

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS MEDIANEIRA**

**LEANDRO FLECK**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS  
AO TRATAMENTO DE UM EFLUENTE TÊXTIL POR  
ELETROFLOCULAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA  
2011**

**LEANDRO FLECK**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS  
AO TRATAMENTO DE UM EFLUENTE TÊXTIL POR  
ELETROFLOCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial à obtenção do Grau de Tecnólogo, no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, promovido pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Medianeira*.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Eyng

Co-orientador: Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare

**MEDIANEIRA  
2011**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### **Aplicação do Controle Estatístico de Processos ao Tratamento de um Efluente Têxtil por Eletrofloculação**

Por

**Leandro Fleck**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 18:40 h do dia 28 de novembro de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Eduardo Eyng  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(Co- orientador)

---

Profa. Dra. Elizandra Sehn  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(Convidado)

---

Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival  
Bittencourt  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(Convidado)  
(Responsável pelas atividades de  
TCC)



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida e saúde.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Medianeira, pela oportunidade de realizar minha graduação, e por permitir a realização dos procedimentos laboratoriais necessários à realização do presente estudo, disponibilizando laboratórios e o que se fez necessário.

Agradeço a todos os Professores do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, e principalmente, aos professores Eduardo Eyng e Laércio Mantovani Frare pela orientação, paciência e amizade demonstrados durante a realização do estudo.

A todos os colaboradores da UTFPR, e à indústria têxtil pela confiança, incentivo e concessão do efluente para a realização deste trabalho.

Aos amigos, e principalmente minha família que me apoiaram e incentivaram em todos os momentos da caminhada acadêmica.

E finalmente a todas as pessoas que participaram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, contribuindo tanto com orientações, quanto com afetividade e paciência.

## RESUMO

FLECK, Leandro. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos ao Tratamento de um Efluente Têxtil por Eletrofloculação**. 2011. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

Devido ao desenvolvimento industrial em grande escala a qualidade dos recursos naturais, dentre os quais se destaca a água, encontra-se bastante deteriorada. Os resíduos provenientes de indústrias têxteis possuem baixos níveis de degradação, podendo de tal forma poluir os mananciais nos quais entram em contato, por possuírem a características de serem persistentes no ambiente. Sendo assim, o presente estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação, utilizando eletrodos de sacrifício de alumínio (Al) em um efluente líquido de uma indústria têxtil, visando estimar a frequência de troca dos mesmos quando aplicados ao efluente têxtil, aplicando a técnica do controle estatístico de processos. Foram utilizados durante todo procedimento experimental dois eletrodos de alumínio, conectados de forma independentes, sem contato direto entre si, conectados a uma fonte de corrente contínua, sob condições otimizadas de corrente elétrica, condutividade elétrica e tempo de reação, onde o efluente entrava em contato direto. A eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez dos ensaios eletroquímicos e do grupo de controle foi calculada com base no efluente bruto. Por meio da corrida experimental como um todo, pôde-se perceber que a eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez no efluente têxtil submetido à análise foi mais significativa no processo eletroquímico em praticamente todos os ensaios, quando comparado ao grupo de controle. Em relação à eficiência dos eletrodos de sacrifício utilizados no tratamento eletroquímico, pode-se perceber que mesmo com a estrutura física sendo danificada a eficiência manteve-se ao longo do processo.

**Palavras chave:** Efluente Têxtil. Tratamento Eletroquímico. Controle Estatístico de Processos.

## ABSTRACT

FLECK, Leandro. **Application of Statistical Process Control to the Treatment of Textile Wastewater by Electroflocculation**. 2011. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

Due to large-scale industrial development in the quality of natural resources, among which stands out the water, is very deteriorated. Waste from textile industries have low levels of degradation, so could pollute the water sources in which they come into contact, they had characteristics of being persistent in the environment. Therefore, this study was to apply the technique of electroflocculation using sacrificial electrodes of aluminum (Al) in a liquid effluent from a textile industry to estimate the frequency of exchange of the same when applied to textile effluent by applying the technique of statistical process control. Were used throughout experimental procedure two aluminum electrodes, connected independently, without direct contact with each other, connected to a DC source, under optimum conditions of electrical current, electrical conductivity and reaction time, where the effluent was in contact direct. The removal efficiency of turbidity and color parameters of the electrochemical test and control group was calculated using the raw effluent. Through experimental run as a whole, can be seen that the removal efficiency of color and turbidity parameters in textile effluent to be analyzed was more significant in electrochemical process in virtually all trials, compared to the control group. Regarding the efficiency of sacrificial electrodes used in electrochemical treatment, one can see that even whit the physical structure being damaged efficiency was maintained throughout the process.

**Keywords:** Textile Effluent. Electrochemical Treatment. Statistical Process Control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura molecular de um corante têxtil azóico .....	12
Figura 2 – Sistema da montagem dos eletrodos .....	23
Figura 3- Montagem experimental para realizar a eletrofloculação .....	24
Figura 4- Decantação das amostras .....	25
Figura 5- Representação gráfica da eficiência de remoção de cor do efluente eletrofloculado .....	28
Figura 6- Representação gráfica da eficiência de remoção de cor do grupo de controle .....	29
Figura 7- Paralelo entre a eficiência de remoção de cor do efluente eletrofloculado e grupo de controle .....	30
Figura 8- Representação gráfica da eficiência de remoção de turbidez do efluente eletrofloculado .....	33
Figura 9- Representação gráfica da eficiência de remoção de turbidez do grupo de controle.....	33
Figura 10- Paralelo entre a eficiência de remoção de turbidez do efluente eletrofloculado e grupo de controle .....	34

## LISTA DE QUADROS

Quadro1- Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento de efluentes têxteis.....	18
Quadro 2- Comparação entre os processos eletrolítico e lodos ativados utilizados no tratamento de efluentes.....	19
Quadro 3- Eficiência de remoção de cor .....	27
Quadro 4- Teste T(Tukey) aplicado a remoção do parâmetro cor.....	27
Quadro 5- Eficiência de remoção de turbidez .....	31
Quadro 6- Teste T(Tukey) aplicado a remoção do parâmetro turbidez.....	32
Quadro 7- Consumo de alumínio por quantidade de efluente eletrofloculado..	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>09</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
2.1 EFLUENTES TÊXTEIS E A PROBLEMÁTICA DOS CORANTES .....	12
2.2 CLASSIFICAÇÕES DE CORANTES TÊXTEIS.....	13
2.2.1 Corantes reativos .....	14
2.2.2 Corantes diretos .....	14
2.2.3 Corantes azóicos.....	15
2.2.4 Corantes ácidos .....	15
2.3 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....	15
2.4 ELETROFLOCULAÇÃO.....	16
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ALGUNS DOS MÉTODOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	18
2.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES .....	19
2.6.1 Turbidez .....	19
2.6.2 Cor.....	20
2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP).....	20
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL .....	22
3.1.1 Procedimento experimental.....	23
3.1.2 Pesagem dos eletrodos de sacrifício.....	25
3.2 PARÂMETROS AVALIADOS .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>26</b>
4.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO .....	26
4.2 RELAÇÃO ENTRE O DESGASTE DE ELETRODOS DE SACRIFÍCIO X QUANTIDADE DE EFLUENTE TRATADO .....	35
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>36</b>
<b>6. SUGESTÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a existência da vida, na forma que nós conhecemos. Nosso planeta está inundado d'água; um volume de aproximadamente 1,4 bilhão de km<sup>3</sup> cobre cerca de 71% da superfície da Terra. Apesar disso, muitas localidades ainda não têm acesso a quantidades de água com características de potabilidade adequadas às necessidades do consumo humano (GRASSI, 2001).

A quantidade de água disponível nos dias de hoje em todo o planeta é praticamente a mesma desde que o mundo ganhou forma definitiva. Contudo, embora a quantidade de água permaneça a mesma, esta água tem distribuição e utilização diferentes do que era antigamente (PRADO, 2006).

Em geral, a água potável, em quantidade e qualidade adequadas para o suprimento das necessidades básicas do ser humano esta cada vez mais escassa no planeta. Em 2007 a ONU (Organização das Nações Unidas) declarou que cerca de 1,1 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso a água potável e estima-se que dois milhões de crianças morrem todos os anos pela falta dela ou de saneamento básico (FARIA, 2008).

A contaminação de águas naturais tem sido um dos grandes problemas da sociedade moderna; no qual, o setor têxtil apresenta especial destaque, devido à suas instalações gerarem grandes quantidades de efluentes, os quais quando não adequadamente tratados, podem causar sérios problemas ao meio natural.

A legislação ambiental, cada vez mais rigorosa, está obrigando o tratamento dos efluentes antes do descarte, para evitar problemas ecológicos e toxicológicos sérios (CERQUEIRA, 2006), podendo ser destacada a Resolução CONAMA Nº 237, DE 19 de dezembro DE 1997, que cita em seu corpo de texto muitas atividades potencialmente geradoras de poluição, onde, dentre as quais encontramos as indústrias têxteis, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, que possuem como característica efluentes de difícil degradação no meio ambiente.

Dellamatrice (2005) afirma que os resíduos provenientes de indústrias têxteis possuem baixos níveis de degradação, podendo de tal forma poluir os

mananciais nos quais entram em contato, por possuírem a características de serem persistentes no ambiente.

Os efluentes provenientes destas indústrias possuem uma ampla variedade de corantes e outros produtos tais como dispersantes, ácidos, bases, sais, detergentes, umectantes, oxidantes, entre outros. O efluente líquido final provém de águas de processo, águas de lavagem e águas de resfriamento. As águas de lavagem representam 60% a 70% do total do consumo de água. Apresentam elevados valores da demanda química de oxigênio (DQO), condutividade elétrica e normalmente são alcalinos.

Segundo Cerqueira (2006) muitos são os métodos utilizados no tratamento de efluentes industriais e estes podem ser divididos em 3 categorias: químicos, físicos e biológicos. Os métodos de tratamento estão diretamente relacionados ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da atividade industrial e das características da água utilizada.

Em tratamento de efluentes têxteis, os processos químicos são baseados na reação do corante com alguma substância que o converta em uma substância ambientalmente menos prejudicial. Os físicos procuram a remoção do corante por meio de retenção deste em algum meio adsorvente ou filtrante. Por último, os biológicos utilizam oxidação através de bactérias em condições aeróbias ou anaeróbias. Contudo, muitos de tais métodos acabam apresentando desvantagens que muitas vezes acabam diminuindo muito sua viabilidade.

Devido à dificuldade de fazer o tratamento dos efluentes das indústrias têxteis, novas tecnologias têm sido investigadas. Sendo assim, Cerqueira (2006) afirma que “a eletrofloculação surge com uma técnica promissora, devido à sua eficiência e possibilidade de reuso da água”.

Segundo Loureiro (2008) a eletrofloculação vem desempenhando papel importante entre as técnicas não-convencionais de tratamento de águas e efluentes industriais. E isso se deve a sua versatilidade, tanto no modo operacional quanto na eficiência de remoção de contaminantes.

Em geral, poucos estudos têm sido conduzidos na aplicação de métodos baseados em processos eletroquímicos. Entretanto, no processo de eletrofloculação não há a necessidade da etapa de adição de floculantes. Adicionalmente, a formação do lodo residual indesejável pode ser evitada.

Trata-se de um processo eletroquímico baseado na geração de gases (geralmente  $O_2$  ou  $H_2$ ) as quais substituem os aditivos floclantes. O processo consiste em quatro etapas, sendo elas: (1) geração de pequenas bolhas de gás; (2) contato entre as bolhas e as partículas em suspensão; (3) adsorção das pequenas bolhas de gás na superfície das partículas e (4) ascensão do conjunto partículas/bolhas para a superfície. Então, toda a matéria em suspensão é eletroflotada, provocando o clareamento do líquido tratado. Na superfície, forma-se uma camada de espuma que contém as partículas flotadas que são facilmente removidas (PASCHOAL; FILHO, 2005).

Logo, o presente estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação, utilizando eletrodos de sacrifício de alumínio (Al) em um efluente líquido de uma indústria têxtil, com base em valores ótimos de variáveis como condutividade elétrica, intensidade de corrente, e tempo de retenção, obtidos através do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

A principal contribuição do presente estudo foi verificar a eficiência e durabilidade dos eletrodos de alumínio utilizados no processo de eletrofloculação, visando estimar a frequência de troca dos mesmos quando aplicados ao efluente líquido de uma indústria têxtil, aplicando a técnica do controle estatístico de processos, por meio da qual é possível identificar causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar o desenvolvimento de determinada atividade e/ou processo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 EFLUENTES TÊXTEIS E A PROBLEMÁTICA DOS CORANTES

Os efluentes têxteis caracterizam-se por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento (KUNZ *et al*, 2001).

Mesmo em baixas concentrações, a presença de corantes no efluente é extremamente indesejável. A maioria dos corantes são resistentes à exposição à luz, à água e a muitos produtos químicos devido a estes possuírem estrutura complexa e de origem sintética (CERQUEIRA, 2006). Na Figura 1 é possível observar a estrutura molecular de um corante azóico.

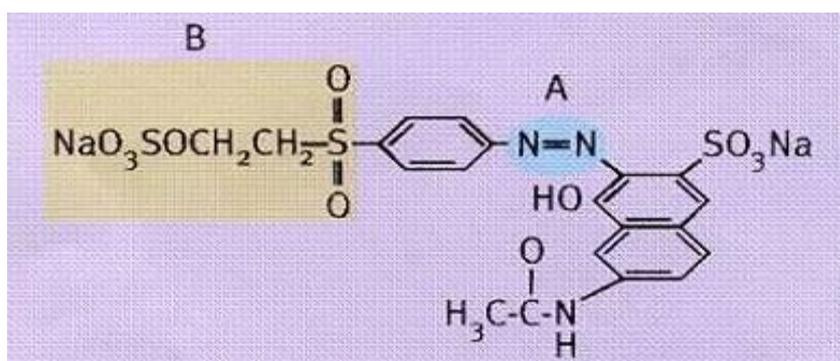


Figura 1- Estrutura molecular de um corante têxtil azóico.  
Fonte: Zanoni *et al* (2001).

A remoção de corantes de efluentes industriais é uma tarefa complexa, porque, em geral, eles são estáveis e de difícil degradação. Uma forte coloração é a característica mais notória no efluente têxtil e está associada aos corantes empregados no tingimento. Apesar de sua coloração bem visível, a concentração do corante no efluente é baixa afetando não só a estética, mas a transparência das águas e a solubilização de gases em lagos, rios e outros corpos aquáticos, causando danos à flora e à fauna. A remoção ou a descoloração de corantes de águas residuárias constitui-se em uma grande preocupação da indústria têxtil, antes do descarte, devido à rigorosa legislação vigente (PASCHOAL; FILHO, 2005). Em geral, a maior preocupação com relação aos efluentes têxteis está associada à ampla utilização de corantes sintéticos da família dos azocorantes, os quais possuem caráter carcinogênico

e mutagênico, além de elevada resistência à degradação natural (DEL MONEGO, 2007).

A indústria têxtil utiliza aproximadamente 10.000 diferentes tipos de corantes e cerca de 50% de todos corantes usados são do tipo azo, sendo que alguns desses são altamente perigosos. A cor nos corantes é devido às ligações azo e a presença de cromóforos. A fixação da cor ocorre primeiramente quando os corantes são adsorvidos dentro da celulose e posteriormente reagem com a fibra, por ligações covalentes a qual é muito resistente, favorecendo o interesse e aplicação dos mesmos. Em geral, os corantes são caracterizados por dois grupos principais: um grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional que permite a fixação nas fibras do tecido (OLIVEIRA, 2006).

Estima-se que em média 20% dos corantes têxteis sejam descartados em efluentes, devido às perdas ocorridas durante o processo de fixação às fibras. A remoção desses compostos dos rejeitos industriais, considerando que os corantes não pertencem a uma mesma classe de compostos químicos, englobando diversas substâncias com grupos funcionais diferenciados, com grande variedade na reatividade, solubilidade, volatilidade, estabilidade, por sua vez, requerem métodos específicos para identificação, quantificação e degradação. Não é possível, remover adequadamente qualquer corante, adotando apenas um procedimento, e também o uso rotineiro de vários aditivos químicos, antiespumantes, dispersantes, ajustadores de pH, adicionados durante o banho de tintura, dificulta o processo de remoção (DEL MONEGO, 2007).

## 2.2 CLASSIFICAÇÕES DE CORANTES TÊXTEIS

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo e etc.) ou de acordo com o método pelo qual ele é fixado à fibra têxtil (CERQUEIRA, 2006). Os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação são mostrados a seguir.

### 2.2.1 Corantes reativos

São corantes utilizados principalmente em fibras celulósicas; possuem um grupo eletrofílico (reativo) que são capazes de formar ligações covalentes com grupos hidroxila das fibras da celulose e também com grupos amino das poliamidas. Existe uma grande variedade de tipos de corantes reativos, entretanto aqueles que possuem como grupos cromóforos às funções azo e antraquinona e como grupos reativos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila são os principais representantes. Nesta classe de corantes, a interação com a fibra é feita através de uma ligação covalente onde o grupo nucleofílico do corante é substituído pelo grupo hidroxila da celulose (SOUZA, 2006).

Este grupo de corantes apresenta como característica uma alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, cuja ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido, quando comparado a outros tipos de corante em que o processo de coloração se opera através de ligações de maior intensidade (CERQUEIRA, 2006).

### 2.2.2 Corantes diretos

Este grupo de corantes caracteriza-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de Van der Waals. A afinidade do corante é aumentada pelo uso de eletrólitos, pela planaridade na configuração da molécula do corante ou a dupla ligação conjugada que aumenta a adsorção do corante sobre a fibra. Esta classe de corantes é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazó, triazo e etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos (VASQUES, 2008).

Nas últimas décadas as atividades de pesquisa dos fabricantes de corantes diretos têm sido relativamente pequenas quando comparadas à grande comercialização dessa classe de corante. A grande vantagem desta classe de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüentemente diminuição do conteúdo do corante nas águas de descarte (DEL MONEGO, 2007).

### 2.2.3 Corantes azóicos

São compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento (naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio ( $\text{RN}_2^+$ ) provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra e produz um corante insolúvel em água (CERQUEIRA, 2006).

Em geral, os corantes azóicos possuem o grupo  $-\text{N}=\text{N}-$  (grupo azo). A reação do aço nitroso (HONO) com uma anilina  $\text{Ar-NH}_2$  origina o  $\text{Ar-N}=\text{N}^+$  (íon diozônio), que rapidamente reage com outras anilinas ou fenóis originando a formação de compostos azóicos (DEL MONEGO, 2007).

### 2.2.4 Corantes ácidos

O termo corante ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. No processo de tintura, o corante previamente neutralizado em solução contendo cloreto, acetato, hidrogenossulfato entre outros, se liga à fibra através de uma troca iônica envolvendo o par de elétrons livres dos grupos amino e carboxilato das fibras protéicas, na forma não-protonada. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azos, antraquinona, triarilmetano, azinas, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornece uma ampla faixa de coloração e grau de fixação (DEL MONEGO, 2007). Em geral, são corantes solúveis em água, com grande importância em fibras protéicas e poliamida sintética (SOUZA; ROSADO, 2009).

## 2.3 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

O processo de coagulação-floculação tem sido muito utilizado para o tratamento de efluentes industriais. Em geral, os sais de metal hidrolizantes de ferro e alumínio são amplamente utilizados como coagulantes primários para formar agregados em efluentes e reduzir a concentração de corantes e outros

compostos orgânicos dissolvidos. Uma característica importante dos efluentes têxteis é que uma grande parte dos poluentes permanece em forma coloidal, ou seja, não dissolvida, porém não sedimentável (FURLAN, 2008).

Segundo Oliveira *et al* (2001, *apud* BARROS e NOZAKI, 2011) existem casos em que torna-se necessário o uso de auxiliares de floculação e coagulação, onde os auxiliares de coagulação beneficiam a floculação, aumentando a decantação e melhorando o enrijecimento dos flocos, sendo os mais usados os polieletrólitos naturais ou sintéticos.

## 2.4 ELETROFLOCULAÇÃO

Durante o século XX, algumas plantas piloto de eletrofloculação começaram a ser estudadas, mas logo foram abandonadas em decorrência da complexidade das etapas que envolvem processos hidrodinâmicos acoplados a sistemas eletroquímicos. Atualmente vários fenômenos relacionados a processos de coagulação por meio eletroquímico já são bem conhecidos e podem ser aplicados a modelos hidrodinâmicos (BORBA, 2010). Pesquisadores estão desenvolvendo processos de tratamento utilizando reatores eletroquímicos para a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. Estes processos ocorrem no interior de um reator eletroquímico na vizinhança dos eletrodos, onde ocorrem as reações de coagulação.

A eletrofloculação baseia-se nos princípios dos processos eletroquímicos, largamente utilizados nas indústrias galvânicas e exaustivamente apresentados na literatura, sendo os fenômenos da eletrólise a base do processo de tratamento. O efluente a ser tratado passa entre eletrodos, placas de ferro e/ou alumínio, dispostas paralelamente, em fluxo horizontal ou vertical, alimentados por corrente elétrica contínua, fornecida por uma fonte auto-regulada. Durante o tratamento as moléculas orgânicas dissolvidas na água por constante iônica (como uma boa parte dos corantes orgânicos) e os sais inorgânicos, sofrem dissociação eletrolítica, perturbando o equilíbrio iônico do meio, insolubilizando um grande número de moléculas orgânicas e transformando as inorgânicas. Varias reações acontecem ao nível dos eletrodos, reduzindo os poluentes por dissociação, oxidação, coagulação, floculação e sedimentação ou flotação. No ânodo (eletrodo positivo) são gerados íons de Ferro e/ou Alumínio,

dependendo do material construtivo adotado, que se hidrolisa, formando o agente de coagulação, hidróxidos insolúveis como o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e/ou  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , adsorvendo os fragmentos insolubilizados dos poluentes, produzindo assim os flocos, clarificando o efluente e reduzindo significativamente parâmetros como, DQO, DBO, Óleos e Graxas, Detergentes, Fenóis, Sólidos, Metais Pesados, entre outros (LOUREIRO, 2008).

Por ser um processo físico-químico, a eletrofloculação, apresenta um nível de resposta muito rápido, com tempo de início de reações química variando entre 5 a 30 minutos, muitas vezes inferior ao que é necessário para os processos biológicos, que variam entre 6 e 24 horas. Outro aspecto muito favorável à aplicação da eletrofloculação, é sua capacidade de acompanhar as variações sazonais, podendo ser ajustado rapidamente aos aumentos de vazão e carga, o que não é possível para os processos biológicos.

Paschoal e Filho (2005) afirmam que a eletrofloculação pode ser um método promissor no processo de reciclagem da água, uma vez que combina a oxidação parcial do poluente, por via eletrolítica com a precipitação físico-química ou eletroquímica do lodo.

Segundo Cerqueira (2006), o mecanismo da eletrofloculação é altamente dependente da química do meio aquoso, especialmente a condutividade. Além disso, outras características, tais como pH, tamanho da partícula e concentrações dos constituintes influenciam também o processo de eletrofloculação. Conseqüentemente, a seleção apropriada dos materiais é muito importante, e os mais comuns são o alumínio e o ferro, pois apresentam baixo custo, são eficazes e prontamente disponíveis. Assim, ambos são geralmente utilizados em estudos eletroquímicos.

A eletrofloculação tem sido usada com sucesso no tratamento de poluentes orgânicos e inorgânicos, de diversos seguimentos industriais, onde Cerqueira (2006) fez uma aplicação do processo de eletrofloculação no tratamento de efluentes de uma indústria têxtil, realizado em um reator de batelada utilizando eletrodos de ferro e alumínio. Os resultados obtidos indicaram que o processo de eletrofloculação nas condições operacionais estudadas é uma alternativa tecnicamente viável para a remoção de cor e turbidez, a qual foi respectivamente de 95% e 100%.

Segundo Borba (2010) são muitas as vantagens da utilização do processo da eletrofloculação para o tratamento de efluentes, dentre os quais podemos destacar a necessidade de equipamentos relativamente simples e de fácil operação, em que a corrente e o potencial aplicado, podem ser medidos e controlados de maneira automatizada; há um maior controle na liberação do agente coagulante, em comparação com os processos físico-químicos convencionais; remove as partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação; contudo, podem existir também, pontos negativos, tais como: o uso de eletricidade pode ser caro em alguns lugares; um filme de óxido pode ser formado no cátodo, conduzindo à perda de eficiência da unidade e; pode existir a necessidade de troca regular dos eletrodos.

## 2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ALGUNS DOS MÉTODOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A partir do Quadro 1 é possível observar algumas vantagens e desvantagens de alguns métodos que podem ser empregados no tratamento de efluentes têxteis.

<b>MÉTODO</b>	<b>VANTAGEM</b>	<b>DESVANTAGEM</b>
Reagente Fenton	Efetiva descoloração de corantes	Geração de lodo
Ozonização	Aplicado no estado gasoso: não há a alteração no volume	Tempo de meia-vida curto (20 min)
Fotoquímico	Não há a produção de lodo	Formação de produtos
Carvão ativado	Boa remoção de uma ampla variedade de corantes	Bem expansivo
Turfa	Bom adsorvente devido a estrutura molecular	Baixas áreas de superfície de adsorção
Lascas de madeira	Boa capacidade de sorção de corantes ácidos	Requerem longos tempos de retenção
Filtração / membrana	Remove todos os tipos de corantes	Produção de lodo concentrado
Troca iônica	Regeneração: não perde adsorvente	Não é efetivo para todos os corantes
Irradiação	Oxidação efetiva em escala laboratorial	Requer muito oxigênio dissolvido

Quadro1- Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento de efluentes têxteis. Fonte: JODICKE (2001 *apud* FREITAS, 2002).

No Quadro 2 é possível observar vantagens e desvantagens do tratamento eletrolítico, comparado ao tratamento de lodos ativados, largamente utilizado em diversos sistemas de tratamento industriais.

<b>Fatores</b>	<b>Eletrolítico</b>	<b>Lodos Ativados (média)</b>
Investimento (%)	70	100
Consumo de Energia (kWh/m <sup>3</sup> )	0,15	0,4
Tempo de retenção no reator (horas)	0,5	7,5
Toxidez (sensibilidade)	Pouco sensível	Muito sensível
Sensibilidade a mudanças de pH	Baixa	Alta
Flexibilidade (localização / tipo de efluente)	alta	Baixa
Salinidade elevada	Melhora a eficiência	Muito sensível
Temperatura	Suporta flutuação	Faixa estreita
Volume de lodo úmido (comparativo)	33	100
Remoção de nitrogênio total (%)	65	40
Remoção de fosfatos (%)	99,7	45
Remoção de DBO (%)	80	90
Remoção de DQO (%)	80	90

Quadro 2- Comparação entre os processos eletrolítico e lodos ativados utilizados no tratamento de efluentes.

Fonte: SPERLING (1996 *apud* CERQUEIRA, 2006).

## 2.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES

Sperling (2007) afirma que os principais parâmetros utilizados na análise da qualidade da água de cursos hídricos são parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo respectivamente cor, turbidez, pH, e organismos de contaminação fecal alguns dos mais importantes. A seguir serão abordados os parâmetros de maior influência no presente estudo e que estão diretamente relacionados aos efluentes têxteis e à qualidade da água dos cursos hídricos.

### 2.6.1 Turbidez

A medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água é chamada de Turbidez; causada principalmente por matérias sólidas em suspensão (silte, argila, colóides, matéria orgânica, etc.) (CORREIA *et al*, 2008). A presença de partículas em suspensão, que causam a turbidez, ou de

substâncias em solução, relativas à cor, pode concorrer para o agravamento da poluição. A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio. Além disso, prejudica a ação dos agentes desinfetantes, como o cloro, por exemplo, pois acaba protegendo certos microorganismos da ação destes agentes, e, além disso, causa péssimo aspecto à água, tornando-a turva (FARIAS, 2006).

### 2.6.2 Cor

Santos *et al* (2006), afirmam que efluentes oriundos da indústria têxtil contém compostos de alto conteúdo de matéria orgânica, surfactantes, aditivos e de forte coloração, sendo considerada a cor dos efluentes um dos indicadores bastante importantes de poluição.

A partir da década de 70, avaliar a cor da água passou a ser uma medida importante no controle de qualidade da mesma, pois foi comprovado que os materiais dissolvidos, causadores da cor, são precursores de substâncias potencialmente carcinogênicas. Sendo assim, a cor do corpo hídrico, ou do efluente, passou a ser associado a inconvenientes sanitários (LEAL; LIBÂNIO, 2002). Além disso, a cor nas águas pode suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'águas (DA SILVA *et al.*, 2004).

## 2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)

Segundo Ribeiro e Caten (2011) o controle estatístico do processo, ou CEP, é um sistema de inspeção por amostragem, operando ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar o desenvolvimento de determinada atividade. Uma vez identificadas as causas, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente determinado processo.

Em geral, o CEP fornece uma radiografia do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando o controle dessa variabilidade ao longo do tempo através da coleta de dados continuada, análise e bloqueio de possíveis

causas especiais que estejam tornando o sistema instável (RIBEIRO; CATEN, 2010).

O CEP encontra-se fundamentado na utilização de métodos e técnicas de natureza estatística. Alguns métodos estatísticos surgiram em busca de soluções para problemas relacionados à qualidade, entendimento e previsibilidade dos processos e melhorias dos mesmos (PIRES, 2000).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo coletou-se efluente de uma indústria têxtil localizada no município de Céu Azul (PR), no dia 20 de agosto de 2011, o qual foi armazenado sob refrigeração para posteriores análises, visando desta forma, manter as características físico-químicas da amostra.

Realizaram-se análises do efluente bruto, grupo de controle e efluente tratado (eletrofloculado) para fins de avaliação da eficiência dos eletrodos utilizados na presente técnica.

#### 3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL

O estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação em um efluente têxtil, onde o sistema alvo da pesquisa ocorreu em um reator em batelada de bancada (béquer de 1L), o qual comportou os eletrodos de sacrifício (alumínio com dimensões de 100 mm de comprimento x 50 mm de largura e 0,6 mm de espessura), assim como o efluente líquido a ser tratado. Os eletrodos por sua vez foram conectados a uma fonte de corrente contínua (Fonte de alimentação Modelo FA-3050, Marca: *Instrutherm*) de modo a viabilizar a eletrofloculação.

Foram utilizados dois eletrodos de alumínio para a realização do experimento, sendo sempre os mesmos eletrodos durante todo procedimento experimental, conectados de forma independentes, sem contato direto entre si, como pode ser visto na Figura 2, com inversões dos pólos (positivo e negativo) durante o estudo. A utilização dos mesmos eletrodos durante a corrida experimental se deve ao fato de buscar se estimar a durabilidade dos mesmos (frequência de troca) quando sujeitos a presente técnica de tratamento.

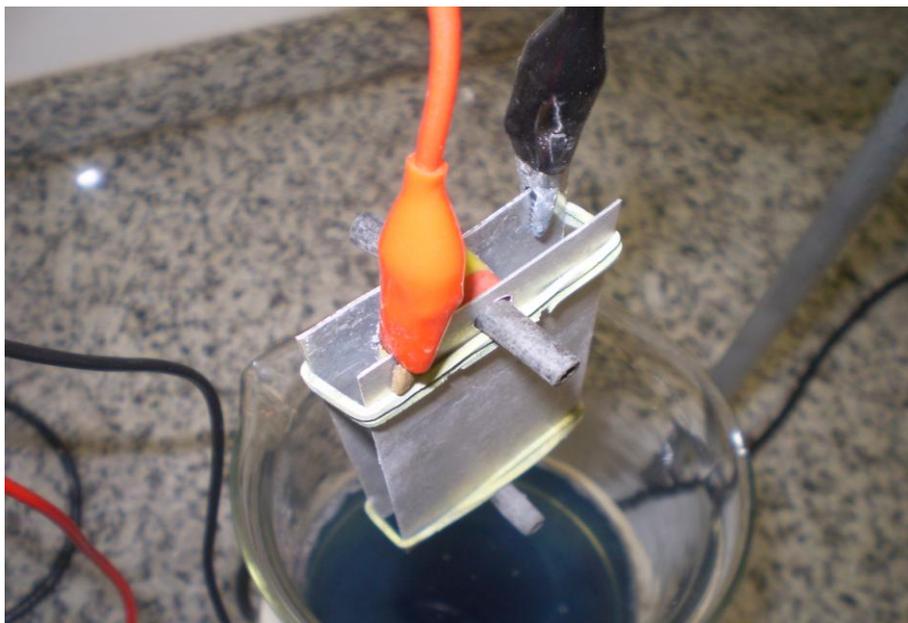


Figura 2 – Sistema da montagem dos eletrodos.

### 3.1.1 Procedimento experimental

Visando avaliar a durabilidade dos eletrodos de sacrifício, sem que houvesse prejuízo da eficiência de tratamento aplicou-se o CEP, utilizando durante todo o procedimento experimental o mesmo conjunto de eletrodos.

Segundo Queiroz (2011) as condições otimizadas de tempo de reação à qual a amostra deveria ser submetida no processo de eletrofloculação é de 10,5 minutos, intensidade da corrente elétrica de 3 A, e condutividade elétrica de 2,5  $\Omega/\text{cm}$ ; sendo assim, primeiramente ajustava-se a condutividade elétrica do efluente a ser eletrofloculado, utilizando-se uma sonda multiparâmetros (marca Hanna, modelo HI 769828) através da adição de cloreto de sódio (NaCl).

Posteriormente realizava-se a eletrofloculação das respectivas amostras, conforme observado na Figura 3, ajustando a intensidade de corrente para 3 A durante 10,5 minutos. Para cada um dos ensaios realizados utilizou-se um volume de 700 mL de efluente têxtil.



Figura 3- Montagem experimental para realizar a eletrofloculação.

Realizada a eletrofloculação, o efluente eletrofloculado permanecia em repouso em bancada, por 24 horas, para a flotação/decantação, conforme se pode observar na Figura 4. Para fazer as análises dos parâmetros cor e turbidez retirava-se a amostra do efluente, no centro do béquer, com o auxílio de uma mangueira adaptada a uma seringa.

Para a obtenção do grupo de controle, para cada ensaio, o efluente bruto foi submetido à agitação magnética paralelamente, deixando flotar/decantar juntamente com as demais amostras, para posterior análise dos mesmos parâmetros, não sendo necessário o ajuste de condutividade. O cálculo da eficiência do eletrofloculado e do grupo de controle baseou-se no efluente bruto.



Figura 4- Decantação das amostras.

Os testes foram feitos até uma visível degradação do eletrodo que figurava como ânodo do processo eletroquímico; na sequência efetuou-se a inversão de polaridade dos eletrodos, invertendo ânodo e cátodo, prosseguindo dessa maneira com os ensaios de eletrofloculação até onde a estrutura física assim permitisse.

### 3.1.2 Pesagem dos eletrodos de sacrifício

Visando determinar a massa inicial dos eletrodos de alumínio e posteriormente a massa consumida pelo processo eletroquímico durante toda corrida experimental, vários eletrodos de sacrifício foram pesados (17 ao todo), visando o cálculo do desvio padrão e respectiva média das massas destes, o que ao final possibilitou determinar a relação entre a quantidade de efluente tratado (mL) por massa de alumínio consumida (g).

## 3.2 PARÂMETROS AVALIADOS

Todas as determinações analíticas foram realizadas em triplicata, sendo considerados apenas os valores médios destas medidas. As análises de cor foram realizadas em um espectrofotômetro FEMTO 700 *plus*, ajustado para o comprimento de onda de 400 nanômetros (nm). Para as análises de turbidez, utilizou-se um Turbidímetro marca TecnoPON, modelo *Hayonik*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

No Quadro 3 é possível diferença considerável entre a eficiência de remoção do parâmetro cor nos ensaios eletroquímicos e no grupo de controle, apresentando valores médios respectivos de 86,23% e 72,80%.

Ensaio	COR ensaio	COR grupo de controle	COR efluente bruto	Eficiência ensaio (%)	Eficiência grupo de controle (%)
1	0,07	0,15	0,40	81,50	61,25
2	0,08	0,17	0,40	80,23	59,04
3	0,06	0,20	0,44	85,68	53,63
4	0,16	0,23	0,52	67,50	55,76
5	0,05	0,17	0,45	88,23	59,05
6	0,21	0,25	0,48	55,20	46,25
7	0,02	0,13	0,59	99,90	76,85
8	0,13	0,19	0,66	80,48	70,57
9	0,02	0,24	0,71	96,90	64,92
10	0,77	0,18	0,78	1,27	76,08
11	0,02	0,15	0,81	97,55	80,56
12	0,02	0,15	0,83	97,48	80,98
13	0,01	0,09	0,40	96,75	77,00
14	0,04	0,08	0,47	91,27	82,12
15	0,01	0,08	0,40	96,00	78,25
16	0,32	0,10	0,53	38,67	80,56
17	0,03	0,16	0,58	94,48	71,37
18	0,005	0,38	1,11	99,54	65,76
19	0,001	0,09	0,40	99,75	77,50
20	0,008	0,07	0,41	98,04	81,46
21	0,003	0,18	0,70	99,57	73,00
22	0,01	0,21	0,68	97,20	68,67
23	0,04	0,17	0,57	91,47	69,73
24	0,02	0,11	0,29	91,94	63,08
25	0,01	0,16	0,80	98,62	79,12
26	0,06	0,13	0,34	80,57	62,31
27	0,02	0,12	0,62	95,54	79,80
28	0,41	0,08	0,96	57,29	91,10
29	0,02	0,09	0,42	94,04	77,61
30	0,004	0,10	0,60	99,33	82,83
31	0,05	0,10	0,75	92,53	85,73

continua...

Quadro 3 - Continuação.

32	0,01	0,08	0,54	96,53	83,75
33	0,04	0,12	0,24	82,50	50,00
34	0,006	0,02	0,21	97,18	87,32
35	0,05	0,08	0,22	74,22	61,77
36	0,003	0,07	0,33	99,09	76,96
37	0,06	0,06	0,33	81,12	81,12
38	0,01	0,06	0,37	97,08	83,28
39	0,02	0,05	0,30	90,78	83,22
<b>Média</b>	<b>0,07</b>	<b>0,13</b>	<b>0,53</b>	<b>86,23</b>	<b>72,80</b>

Quadro 3- Eficiência de remoção de cor.

Para comparar as médias dos ensaios eletroquímicos e do grupo de controle utilizou-se o suplemento *Action* do software Microsoft Office Excel, por meio do Teste T (Tukey). O resultado do Teste T (Tukey) para o comparativo entre as médias dos ensaios eletroquímicos e do grupo de controle, conforme pode ser observado no Quadro 4, apresentou P-valor igual à 0,0003 (sendo a média do grupo 1 referente à eficiência do ensaio eletroquímico e a média do grupo 2 referente a eficiência do grupo de controle), portanto menor que o nível de significância adotado (0,05 ou 95%). Sendo assim, pode-se concluir que as médias diferem entre si, com 95% de confiabilidade, onde o tratamento por eletrofloculação se mostrou significativo em relação a remoção do parâmetro cor.

<b>Informação</b>	<b>Valor</b>
T	3,7149
Graus de Liberdade	76
P-valor	0,0003
Média no grupo 1:	86,2314
Média no grupo 2:	72,8042
Desvio padrão amostral do grupo 1:	19,6673
Desvio padrão amostral do grupo 2:	11,0763
Desvio padrão agrupado:	15,9607
Hipótese Alternativa: Média populacional diferente de um Intervalo de Confiança	0 95%
Limite Inferior	6,2284
Limite Superior	20,6258

Quadro 4- Teste T (Tukey) aplicado à remoção do parâmetro cor.

Segundo Diniz (2001) o CEP depende da existência de um gráfico com suas especificações de controle. Num processo inicial não se conhece a média e os limites inferior e superior de controle. Nesse caso, é preciso primeiro construir este gráfico para uma melhor interpretação e análise do processo. Por meio da Figura 5 é possível observar que durante a realização dos ensaios a eficiência de remoção do parâmetro cor oscilou consideravelmente, contudo em apenas dois ensaios ocorreu diferença significativa em relação aos demais, o que pode estar diretamente relacionado a algum tipo de erro experimental ou influência externa não controlada. Percebe-se que ocorreu alguma anormalidade nos ensaios citados, tendo que a eficiência de remoção deve estar situada entre os limites superior e inferior do gráfico, que condiz ao cálculo do desvio padrão, preconizado por Diniz (2001) sendo o limite superior dado por: média dos ensaios + 3X o desvio-padrão; e o limite inferior é dado por: média dos ensaios - 3X o desvio-padrão. Para compor o cálculo do desvio-padrão e da respectiva média, foi definido um percentual de aproximadamente 20% do número total de ensaios, ou seja, 8 (oito) ensaios.

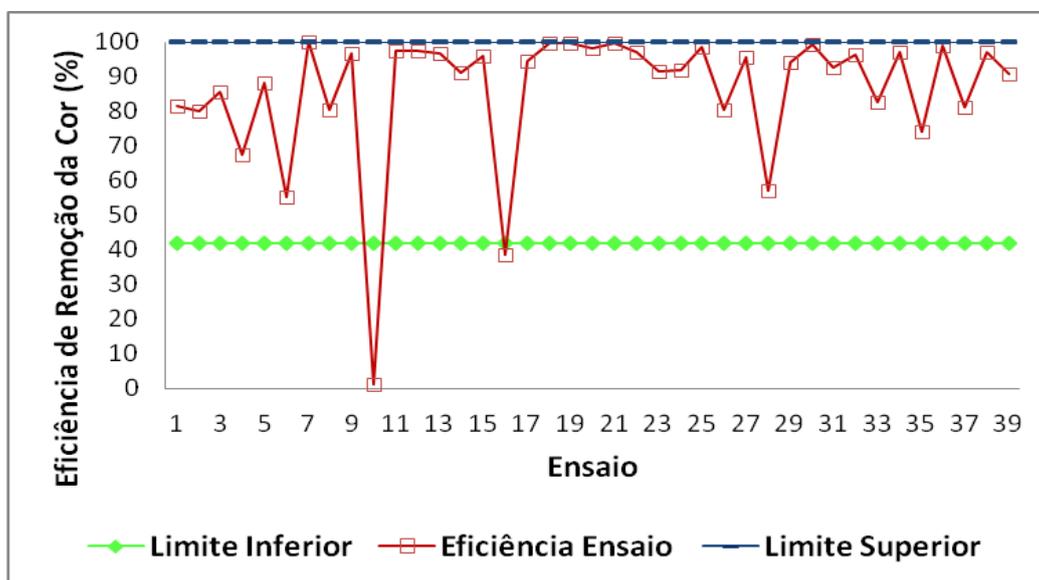


Figura 5- Representação gráfica da eficiência de remoção de cor do efluente eletrofloculado.

Por meio da Figura 6 é possível observar que a exemplo dos ensaios de eletrofloculação, para o parâmetro cor, no grupo de controle a eficiência de remoção também apresentou oscilação, onde ocorreram anormalidades nos ensaios 28 e 34 (com eficiência de remoção de 91,1 e 87,32 respectivamente),

onde mesmo apresentando valores muito próximos ao limite superior percebe-se que os mesmos situaram-se acima do considerado normal pelo CEP, o que pode estar diretamente relacionado a algum tipo de erro experimental ou influência externa não controlada.

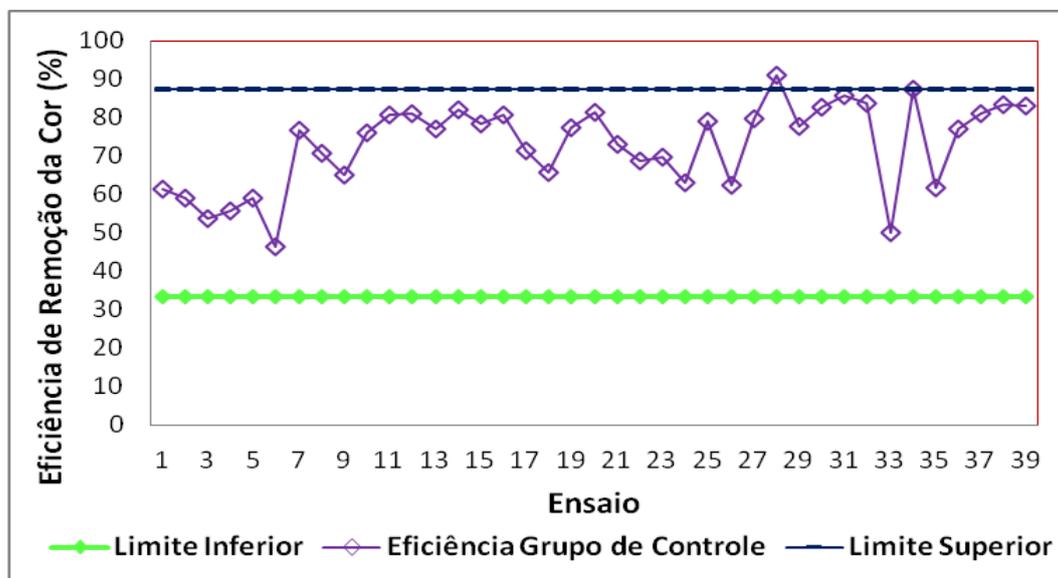


Figura 6- Representação gráfica da eficiência de remoção de cor do grupo de controle

Na Figura 7, na qual têm-se um paralelo de eficiência de remoção do parâmetro cor para os ensaios eletroquímicos e o grupo de controle, pode-se observar que em praticamente todos os ensaios a eficiência de remoção foi mais significativa no efluente tratado eletroquimicamente, o que comprova a eficiência do processo para diminuição das partículas dissolvidas contidas no meio. Os pontos nos quais a eficiência do processo eletroquímico foi menos significativa do que no grupo de controle corresponde exatamente aos ensaios nos quais ocorreram algum tipo de erro experimental ou influência externa não controlada. Algo que merece destaque é que mesmo nos últimos ensaios a eficiência do processo eletroquímico para a redução de cor no efluente não diminuiu consideravelmente, apesar dos eletrodos de sacrifício terem sua estrutura física bastante danificada.

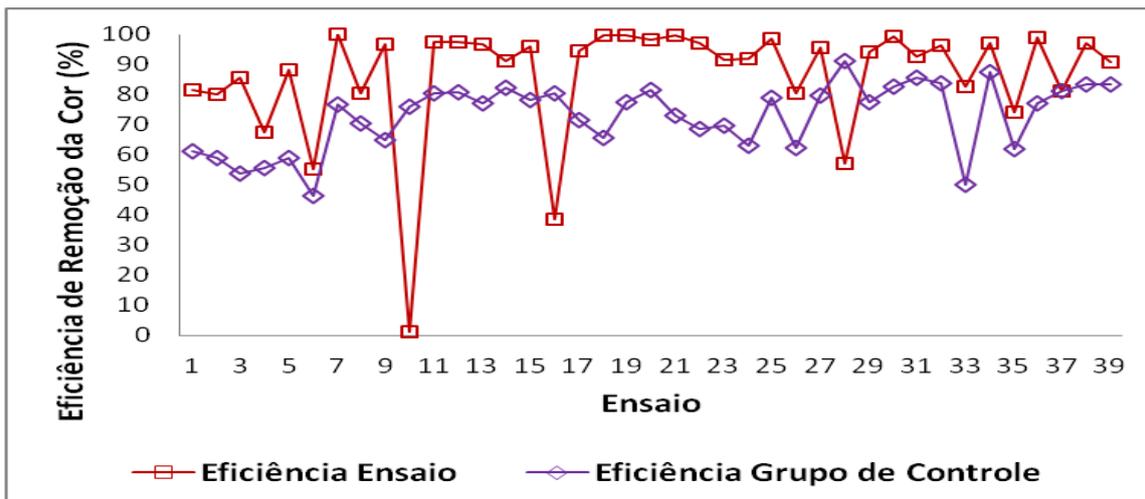


Figura 7- Paralelo entre a eficiência de remoção de cor do efluente eletrofloculado e grupo de controle.

No Quadro 5 é possível observar diferença considerável entre a eficiência de remoção do parâmetro turbidez nos ensaios eletroquímicos e no grupo de controle, apresentando valores médios respectivos de 90,67% e 81,77%.

Ensaio	TURB. ensaio	TURB. grupo de controle	TURB. Efluente bruto	Eficiência ensaio (%)	Eficiência grupo de controle (%)
1	5,66	25,20	241,00	97,65	89,54
2	13,70	39,80	301,00	95,44	86,77
3	3,83	40,80	271,00	98,58	84,94
4	5,91	59,80	320,00	98,15	81,31
5	1,38	37,00	241,00	99,42	84,64
6	2,97	90,80	280,00	98,93	67,57
7	3,39	28,00	294,00	98,84	90,47
8	10,20	342,00	786,00	98,70	56,48
9	2,50	47,50	360,00	99,30	86,80
10	147,00	7,55	390,00	62,30	98,06
11	2,51	43,00	401,00	99,37	89,27
12	8,59	42,90	407,00	97,88	89,45
13	15,30	22,70	194,00	92,11	88,29
14	9,19	21,60	204,00	95,49	89,41
15	14,60	25,90	197,00	92,58	86,85
16	107,00	27,90	260,00	58,84	89,26
17	8,68	48,00	278,00	96,87	82,73
18	1,60	94,50	436,00	99,63	78,32
19	1,13	22,00	129,00	99,12	82,94

continua...

Quadro 5 – Continuação.

20	4,69	21,90	102,00	95,40	78,52
21	13,70	50,30	294,00	95,34	82,89
22	5,47	55,40	321,00	98,29	82,74
23	5,07	33,90	281,00	98,19	87,93
24	4,94	18,90	150,00	96,70	87,40
25	1,89	37,00	327,00	99,42	88,68
26	10,30	27,30	189,00	94,55	85,55
27	6,68	27,30	321,00	97,91	91,49
28	241,00	17,00	274,00	12,04	93,79
29	3,38	20,70	182,00	98,14	88,62
30	2,78	23,00	213,00	98,69	89,20
31	13,40	24,90	352,00	96,19	92,92
32	6,18	19,30	209,00	97,04	90,76
33	8,79	29,10	35,90	75,51	18,94
34	5,30	15,90	40,80	87,00	61,02
35	23,10	25,40	42,90	46,15	40,79
36	2,17	19,10	74,80	97,09	74,46
37	16,90	20,60	80,00	78,87	74,25
38	2,13	17,70	92,10	97,68	80,78
39	6,17	8,73	192,00	96,78	95,45
<b>Média</b>	<b>19,20</b>	<b>40,52</b>	<b>250,34</b>	<b>90,67</b>	<b>81,77</b>

Quadro 5- Eficiência de remoção de turbidez.

O resultado do Teste T(Tukey) para o comparativo entre as médias dos ensaios eletroquímicos e do grupo de controle, conforme pode ser observado no Quadro 6, apresentou P-valor igual à 0,01, portanto menor que o nível de significância adotado (0,05 ou 95%). Sendo assim, pode-se concluir que as médias diferem entre si, com 95% de confiabilidade, onde o tratamento por eletrofloculação se mostrou significativo em relação a remoção do parâmetro turbidez.

<b>Informação</b>	<b>Valor</b>
T	2,386
Graus de Liberdade	76
P-valor	0,019
Média no grupo 1:	90,671
Média no grupo 2:	81,776
Desvio padrão amostral do grupo 1:	17,704
Desvio padrão amostral do grupo 2:	15,104
Desvio padrão agrupado:	16,455
Hipótese Alternativa: Média populacional diferente de $\mu$	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Inferior	1,472
Limite Superior	16,316

Quadro 6- Teste T (Tukey) aplicado à remoção do parâmetro turbidez.

Na Figura 8, correspondente a eficiência do processo eletroquímico para a redução do parâmetro turbidez no efluente têxtil pode-se perceber que eficiência de remoção foi significativa (com valores acima de 95%) na maioria dos ensaios, contudo pode-se perceber também que uma quantidade considerável dos ensaios (cerca de 10) apresentaram um percentual de remoção que não permaneceram acima do limite inferior correspondente ao esperado para o processo, o que pode estar diretamente relacionado a algum tipo de influência externa, que pode prejudicar o uso controlado dos eletrodos de sacrifício, de acordo com o que preconiza a teoria do controle estatístico de processos.

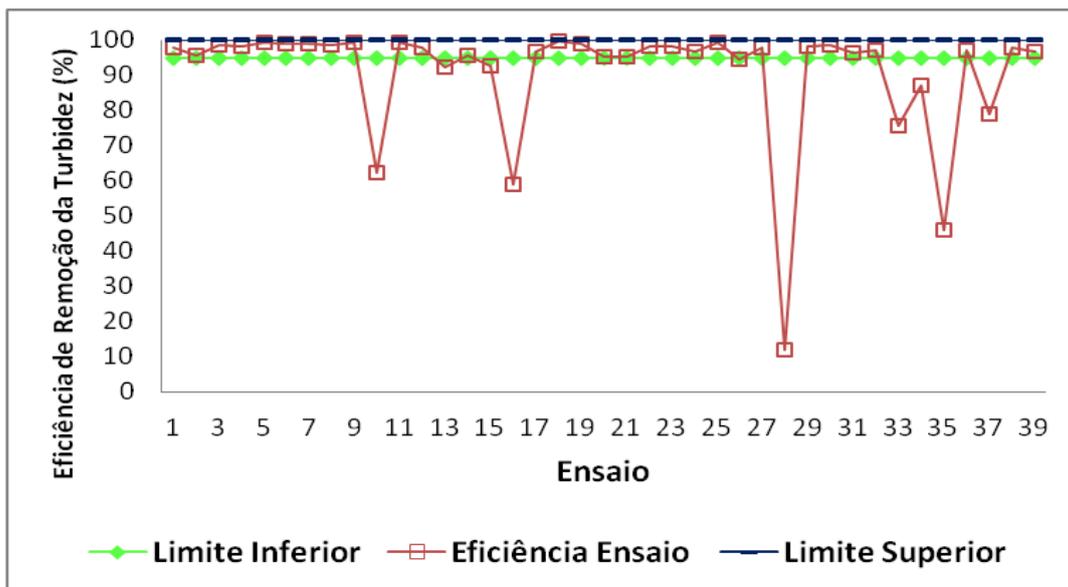


Figura 8- Representação gráfica da eficiência de remoção de turbidez do efluente eletrofloculado.

Na Figura 9 é possível observar que a exemplo dos ensaios eletroquímicos, para o parâmetro turbidez, no grupo de controle a eficiência de remoção não foi constante ao longo do processo, contudo apresentou percentuais de remoção de partículas em suspensão consideráveis, por ser esse um processo natural de decantação. Além disso, pode-se perceber que em dois ensaios a eficiência de remoção foi abaixo do limite inferior condizente ao processo o que pode estar relacionado a algum tipo de erro experimental ou influência externa não controlada.

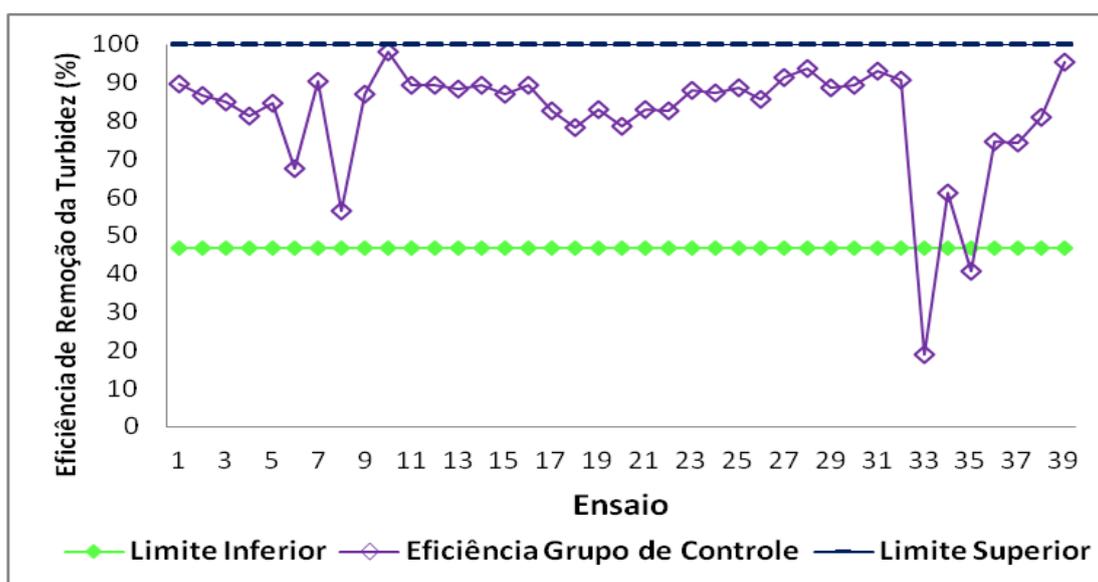


Figura 9- Representação gráfica da eficiência de remoção de turbidez do grupo de controle

Na Figura 10, na qual têm-se um paralelo de eficiência de remoção do parâmetro turbidez para os ensaios eletroquímicos e o grupo de controle, pode-se perceber que em praticamente todos os ensaios a eficiência de remoção foi mais significativa no efluente tratado eletroquimicamente, o que comprova a eficiência do processo para diminuição das partículas em suspensão contidas no meio. Os pontos nos quais a eficiência do processo eletroquímico foi menos significativa do que no grupo de controle corresponde exatamente aos ensaios nos quais ocorreram algum tipo de erro experimental ou influência externa não controlada. A exemplo do parâmetro cor para a redução de turbidez pelo processo eletroquímico algo que merece destaque é que mesmo nos últimos ensaios a eficiência do processo não diminui consideravelmente, apesar dos eletródos de sacrifício terem sua estrutura física bastante danificada, e além disso pode-se perceber uma regularidade entre a eficiência de remoção de turbidez no efluente tratado eletroquimicamente e no grupo de controle, onde ambos caminham de forma paralela em praticamente toda a corrida experimental, desconsiderando dessa forma os pontos discrepantes.

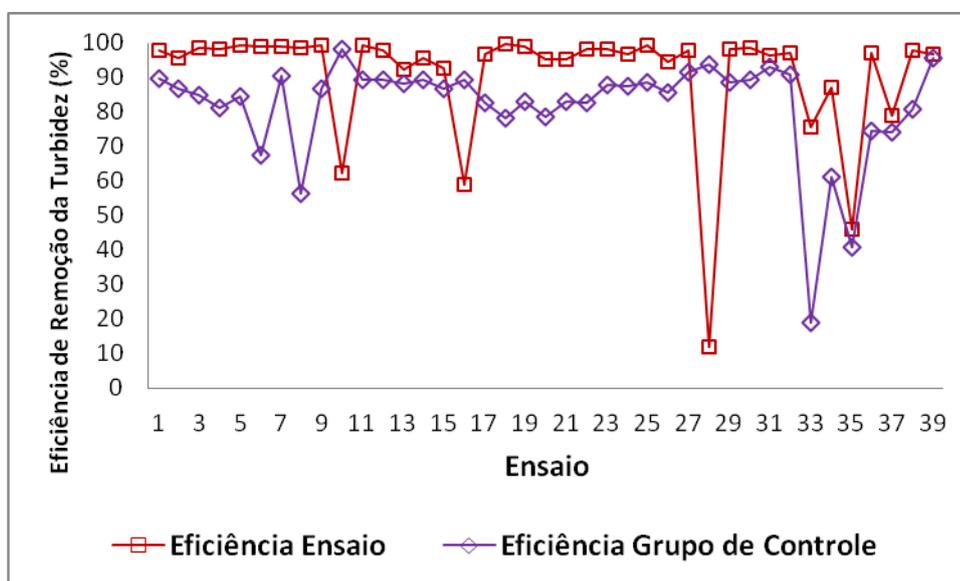


Figura 10- Paralelo entre a eficiência de remoção de turbidez do efluente eletrofloculado e grupo de controle.

#### 4.2 RELAÇÃO ENTRE O DESGASTE DE ELETRODOS DE SACRIFÍCIO X QUANTIDADE DE EFLUENTE TRATADO

Visando estimar a massa inicial dos eletrodos de sacrifício utilizados para a corrida experimental, vários eletrodos (17 ao todo) sem uso foram pesados, possibilitando o cálculo da respectiva média e desvio-padrão. Tendo a média dos eletrodos pesados como base, multiplicando o resultado (7,975) por 2 (equivalente aos eletrodos utilizados) tem-se a massa inicial, ou seja 15,95 g.

No Quadro 7 é possível observar que ao todo realizaram-se 39 ensaios eletroquímicos, utilizando em cada um dos ensaios um volume de 700 mL; sendo assim, efetuou-se um tratamento de 27300 mL durante todo procedimento experimental. Após a realização de todos os ensaios ocorreu um consumo de 7g referentes à massa inicial (15,95g); o que equivale a 43,88%. Diante de tais valores é possível fazer uma estimativa entre a quantidade de efluente tratado (mL) por massa de alumínio (g) consumida durante o processo eletroquímico, dividindo o total de efluente tratado (27300 mL) pela massa de alumínio consumida no processo eletroquímico (7g), chegando a uma razão de 3900/1. Sendo assim, tendo tais valores como base, pode-se realizar o cálculo de custos envolvidos no processo, no que condiz a aquisição de eletrodos para o tratamento de determinado volume de efluente.

Massa inicial dos eletrodos de sacrifício (g)	15,95
Consumo de alumínio para o tratamento eletroquímico (g)	7,0
Redução em massa dos eletrodos (%)	43,88
Volume de efluente por ensaio eletroquímico (mL)	700
Total de ensaios	39
Volume total de efluente eletrofloculado (mL)	27300
Relação efluente/alumínio- mL/g.	3900/1

Quadro 7- Consumo de alumínio por quantidade de efluente eletrofloculado.

## 5. CONCLUSÕES

Através do presente estudo, pôde-se perceber que a eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez no efluente têxtil submetido à análise foi mais significativo no processo eletroquímico em praticamente todos os ensaios, quando comparado ao grupo de controle utilizado na avaliação de cada um dos parâmetros de forma individualizada. Em alguns ensaios, para ambos os parâmetros analisados ocorreram pontos discrepantes, os quais se situaram fora dos limites superior ou inferior dos gráficos oriundos do processo. Sendo assim, tem-se que as prováveis causas estão relacionadas a erros experimentais ou algum tipo de influência externa não controlada, contudo há a necessidade de investigar mais detalhadamente o motivo que originou os pontos discrepantes para que se possa agir sobre o mesmo buscando soluções ao problema, remetendo dessa forma diretamente ao que preconiza a teoria do controle estatístico de processos.

Em relação à eficiência dos eletrodos de sacrifício utilizados no tratamento eletroquímico, pode-se perceber que mesmo com a estrutura metálica sendo danificada ao longo do processo a eficiência manteve-se, dessa forma pode-se afirmar que a necessidade de troca dos eletrodos existe somente quando a estrutura física dos mesmos não mais possibilitarem o tratamento eletroquímico.

Em geral a principal contribuição do presente estudo foi avaliar a eficiência dos eletrodos de alumínio quando submetidos ao processo de tratamento eletroquímico de efluente têxtil, possibilitando desta forma realizar parte do cálculo dos custos envolvidos no processo.

## **6. SUGESTÕES**

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a realização de novos ensaios eletroquímicos, invertendo a polaridade (ânodo e cátodo) dos eletrodos a cada ensaio, determinando-se a massa dos mesmos (a cada ensaio), para avaliar o consumo gradativo de alumínio por quantidade de efluente tratado eletroquimicamente.

## REFERÊNCIAS

BARROS, M. J; NOZAKI, J. **Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica.** 2011. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v25n5/11401.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

BORBA, F. H. **Aplicação dos processos foto-fenton e eletrofloculação no tratamento de efluente de curtume.** 2010. 137p. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Química) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 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.

CORREIA, A. *et al.* **Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento.** Rio Grande do Norte, 2008. Disponível em:<[http://www.dimap.ufrn.br/~sbmac/ermac2008/Anais/Resumos%20Estendidos/Analise%20da%20turbidez\\_Aislan%20Correia.pdf](http://www.dimap.ufrn.br/~sbmac/ermac2008/Anais/Resumos%20Estendidos/Analise%20da%20turbidez_Aislan%20Correia.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2011.

DA SILVA, M. R. A. *et al.* **Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas.** 2004. Instituto de Química UNESP – Araraquara, SP. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010046702004000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010046702004000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 15 out. 2011.

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.

DELLAMATRICE, P. M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da ETA de Americana.** Tese de Doutorado. Curso de Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde>21022006>160612/ptbr.php>>. Acesso em: 30 out. 2011.

DINIZ, M. G. **Desmitificando o controle estatístico de processos.** 1. ed. São Paulo: Artliber. 2001.

FARIA, C. **Escassez de água potável.** 2008. Disponível em:<<http://www.infoescola.com/hidrografia/escassez-de-agua-potavel/>>. Acesso em: 11 out. 2011.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo.** Campina Grande, 2006. Disponível em:<

<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag/teses2006/tese%20silly.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

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.

FURLAN, F. R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GRASSI, M. T. **As águas do planeta Terra**. 2001. Disponível em:< <http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

KUNZ, A. *et al.* **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Campinas, jun. 2001. Disponível em:<<http://quimicanova.s bq.org.br/qn/qnol/2002/vol25n1/13.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2011.

LEAL, F. C. T; LIBÂNO, M. **Estudo Da Remoção Da Cor Por Coagulação Química No Tratamento Convencional De Águas De Abastecimento**, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/remocao.pdf>> Acesso em: 16 out. 2011.

LOUREIRO, L. R. **Caracterização do chorume segundo alguns parâmetros e aplicação do método de eletrofloculação**. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Química pela Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

OLIVEIRA, J. L. **Fotodegradação de corantes têxteis e aplicação da quitosana como tratamento terciário destes efluentes**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

PASCHOAL, F. M. M; FILHO, G. T. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. São Paulo, jun. 2005. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n5/25897.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2011.

PIRES, V. T. **Implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PRADO, J. B. 2006. Disponível em:< [http://www3.ufpa.br/larhima/Material\\_Didatico/Graduacao/TCC/Joyce\\_PDF/TC C%20Joyce.pdf](http://www3.ufpa.br/larhima/Material_Didatico/Graduacao/TCC/Joyce_PDF/TC C%20Joyce.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2011.

**RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237 , DE 19 DE dezembro DE 1997.** Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em: 30 de março de 2011.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. S. **Série monográfica qualidade controle estatístico de processos.** 2011. Disponível em:< [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/116\\_apostila12345\\_2011.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/116_apostila12345_2011.pdf) >. Acesso em: 19 out. 2011.

SANTOS, J. N. R. *et al.* **Tratamento De Efluentes Têxteis Pelos Processos De H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV E Ozonização.** 2006. Disponível em:<[http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo\\_1224.html](http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo_1224.html)>. Acesso em: 20 out. 2011.

SOUZA, A.F; ROSADO, F.R. **Utilização de fungos basidiomicetes em biodegradação de efluentes têxteis.** Londrina, abr. 2009. Disponível em: <<http://www.google.com.br/#hl=ptBR&biw=1366&bih=677&q=corantes+acidos.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2011.

SOUZA, C.R.L. **Degradação de corantes reativos e remediação de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** 1 ed. Belo Horizonte: UFMG. 2007.

VASQUES, A.R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo.** 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ZANONI, M. V. B. *et al.* **O descarte dos corantes têxteis.** Revista Ciência Hoje. São Paulo. Ago. 2001. Disponível em:<<http://www.uol.com.br/cienciahoje/chmais/pass/ch174/primeira.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2011.

