A produção de lodo no tratamento por eletrocoagulação (EF) é proporcional às características do efluente bruto, aos sólidos sedimentáveis presentes, concentração de coagulante gerada e a matéria desestabilizada pela coagulação, a densidade de corrente aplicada e ao tempo de eletrólise (KOBAYASHI et al, 2006).

Durante o processo de eletroflotação, uma espuma chamada sobrenadante é formada na superfície do efluente, nessa espuma estão contidos os contaminantes levados por bolhas formadas por gases para a superfície. Durante o tratamento o sobrenadante aos poucos aumenta de volume, e conseqüentemente de espessura, é nesse sobrenadante que podemos observar a presença dos gases formados e flotados. No decorrer do tratamento, algumas partículas (em geral metais pesados) não são capazes de flotar com o auxílio das bolhas e decantam. Gradativamente, a região superficial da camada de lodo vai se adensando por conta dos gases

expelidos que se formaram inicialmente e transportaram partículas. Estando adensada, esta camada mais externa atrapalha a passagem dos gases ainda em formação na eletrólise, por esse motivo essa camada deve ser removida. Essa película formada pelos gases e impurezas tem fisicamente alta rigidez e consistência (CRESPILHO; REZENDE, 2004)

## 4.5 PROCESSOS QUÍMICOS

### 4.5.1 Adsorção em carvão ativado e outras substâncias adsorventes

Na adsorção são usadas substâncias com propriedades adsorventes, ou seja, que promovem a fixação de moléculas de gases, líquidos, matérias orgânicas, entre outros, em sua superfície. Exemplos de substâncias adsorventes: turfa, cinza, areia, carvão vegetal, carvão ativado, etc. (NUNES, 2001).

### 4.5.2 Eletrodialise

Consiste em uma solução submetida à corrente elétrica conduzida por dois eletrodos, um negativo (catodo) e um positivo (anodo). Membranas seletivas de um único tipo de íon, cátion ou anion, existem no interior das células de eletrodialise. Essas membranas impedem que íons de mesmos sinais que os delas passem por elas, ou seja, a membrana negativa impede os anions e a positiva impede os cátions. Quanto maior o numero de membranas no sistema maior a eficiência. Essa técnica é utilizada na desmineralização e dessalinização de águas. Com a limpeza periódica das membranas, alguns problemas podem ser evitados, pois se a

membrana está obstruída a corrente elétrica diminui, diminuindo também a eficiência do método. (NUNES, 2001).

#### 4.5.3 Osmose reversa

A osmose reversa ou inversa baseia-se na aplicação de uma força superior à pressão osmótica em um compartimento de solução concentrada, que é separado de um compartimento de solução diluída por uma membrana semipermeável. Antes de a pressão ser aplicada, o fluxo natural é solução diluída para solução concentrada, após a pressão ser aplicada o fluxo se inverte, restando no compartimento concentrado apenas o soluto e expulsando o solvente. Esse método é aplicado na dessalinização e desmineralização de águas. (NUNES, 2001).

#### 4.5.4 Troca iônica

A troca iônica possibilita que íons contidos em efluentes residuais sejam separados das águas. O íon amônia é facilmente obtido nos sistemas biológicos de tratamentos, ele é resultado da decomposição de matéria orgânica nitrogenada. (NUNES, 2001).

### 4.6 ELETROCOAGULAÇÃO

Com as mudanças na legislação referentes ao descarte de efluentes no meio ambiente, e com as evoluções físico químicas, a eletrocoagulação vem se

destacando como grande aliada devido a sua eficiência no tratamento de efluentes de diversas origens.

As técnicas de eletrocoagulação (EC) têm sido utilizadas por serem muito eficazes na remoção de DQO e descoloração, com baixo consumo de energia e tem a vantagem de eliminar as pequenas partículas coloidais, além de produzir uma quantidade relativamente baixa de lamas, tornando os métodos eletroquímicos uma alternativa simples e eficiente para a purificação de muitos tipos de águas e efluentes. (SOUZA, et al, 2015).

O processo de eletrocoagulação se dá pela utilização de eletrodos de diferentes polaridades, catodo e anodo. No momento em que se aplica a voltagem, o catodo sofre redução e o anodo oxidação, levando à formação eletroquímica do agente coagulante. (SOUZA, et al, 2015).

As cargas negativas e positivas interagem umas com as outras, positiva com positiva, negativa com negativa e negativa com positiva, desse modo ocorre a hidrólise que é a quebra das moléculas por água, sendo essa uma das reações mais importantes no tratamento do efluente. Koparal et al. (2002), define que eletrocoagulação é um processo que consiste em criar hidróxidos metálicos dentro de águas residuais por eletro dissolução de ânodos solúveis, geralmente feitos de ferro ou alumínio. Na Figura 1 a seguir pode ser observado um esquema do tratamento por eletrocoagulação.

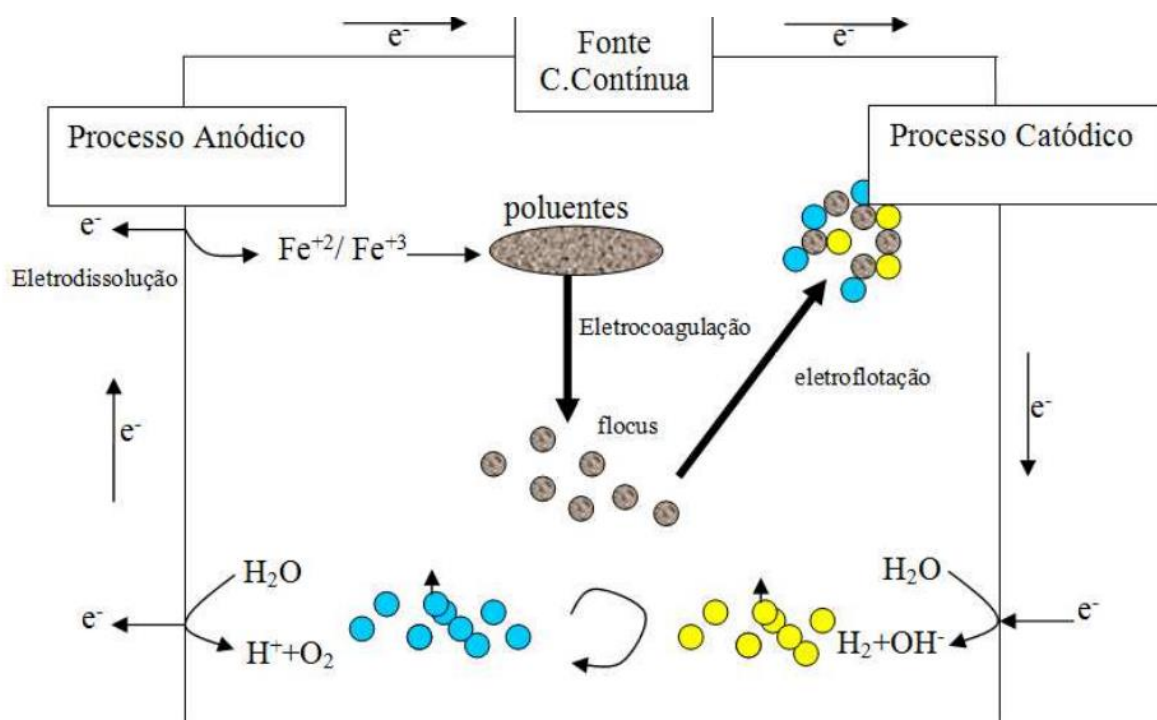


Figura 1 - Etapas principais envolvidas na coagulação pela eletroquímica assistida.

Fonte: CAÑIZARES et.al., 2005, citado por THEODORO, 2010

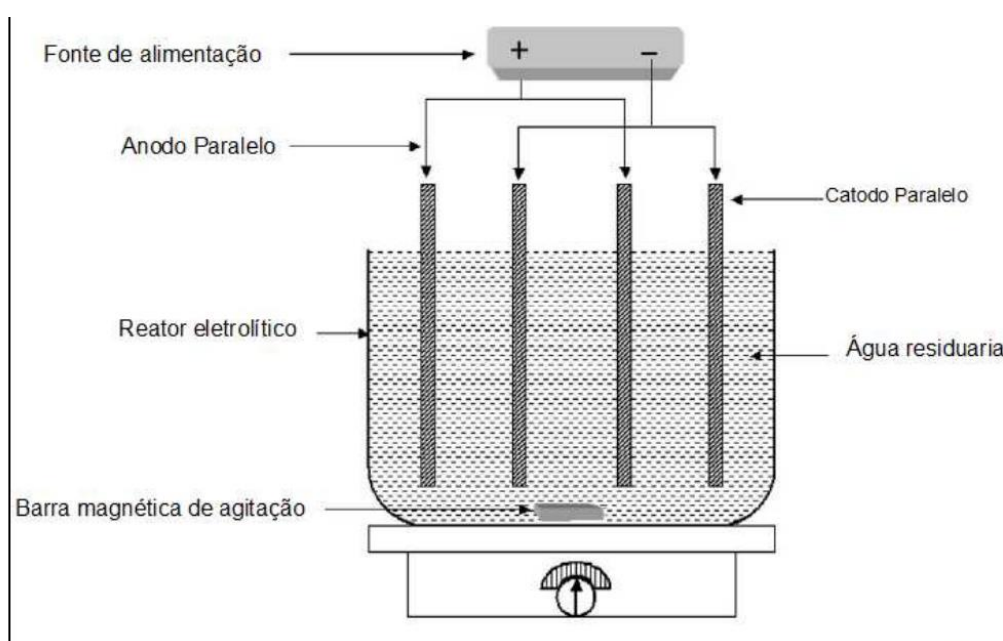
#### 4.6.1 Reatores

No processo de eletrocoagulação, são utilizados diversos tipos de reatores, os reatores são compostos por placas metálicas que utilizam conexões elétricas em paralelo e estão ligadas a uma fonte contínua de corrente elétrica. Essas placas são também chamadas de eletrodos de sacrifício, podendo ser de um único material ou ainda de diferentes materiais. Os eletrodos podem ter vários materiais como matéria prima, mas os dois materiais mais usuais são o alumínio e o ferro, em consequência da facilidade com que são encontrados e o valor de venda, além de sua forma iônica que apresenta elevada valência. (VALENTE, 2012)

Existem vários modelos de reatores, com diferentes geometrias para a disposição dos eletrodos, os arranjos mais usuais são: monopolar e bipolar.

- Arranjo monopolar

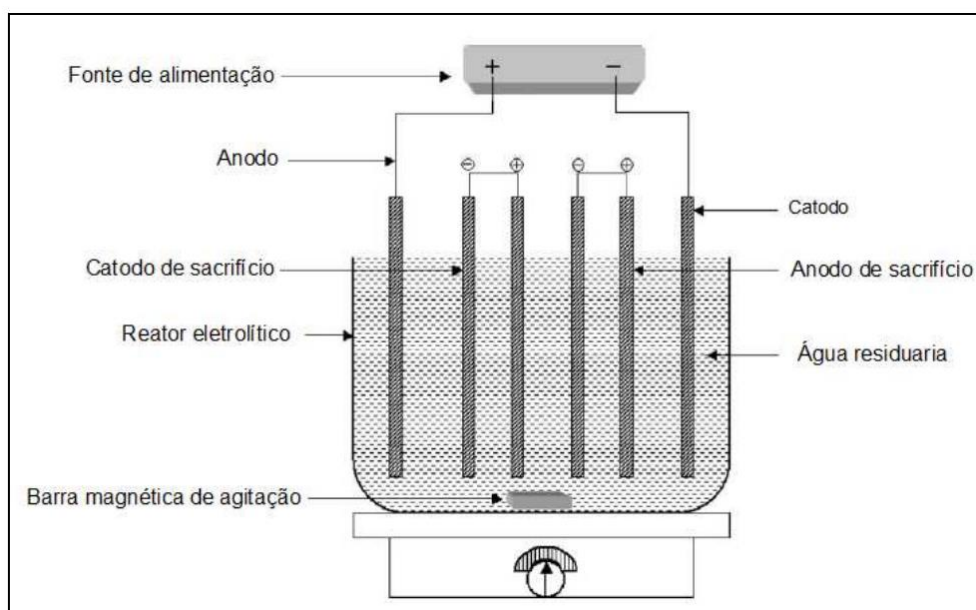
Com a utilização de eletrodos monopolares, seja com conexões em série ou em paralelo, é possível identificar uma melhora no desempenho do processo. No caso de se escolher o arranjo em série (Figura 3), a resistência do mesmo é maior do que no arranjo em paralelo, fazendo-se necessário uma diferença maior de potencial para a corrente passar pelos eletrodos. No arranjo em paralelo (Figura 2) ocorre uma divisão da corrente elétrica entre as placas, os eletrodos de sacrifício se interligam internamente, não havendo contato com os eletrodos externos.



**Figura 2 - Diagrama esquemático de um reator de EC escala de bancada com eletrodo monopolar arranjado em paralelo.**

**Fonte: MOLLAH, 2004.**



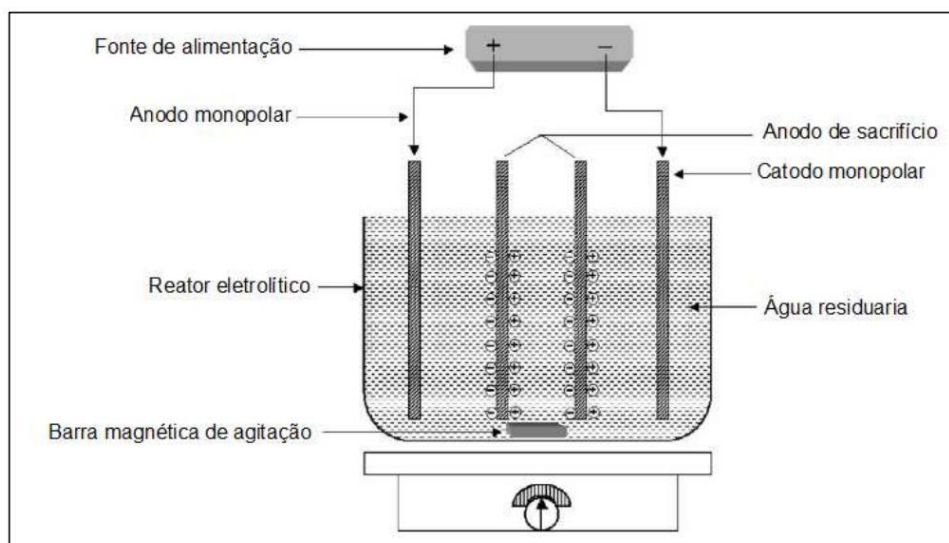


**Figura 3- Esquema de um reator de EC escala de bancada com eletrodos monopolares arranjados em série**

**Fonte: MOLLAH, 2004.**

- Arranjo bipolar

No reator de geometria bipolar (Figura 4), temos as placas, ou eletrodos de sacrifício, posicionados no meio de dois eletrodos paralelos, e apenas os dois eletrodos monopolares são ligados a fonte de energia, sem conexão elétrica entre os eletrodos de sacrifício. No instante em que a corrente elétrica passa pelos dois eletrodos, os lados neutros da placa passam a ter carga oposta à do eletrodo monopolar (CRESPILHO; REZENDE, 2004).



**Figura 4 - Esquema de um reator de EC escala de bancada com eletrodos bipolares de conexões paralelas.**

**Fonte: MOLLAH, 2004.**

#### 4.6.2 Parâmetros relacionados ao processo de eletrocoagulação

Em um processo de tratamento, o objetivo é sempre chegar à máxima eficiência, ou seja, máxima remoção das impurezas e menor custo de operações. Por essa razão o estudo de variáveis e seus impactos no resultado final é tão importante. No processo em questão, eletrocoagulação, os parâmetros que se destacam são: condutividade elétrica do efluente, pH do efluente, intensidade da corrente elétrica que passa nas placas, o consumo da placa (eletrodo), consumo de energia elétrica e a velocidade de rotação da hélice misturadora.

#### 4.6.2.1 Condutividade elétrica do efluente

Condutividade elétrica afeta a eficiência da corrente, a tensão da célula e o consumo de energia elétrica. (DANESHVAR et al, 2007).

É importante, portanto, que a condutividade não seja baixa pois isso comprometerá a eficiência do tratamento. Quando a condutividade está alta o efluente tem o tempo de tratamento reduzido e, assim, os contaminantes têm melhor remoção. A condutividade é regulada com a adição de sais ao efluente, podendo ser utilizado o cloreto de sódio que é uma substância de fácil acesso e não tóxico. (NUNES, 2001).

#### 4.6.2.2 pH do efluente

Os efeitos do pH da água ou de efluentes na eletrocoagulação afetam a eficiência, bem como, a solubilidade dos hidróxidos metálicos. Quando há íons cloreto presentes, a liberação de cloro também é afetada.

A eficácia do tratamento depende da natureza dos poluentes, com a melhor remoção de poluentes encontrados em pH 7. O consumo de energia é, no entanto, superior em pH neutro, devido à variação da condutividade. Quando a condutividade é alta, o efeito do pH não é significativo (CHEN, 2004).

#### 4.6.2.3 Intensidade da corrente elétrica

A corrente utilizada na eletrofloculação vai determinar a quantidade de metal (Fe, por exemplo) que será oxidada no ânodo. Os cuidados devem ser tomados ao escolher o valor da corrente elétrica aplicada. Elevada corrente pode significar perda

de potência; pois parte dela se dissipará pelo efeito Joule e também maior frequência de manutenção dos eletrodos (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

#### 4.6.2.4 Consumo da placa (eletrodo)

No processo de eletrocoagulação, os elétrodos ou o conjunto de elétrodos são conectados a uma fonte externa de corrente contínua. Durante a passagem da corrente elétrica, certa massa do eletrodo é dissolvida ou depositada na solução eletrolítica formando o agente coagulante. Para se determinar a quantidade de massa do eletrodo (elm) que foi consumida durante o tempo de processo de eletrocoagulação, usa-se a Equação (01) derivada de lei de Faraday, (MOLLAH et al, 2004)

O tempo de desgaste do eletrodo pode ser calculado pela seguinte equação (WIENDL, 1998, citado por PEREIRA, 2007, p. 25):

$$t = \frac{M_0}{\alpha \cdot i} \quad \text{ou} \quad t = \frac{\rho \cdot V}{\alpha \cdot i} \quad (01)$$

Sendo:

t = tempo de desgaste do eletrodo, em h;

$M_0$  = massa inicial da colméia, em g;

$\rho$  = massa específica do material do eletrodo, em g/L;

V = perda de volume do eletrodo desgastado, em L;

$\alpha$  = equivalente eletroquímico do material do eletrodo, em g/A.h;

i = corrente aplicada, em A.

#### 4.6.2.5 Consumo de energia elétrica

O consumo de energia em um reator com processo de eletro flotação em batelada é expresso como a Equação 02 (KOBYA et al, 2006):

$$C = \frac{U.i.t}{V} \quad (02)$$

Sendo:

C = consumo de energia, em W.h/m<sup>3</sup>;

U = tensão elétrica aplicada no sistema, em V;

i = corrente elétrica aplicada, em A;

t = tempo de aplicação da corrente, em h;

V = volume de efluente tratado, em m<sup>3</sup>

#### 4.6.2.6 Velocidade de rotação da hélice misturadora

No processo de eletro floculação e flotação, o transporte de massa pode ser mais eficiente através do aumento da turbulência ou mistura. A mistura do fluido pode ser aumentada, aumentando a taxa de fluxo dentro do reator de eletrocoagulação. O aumento no nível de turbulência ajuda a reduzir a passivação das placas dos eletrodos (MOLLAH, 2004). Essa agitação influencia fortemente a eficiência dos reatores, pois aumenta a homogeneidade, uma vez que no processo bolhas de oxigênio e hidrogênio são produzidas e tem tendência de acumularem-se na superfície das placas, essas bolhas têm propriedades isolantes e elevam a resistência elétrica da célula, o que vai requerer mais energia para promover melhor eficiência no tratamento.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 AS AMOSTRAS DO EFLUENTE TEXTIL COLETADAS

As amostras utilizadas neste trabalho são oriundas de uma lavanderia industrial situada no município de Campo Mourão, noroeste do estado do Paraná. Essa lavanderia possui capacidade de aproximadamente 7000 kg por dia de jeans e cerca de 100m<sup>3</sup> /dia de água são utilizadas em 3 turnos (24 horas de funcionamento) de trabalho e faz lavagens de tecido do tipo Jeans.

Com o intuito de reduzir e otimizar o consumo de água a empresa trata e reutilizar água servida em dois, dos três enxágües tradicionais (o número de enxágües para cada etapa é distinto).

Na Figura 5 são mostradas as etapas de procedimentos realizados em uma indústria têxtil com tecidos de algodão e o como em muitas etapas é gerado águas residuais.

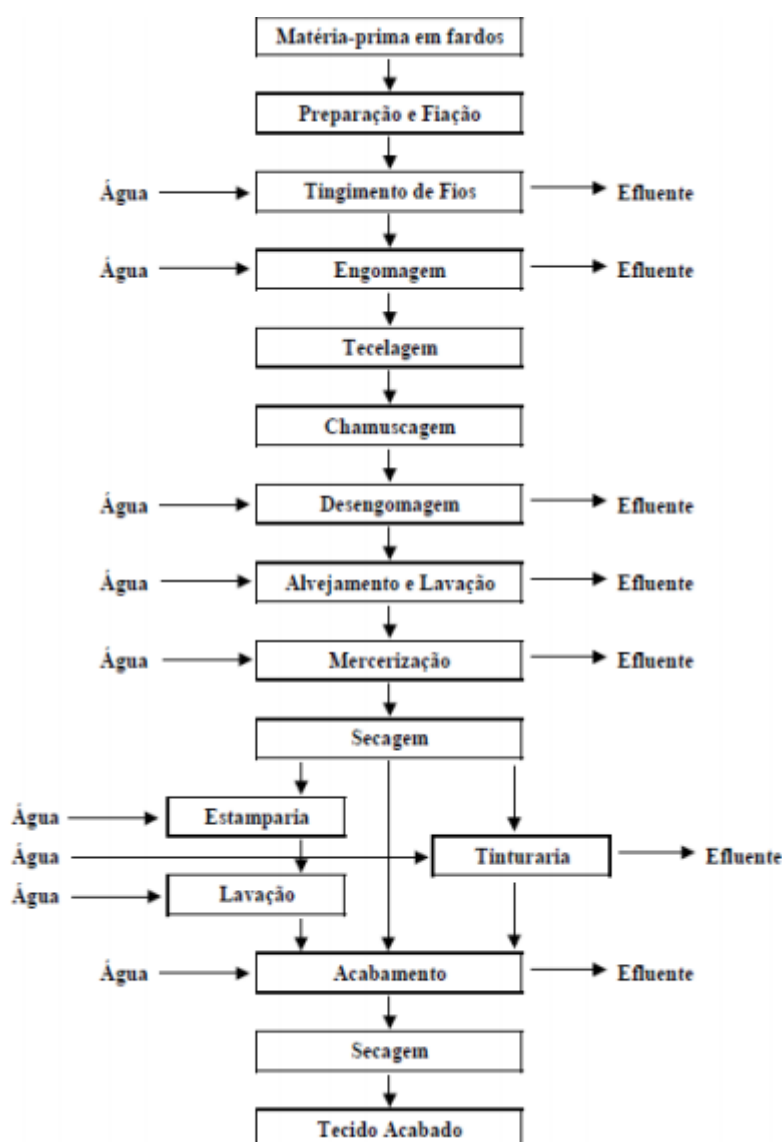


Figura 5 - Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão.

Fonte: Peres; Abrahão. 1999

O efluente resultante possui poluentes orgânicos e inorgânicos e também uma coloração azul escura, necessitando de tratamento para lançamento em corpo hídrico segundo a Resolução nº 430/2011 do CONAMA e Resolução CEMA 70/2009, já citadas neste trabalho. No presente caso, o despejo é feito no Rio do Campo, que tem como afluente da margem esquerda o Rio Mourão que deságua no

Rio Ivaí, essa medida foi tomada, pois ao limite da propriedade em que a lavanderia é situada tem-se as águas do Rio do Campo.

As amostras serão coletadas e armazenadas em galões de 4 litros em refrigerador a 5°C.

## 5.2 O TRATAMENTO

A coagulação/floculação e medições dos parâmetros foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da UTFPR, campus de Campo Mourão. Os ensaios que fizeram a parte experimental desse trabalho foram: ensaios de cor, turbidez, e DQO.

O conjunto possui uma fonte de energia (Figura 6) de corrente contínua, fornecendo tensão não faixa de 0 a 50V e intensidade de corrente na faixa de 0 a 2V (Fonte de Alimentação DC - Instrutherm - FA-1030) e foi instalado no laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão - PR, Brasil.

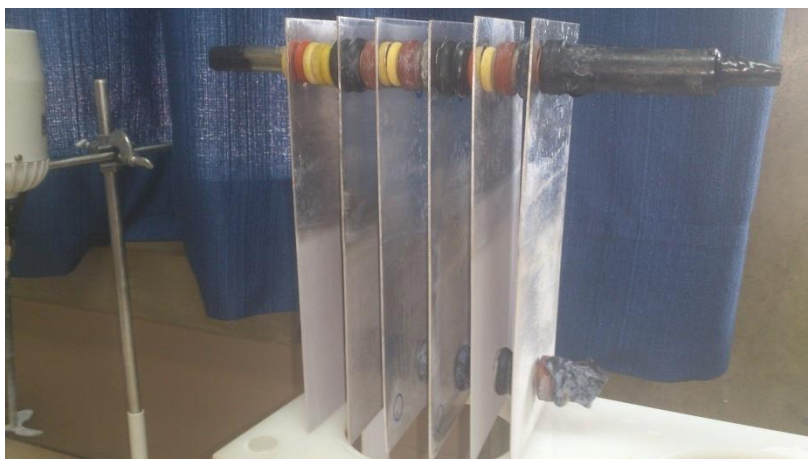




**Figura 6 - Gerador de energia elétrica. Marca Instrutherm.**

**Fonte: autoria própria**

O sistema utilizado para os ensaios de eletrocoagulação foram do tipo batelada. Trata-se de um reator de acrílico com dimensões de 0,20 metros de diâmetro e 0,20 metros de altura, tendo um volume útil de 4 litros. O conjunto de eletrodos é constituído por seis placas (10 cm de altura x 19,5 cm de largura x 3 mm de espessura) (Figura 7), de íon ferro e alumínio.



**Figura 7 - Eletrodos de alumínio**

**Fonte: Autoria própria**

O sistema de agitação utilizado foi mecânico, da marca FISATON, modelo 711, cod.450-1, 230V, indicado para produtos de baixa viscosidade e para agitar até 6 litros de água ou menor quantidade de produtos com até 1000mPas, motor tipo universal com proteção de sobrecarga, controle de rotação de 170 a 2000 RPM. Potência: 40W - 60Hz, com haste em aço inox 304 com  $\varnothing$  1/4" por 180mm de comprimento e hélice tipo naval com  $\varnothing$  de 60mm (titulação e cisalhamento), ambos recobertos por uma camada de tinta emborrachada para evitar os processos de oxirredução dos materiais do agitador.

O uso do agitador (Figura 8) promove um aumento do movimento Browniano do sistema aquoso, contribuindo assim para a formação de flocos através do contato das partículas com o agente coagulante, além de proporcionar uma homogeneidade do efluente dentro do reator.



**Figura 8 - Agitador. Marca Fisatam**

**Fonte: Autoria própria**

Foram utilizados 4 litros do efluente no reator, valor de pH foi definido em 6, e a corrente utilizada foi de 5A seguindo a metodologia de Souza, et al. 2015.

A agitação foi avaliada com rotações de 170 a 950 rpm em 4 bateladas com duplicata cada uma. A condutividade do efluente foi ajustada usando a adição de cloreto de sódio (NaCl) na seguinte faixa, 0 - 6,0 g/L, que abrange os valores normalmente explorados na literatura, sendo o NaCl, um sal que apresenta baixa toxicidade a nível moderado, custo razoável, alta condutividade e alta solubilidade, e esta adição tem demonstrado efeitos negligenciáveis sobre o pH inicial do efluente (MERZOUK et al, 2011; MERZOUK et al, 2009).

Antes da utilização, os eletrodos foram tratados com uma solução aquosa de HCl para limpeza e para evitar a passivação (MERZOUK et al., 2011). Após 15 minutos, forma-se uma película isolante na superfície de cada placa, reduzindo o

efeito corrosivo das mesmas e diminuindo a quantidade de íons de ferro na solução, e conseqüentemente, prejudicando o processo eletroquímico (ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2009). Contudo, a cada 15 min. será realizada a inversão de polaridade dos eletrodos para evitar a passivação das placas.

As análises foram feitas em duplicatas e determinados pelos métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). As análises foram realizadas com o auxílio de espectrofotômetro HACH, com medidas de cor e DQO nos seguintes comprimentos de onda, respectivamente: 455 e 600nm.

A turbidez foi definida com a por meio de um turbidímetro (Policontrol-AP2000). A turbidez foi determinada a partir de uma pré agitação da amostra para a dispersão e homogeneização dos materiais presentes.

Foi utilizado também o cone de Imhof (Figura 9), que nada mais é do que um cone com capacidade para um litro de efluente, graduado. Nesse cone o efluente permaneceu por pelo menos 24 horas, após esse intervalo de tempo, observou-se a quantidade de lodo produzido. De acordo com a NBR10561 Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de Imhof, 1000mL do efluente deve ser acondicionado no interior do cone por pelo menos 1 hora e com a ajuda de um bastão de vidro as partículas que ficarem aderidas na superfície interna do cone devem ser deslocadas com movimentos circulares aos 45 minutos depois do despejo do efluente no interior do cone, aguarda-se os 15 minutos restantes e a leitura da quantidade de resíduo, que foi separado de efluente pela ação da gravidade.



**Figura 9 - Cones de Imhof**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 10 - Conjunto de equipamentos para tratamento por eletrocoagulação.**

**Fonte: Autoria própria**

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

Na Tabela 2 estão Apresentados os valores médios das características físico-químicas do efluente têxtil não tratado, atingidos após análises individuais, resultantes de duplicata. Sendo que a determinação dos parâmetros, que são: DQO, cor, turbidez, condutividade, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), foram feitos em duplicatas aplicando os métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). O efluente bruto foi coletado em outubro de 2015, e após a caracterização foi armazenado em refrigerador em uma temperatura de aproximadamente 5°C.

**Tabela 2 - Características do Efluente Bruto**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
pH		6,00
Temperatura	°C	24,80
Condutividade	mScm <sup>-1</sup>	2,31
Turbidez	NTU	179,00
Cor	gPt-CoL <sup>1</sup>	218,00
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>1</sup>	344,27

**Fonte: Autoria própria**

As médias dos resultados numéricos para DQO, cor e turbidez do efluente após tratamento do efluente estão contidos na Tabela 3.

É notório nos parâmetros o menor valor em menores velocidades e também o aumento do valor depois que se passa a velocidade 3 que corresponde a 690rpm.

## 6.2 EFLUENTE APÓS TRATAMENTO

**Tabela 3 - Resultados numéricos dos parâmetros do efluente tratado**

ROTAÇÃO	DQO	COR	TURBIDEZ
1	206,75	55,50	65,50
2	248,79	46,00	40,50
3	147,23	13,50	5,50
4	328,56	41,50	25,50

**Fonte: Autoria Própria**

Para testar as velocidades de agitação dentro do reator foi analisada a remoção dos poluentes em função de diferentes velocidades, com o reator funcionando nas condições operacionais previamente definidas (corrente= 5A, pH 6, espaçamento 10mm entre eletrodos e tempo de eletrolise de 30 minutos). Os resultados percentuais da média de remoção de parâmetros são apresentados na Figura 12. Esse percentual foi calculado através da seguinte Equação 03:

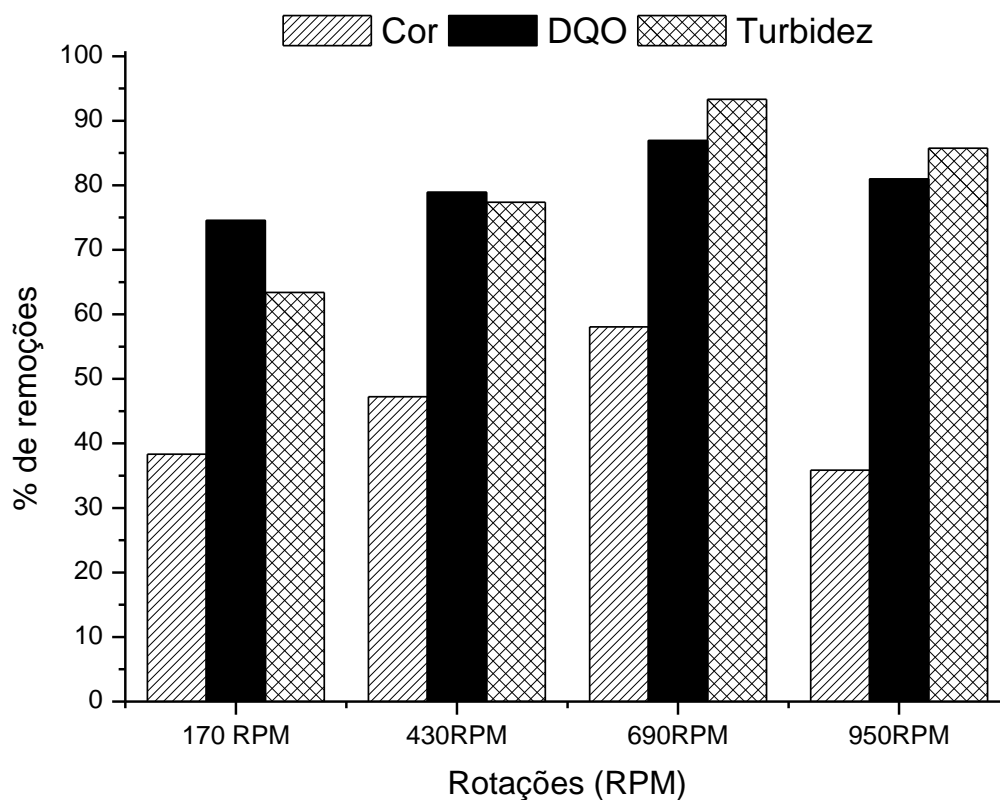
$$Y = (a - b) \cdot \frac{1}{a} \cdot 100 \quad (03)$$

Onde:

Y = resultado em porcentagem

a = valor do parâmetro do efluente bruto

b = valor do parâmetro do efluente tratado



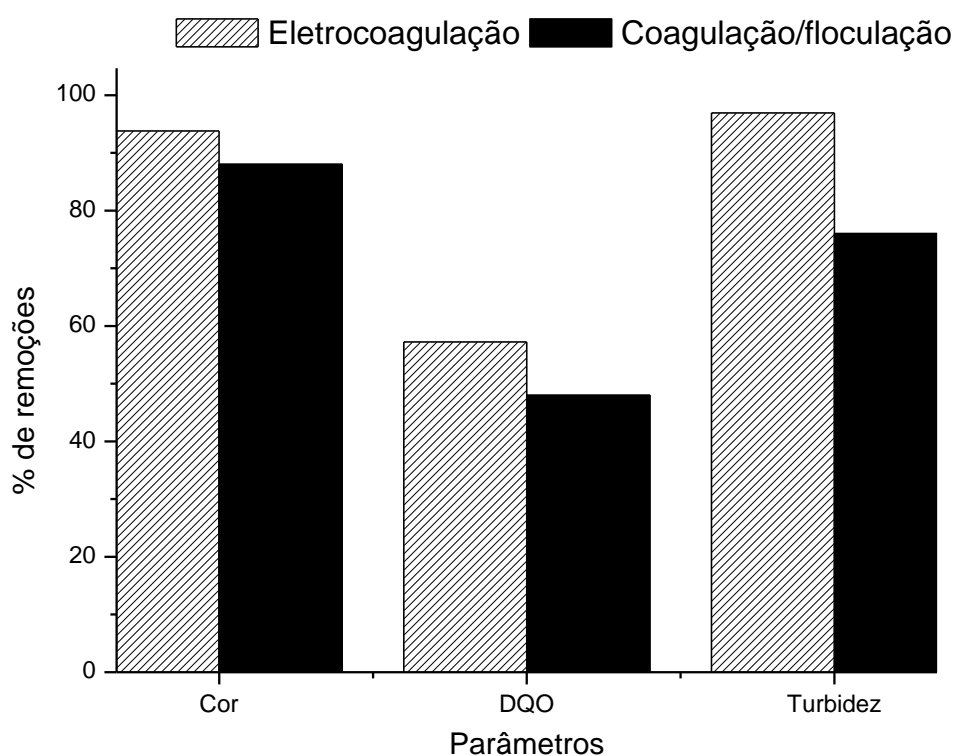
**Figura 11 - Porcentagem de reduções de cor, turbidez e DQO para as 4 diferentes velocidades de rotação**

**Fonte: Aatoria Própria**

Constatou-se que, de encontro com a literatura, a remoção de DQO, cor e turbidez quando tem baixa porcentagem na agitação de menor velocidade (170 rpm) na agitação 2, a porcentagem aumentou, na velocidade 3 essa porcentagem de remoção tem seu pico e após isso a ela diminui nos 3 parâmetros na velocidade 4 (950 rpm) como pode ser observado na Figura 11. A diminuição de DQO, um parâmetro químico, no efluente tratado é satisfatório em relação ao bruto, satisfaz também no sentido de atender a legislação do CEMA (conselho estadual do meio ambiente), que estabelece valor máximo de 200 mg/L enquanto na velocidade de



690 rpm esse parâmetro chegou a 147,23 mg/L ou seja, 26,38% menor que o exigido.



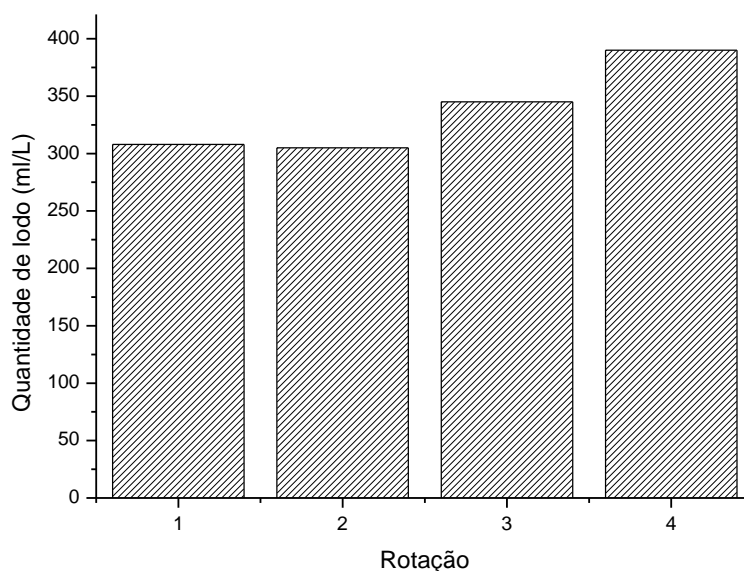
**Figura 12 - Comparação de percentuais de remoção de parâmetros entre efluente tratado por eletrocoagulação e por coagulação/floculação com coagulante químico sulfato de alumínio**

**Fonte: Autoria Própria**

Sendo a melhor rotação para o tratamento do efluente empregado de 690 rpm, obtendo para este valor as seguintes remoções de cor, DQO e turbidez de 93,8%, 57,23% e 96,92% respectivamente pode-se fazer uma comparação entre estes valores após tratamento por eletrocoagulação com os valores obtidos por tratamento de coagulação/floculação utilizando coagulante sulfato de alumínio, que é o tratamento empregado pela lavanderia do estudo, onde os resultados de remoções

estão disponíveis no estudo de Souza, et al (2015), podemos verificar que o tratamento com a eletrocoagulação apresenta os maiores resultados de remoção para os parâmetros analisados, podendo assim ser considerado mais eficiente, como pode ser visto na Figura 12 .

Na Figura 13 está representada a quantidade de lodo obtida pelo ensaio do cone Imhoff, nela pode-se verificar que a quantidade do lodo gerado sobre um pequeno acréscimo em relação aos aumentos da velocidade de agitação dentro do reator.



**Figura 13 - Quantidade de lodo em m/L obtida pelo ensaio do cone Imhoff**

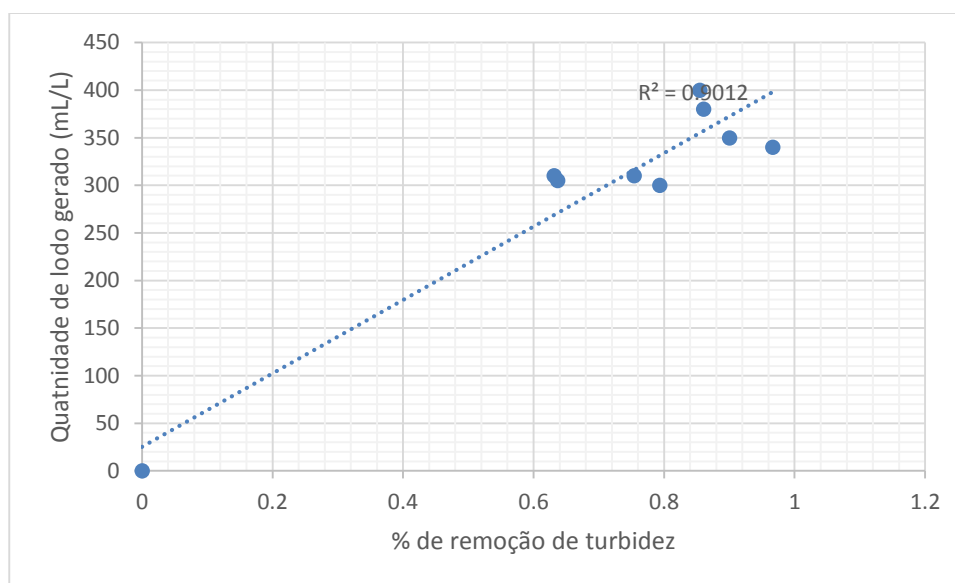
**Fonte: Autoria Própria**

O lodo gerado em cada uma das velocidades de agitação, representou cerca de 30% a 38% do total de 1 litro de efluente que foi depositado no cone.

Para verificar se a quantidade de lodo gerada no processo de eletrocoagulação era próxima a quantidade de lodo gerada no processo de coagulação/floculação, foi realizado o ensaio do cone de Imhoff para o processo de tratamento de coagulação/floculação utilizando o coagulante sulfato de alumínio, na concentração de 200mg/L, tempo de rotação rápida de 5 minutos, com velocidade de 95 rpm, tempo de rotação lenta de 30 minutos, com velocidade de 35 rpm e

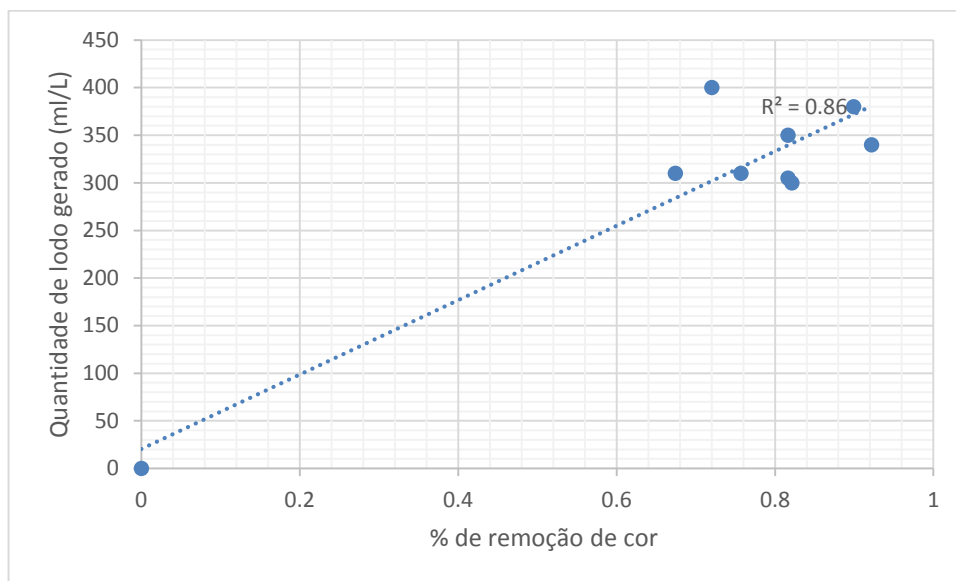
tempo de sedimentação de 30 minutos, conforme ensaios de Couto Junior et al (2015). Os resultados foram realizados em duplicatas obtendo uma média de 17,5mL/L

Para verificar a influencia da produção de lodo na remoção de cor, DQO e turbidez utilizou gráficos de correlação analisando do valor de  $R^2$ .



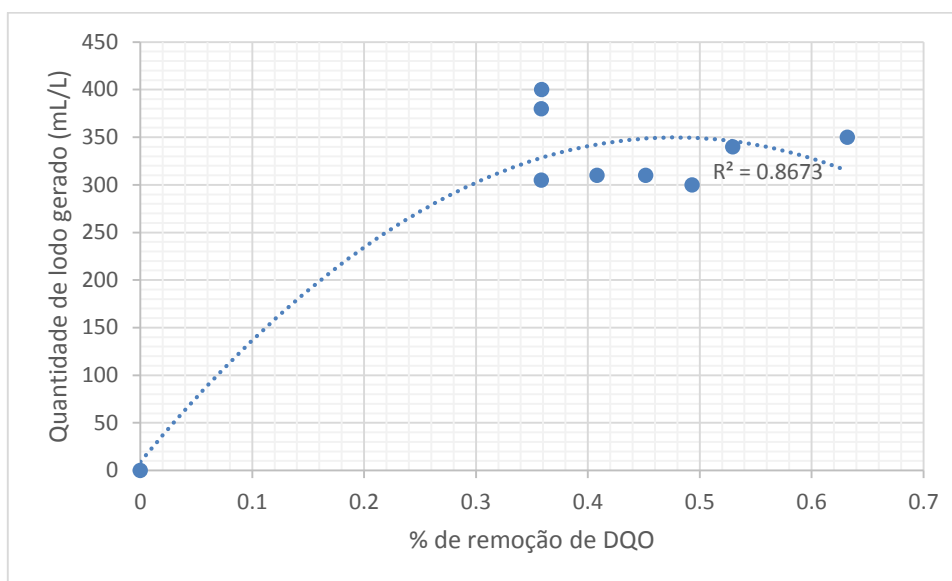
**Figura 14 - Relação entre quantidade de lodo gerado e porcentagem de remoção de turbidez**

**Fonte: Aatoria Própria**



**Figura 15 - Relação entre quantidade de lodo gerado e porcentagem de remoção de cor**  
**Fonte: Autoria Própria**

Conforme as Figuras 14 e 15, verificamos que, para a remoção de cor e turbidez existe uma correlação linear entre a eficiência de remoção destes poluentes e a quantidade de lodo gerada, demonstrando que quanto maior o volume de lodo gerado, melhor a eficiência do tratamento na remoção desses poluentes.



**Figura 16 - Relação entre quantidade de lodo gerado e porcentagem de remoção de DQO**

**Fonte: Autoria Própria**

Para o parâmetro DQO, apresentado na Figura 16, temos que a correlação é polinomial com a concavidade da curva voltada para baixo, isso implica que, para esse parâmetro, a quantidade de lodo gerada aumenta a eficiência até um determinado ponto, o qual a partir dele, sofre um efeito oposto, ou seja, quanto mais lodo, menor a eficiência de remoção deste poluente.

## 7 CONCLUSÃO

A eletrocoagulação se mostrou eficiente na tarefa de remover poluentes de origem químicas e físicas do efluente bruto.

A velocidade 3 (690 rpm) foi tida como a velocidade ótima de tratamento neste trabalho, sendo que nessa velocidade ocorre o pico de porcentagem de remoção de cor, DQO e turbidez e na velocidade seguinte 4 (950 rpm) os parâmetros param de decrescer como vinha acontecendo nas velocidades 1 (170 rpm) e 2 (430 rpm).

Comparado com o tratamento de coagulação/floculação utilizando o coagulante sulfato de alumínio, o tratamento de eletrocoagulação apresentou maiores valores de porcentagem de remoção para os parâmetros cor, DQO e turbidez.

## 8 REFERÊNCIAS

APHA-AWWA-WPCF, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th Edição. American Public Health Association, Washington, DC, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10561: Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de Imhof. Rio de Janeiro, 1988.

BRITO, Luiza. T.; SILVA, Dinart A.; CAVALCANTI, Nilton B.; ANJOS, José B.; REGO, Maurício M. Alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água no semi árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 1999. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v3n1/1415-4366-rbeaa-03-01-01111.pdf>> Acesso em: 15.mar.2016

Cartilha de Indústria Têxtil e de Confecções, Associação brasileira de indústria têxtil e de confecção; **Indústria têxtil e de confecção brasileira**. Brasília, 2013

CHEN, Guohua. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology, v.38, n.1, p.11-41, 2004. **Kowloon**, Hong Kong. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636>>. Acesso em 20.out.2015

COUTO, Junior; OSORIO, Moreira; BARROS, MARIA A. S. D.; PEREIRA, Nehemias C. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. Maringá. v.35, p.83-88. 2013. **Acta Scientiarum**. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/11685/pdf>> Acesso em: 17.jun.2016

CRESPILHO, Frank N.;SANTANA, Claudemir. G.;REZENDE, Maria O. Tratamento de efluentes da industria de processamento de coco utilizando eletroflotação, V. 27, n . 3, p. 387-392, 2004 **Quim. Nova**, São Carlos, Disponível em: <[https://blu185.mail.live.com/mail/ViewOfficePreview.aspx?messageid=mg\\_S8aB4BZ5RGnVAAhWtbhig2&folderid=flinbox&attindex=4&cp=-1&attdepth=4&n=70490975](https://blu185.mail.live.com/mail/ViewOfficePreview.aspx?messageid=mg_S8aB4BZ5RGnVAAhWtbhig2&folderid=flinbox&attindex=4&cp=-1&attdepth=4&n=70490975)> Acesso em 08.nov.2015

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**, Tabriz, v.148, n.3, p.566-572, september. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407003639>> Acesso em 15.nov.2015

FIESP/CIESP. **Conservação e reuso da água: manual de orientações para o setor industrial**. V. 01, 2004, 90 p. São Paulo, 2004.

GONÇALVES, Angela. Conheça os danos causados pelos efluentes não tratados. Publicado em 14-11-2013. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/350779/Conheca-os-danos-causados-pelos-efluentes-nao-tratados>> Acesso em: 03.abr.2016

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent –review. **Journal of Environmental Management**. New Delhi. V. 128. 2013. p. 949 -963. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713004465>> Acesso em: 03.abr.2016

KOBYA, M.; HIZ, H.; Senturk, E.; Aydiner, C; Demirbas, E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, Gebze, n. 190, p. 201- 211, 2006. Disponível em : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916406001378>.> Acesso em: 11.nov.2015

KOPARAL.S.A.; OUTVEREN, U.B. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, Eski, v.89 n.1 p. 83-94, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389401003016>> Acesso em: 15.nov.2015

KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. Elsevier B.V . Separation and Purification Technology. Roorkee. v.76. 2010. p. 198–205. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586610003990>> Acesso em: 30.out.2015



LEGISLAÇÃO brasileira. Resolução CEMA (Conselho estadual do meio ambiente) Nº 70/2009 Disponível em:  
<[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/resolucao\\_cema\\_70\\_2009.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf)> Acesso em: 20.nov.2015

LEGISLAÇÃO brasileira. Resolução CONAMA (Companhia Nacional do Meio Ambiente) Nº 430/2011. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol\\_lanceflue\\_30e31mar11.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf)> Acesso em: 20.nov.2015

MERZOUK, B.; GOURICH, B.; SEKKI, A; MADANI, K.; CHIBANE, M. Removal turbidity and separation of heavy metals using eletrocoagulation-eletroflotation technique. **Journal of Hazardous Materials**, Algeria, v.164, p.215–22, 2009. Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/publication/23264737\\_Removal\\_Turbidity\\_and\\_Separation\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_Using\\_Electrocoagulation-Electroflotation\\_Technique\\_-\\_a\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/23264737_Removal_Turbidity_and_Separation_of_Heavy_Metals_Using_Electrocoagulation-Electroflotation_Technique_-_a_Case_Study)> Acesso em: 15.nov.2015

MODIRSHAHLA, N; BEHNAJADY, M. A.; MOHAMMADI-AGHDAM, S. Investigation of the effect of different electrodes and their connections on the removal efficiency of 4-nitrophenol from aqueous solution by electrocoagulation. **J. Hazard. Mater**, Epub. 2008. v. 154 , p. 778 e 786. Disponível em:  
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18162293>> Acesso em:09.dez.2015

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOSVSKY, P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **J. Hazard Mater**. V. 114, p. 199-210, 2004. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389401001765>>. Acesso em: 14.out.2015

MOUEDHEN, G.; FEKI, M.; PETRIS WERY, M.; AYEDI, H.F. Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. **Journal of Hazardous Materials**. Orsay, v. 150. 2008 p. 124–135. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407005882>> Acesso em: 14.nov.2015

NUNES, José A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3ª Edição, Editora Triunfo Ltda. Aracaju/ Sergipe 2001.

PEREIRA, Aline F.S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil.** 2007, 91 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000423555>> Acesso em: 14.out.2015

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

SANIN, L. B. B. A Indústria têxtil e o meio ambiente. **Revista Tecnologia e Meio Ambiente.** Congresso da FLAQT – Caracas, p. 13-34, 1997..

SOUZA, P. C.; PEREIRA N. C.; KREUTZ C.; SCHIAVON G. J. ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. APLICAÇÃO DE PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE TEXTIL. 2015, São Carlos. **Anais.** Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/PS-370.pdf>> Acesso em: 09.dez.2015

VALENTE, F. G. 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. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS. **Anais.** São Paulo. 2013.

THEODORO, Paulo S. **Utilização da Eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria galvânica.** 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010.