

MÁRCIA INÊS FLOSS

TALIA CALLEGARO

**UTILIZAÇÃO DE ELETRODOS DE SACRIFÍCIO DE FERRO NA
ELETROFLOCULAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL:
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO**

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

UTILIZAÇÃO DE ELETRODOS DE SACRIFÍCIO DE FERRO NA ELETROFLOCULAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO

Por

Márcia Inês Floss

Talia Callegaro

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 21h20min do dia 30 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, *Campus* Medianeira. As candidatas foram argüidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof. Dr. Eduardo Eyng
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare
UTFPR – *Campus* Medianeira
(CO-Orientador)

Prof. Dr. Éder Lisandro de Moraes Flores
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof^a. Msc Fabiana Costa
de Araújo Schutz
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidada)

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

Dedicatória

Dedico primeiramente à Deus, à minha família, em especial à meu esposo Alcir Antonio de Jesus, meu filho Bruno Eduardo Callegaro de Jesus, meu pai Celso Ricardo Callegaro (*in memoriam*), minha mãe Iris Sideni Callegaro e minha irmã Kássia Callegaro por toda compreensão e pela ajuda de todas as formas para a realização deste trabalho. Também agradeço a minhas eternas amigas queridas Keilla, Daiane e Jascieli pelo apoio e pelo carinho.

Dedicatória

Dedico primeiramente à Deus, à minha família, em especial à meu esposo Sérgio Luiz Floss, meu pai João Carlos Wiegert, minha mãe Edite Inês Wiegert, meus irmãos Márcio Carlos Wiegert e Marciano Luiz Wiegert e minha sogra Lurdes Lúcia Floss por toda compreensão e pela ajuda de todas as formas para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela vida e pela saúde.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Medianeira, pela oportunidade da realização do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, e por permitir a realização deste trabalho nos laboratórios.

Agradecemos a todos os Professores do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, e demais professores companheiros de laboratório, pela dedicação e ensinamentos e, principalmente, aos Professores Eduardo E yng e Laércio Mantovani Frare pela orientação, paciência e amizade demonstrados durante este trabalho de conclusão de curso.

A indústria têxtil pela confiança, incentivo e concessão do efluente para a realização deste trabalho.

Aos nossos pais, irmãos e amigos pelo apoio, incentivo e demonstração de orgulho por nós estarmos realizando mais esta conquista.

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

Frase

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o bem que poderíamos conquistar se não fosse o medo de errar.”

William Shakespeare

RESUMO

CALLEGARO, Talia. FLOSS, Márcia Inês. **Utilização de eletrodos de sacrifício de ferro na eletrofloculação do efluente de uma indústria têxtil: avaliação da eficiência de tratamento.** 2011 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

À medida que a população, a atividade industrial e a agricultura crescem, aumenta também o consumo de água, daí a necessidade cada vez maior de se manter as águas limpas. As indústrias têxteis também são grandes poluidoras, devido a dificuldade em se fazer o tratamento de seus efluentes. Devido a isso, este estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação, utilizando um eletrodo de Ferro (Fe), em um efluente de uma indústria têxtil, avaliando-se a eficiência na remoção de cor e turbidez sob diferentes condições de pH, intensidade da corrente e tempo de reação. Para a faixa de valores estudada, é possível afirmar que tanto para a remoção de cor quanto turbidez a eletrofloculação demonstrou resultados satisfatórios.

Palavras chave: Eletrofloculação. Tratamento de Efluente Têxtil. Eletrodo de sacrifício.

ABSTRACT

CALLEGARO, Talia. FLOSS, Márcia Inês. **Use of sacrifice iron electrodes to electroflocculation of a textile industry effluent: evaluate of treatment efficiency.** 2011 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

As the population, industrial activity and agriculture continues to grow, water consumption, hence the increasing need to keep the waters clean. The textile industries are also major polluters due to the difficulty in treating their effluents. On this way, a study was developed to apply the technique of electroflocculation using an electrode of iron (Fe) in an effluent from a textile industry, evaluating the efficiency in removing color and turbidity at different pH, current intensity and reaction time conditions. For the range of values studied, it is possible to affirm that both the removal of color and turbidity by electroflocculation demonstrated satisfactory results.

Key-words: Electroflocculation. Textile effluent treatment. Sacrifice electrodes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das fibras Têxteis.....	14
Figura 2 - Diagrama da cadeia Têxtil.....	14
Figura 3 - Esquema da formula do índigo blue.....	16
Figura 4 - Montagem experimental para realização da eletrofloculação.....	29
Figura 5 – Exemplo de decantação de uma amostra.....	30
Figura 6 - Representação gráfica da eficiência na remoção da Turbidez (%).....	32
Figura 7 - Representação gráfica da eficiência na remoção da cor.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do delineamento experimental.....	27
Tabela 2 - Níveis estudados para as variáveis independentes.....	28
Tabela 3 - Eficiência na remoção de turbidez.....	31
Tabela 4 - Eficiência na remoção de cor.....	33
Quadro 1 - Vantagens e desvantagens das metodologias de tratamento de efluentes têxteis.....	21
Quadro 2 - Comparação entre processo eletrolítico e lodos ativados no tratamento de esgotos sanitários.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 EFLUENTES TÊXTEIS.....	13
2.1.1 Diagrama das Fibras e da Cadeia Têxtil.....	14
2.1.2 Corantes.....	15
2.2 COAGULACAO E FLOCULAÇÃO.....	17
2.3 ELETROFLOCULAÇÃO.....	18
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ALGUNS DOS MÉTODOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	19
2.4.1 Vantagens da eletrofloculação.....	20
2.4.2 Desvantagens da eletrofloculação.....	21
2.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES.....	22
2.5.1 Cor.....	23
2.5.2 Turbidez	23
2.5.3 Ph.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL.....	26
3.1.1 Planejamento experimental.....	26
3.1.2 Procedimento experimental.....	28
3.2 PARÂMETROS AVALIADOS.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A necessidade por água limpa é cada vez mais crítica no mundo. As fontes de água são constantemente poluídas por descargas de efluentes industriais ou por outras atividades antropogênicas, tornando o reuso de água totalmente necessário.

Os processos industriais, apesar de ocuparem a segunda posição no consumo total de água são um dos principais responsáveis pela poluição das águas, quando lançam efluentes sem tratamento adequado aos corpos de receptores (lagos, rios córregos, etc.).

Então, para evitar uma poluição desenfreada, a legislação ambiental esta cada vez mais rígida, exigindo das indústrias e outras atividades potencialmente geradoras de poluição, o tratamento dos efluentes, assim como a apresentação de novos métodos, o que, conseqüentemente, implica na necessidade de recursos financeiros, mão de obra e tempo.

Entre as atividades potencialmente geradoras de poluição, listadas pela Resolução CONAMA Nº. 237, de 19 de dezembro de 1997, encontramos as indústrias têxteis, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, que são classificadas como tal, pois seus efluentes apresentam características de difícil degradação ao meio ambiente.

Segundo Banat, *et al* (1996 apud PASCHOAL 2005):

“Os corantes têxteis são produzidos para resistir à exposição ao suor, sabão, água, luz ou agentes oxidantes. Esta alta estabilidade torna-os menos receptivos a biodegradação que, potencialmente, é o processo mais barato de degradação”.

A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos, devido à grande quantidade de água utilizada nos processos de acabamento. Os efluentes provenientes destas indústrias são complexos, contendo 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.

A indústria têxtil utiliza de 80 a 400l de água para produzir 1 kg de tecido, sendo que geralmente 80% deste volume é descartado como efluente (ROBINSON, 2000 apud PERUZZO, 2003 p. 4; IMMICH, 2006).

O setor têxtil conta com aproximadamente 30 mil empresas em todo o território nacional, sendo que as regiões sul e sudeste são as que apresentam maior quantidade de unidades fabris instaladas, e recebem maior apoio financeiro do BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES, 2009).

Em tratamentos de efluentes líquidos geralmente são utilizados métodos físicos, químicos, e biológicos. Os métodos físicos correspondem à mudança dos resíduos para uma nova fase, sendo que a separação de fases pode ser feita por: sedimentação, decantação, filtração, centrifugação e flotação de resíduos (CRESPILHO, 2004). Já os processos químicos acontecem com a reação do poluente com alguma substância que o converte em uma nova substância, ambientalmente menos prejudicial. Por último, os biológicos utilizam oxidação através de bactérias, que pode acontecer em condições aeróbias e/ou anaeróbias. (CERQUEIRA, 2006).

As principais técnicas para descontaminar as águas de rejeitos da indústria têxtil são os físicos envolvendo mecanismos de adsorção em carvão ativado, coagulação e precipitação, e também processos químicos e biológicos. Esses métodos, geralmente são combinados uns aos outros de forma a aumentar a eficiência do processo (SILVA, 2003).

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

Borba *et al.* (2010) confirma que a técnica da Eletrofloculação (EF) desperta bastante interesse devido à sua simplicidade de operação, e por apresentar possibilidades de tratamento de efluentes de vários tipos de indústrias.

Portanto, este estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação, utilizando um eletrodo de Ferro (Fe), em um efluente líquido de uma indústria têxtil.

A principal contribuição deste trabalho foi avaliar o desempenho da técnica de eletrofloculação, avaliado por indicadores como cor e turbidez, sob diferentes condições de pH, intensidade de corrente e tempo de reação, sendo que o controle das variáveis físico-químicas pertinentes ao processo de eletrofloculação permite

melhorar a eficiência do processo de tratamento de efluentes, e este processo, aplicado em uma indústria, diminuirá a degradabilidade de corpos hídricos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EFLUENTES TÊXTEIS

As indústrias têxteis são grandes geradoras de efluentes, e estes se não tratados de forma adequada, podem causar sérios problemas ambientais.

A coloração do efluente deve-se essencialmente às etapas de beneficiamento como tingimento e lavagem. A disponibilidade de corantes no mercado é significativa, possuindo características específicas e definidas e sendo aplicados segundo o tipo de fibra a ser colorida. A utilização destes compostos é muito variada, uma vez que as tonalidades e tipos de tecidos variam de acordo com a moda das diferentes estações do ano, agravando o problema de remoção dos mesmos do efluente, uma vez que cada corante possui um tipo de estrutura química e concentrações distintas. Muitos destes corantes também são recalcitrantes, isto é, permanecem no ambiente de forma inalterada compondo assim a maior dificuldade no tratamento dos efluentes têxteis. (KUNZ, 1999).

Pacheco (2007), afirma que os principais problemas ambientais da indústria têxtil estão relacionados com a utilização de azo corantes, uma grande família de corantes sintéticos que são muito resistentes a degradação natural e tem comprovado caráter carcinogênico e mutagênico.

2.1.1 Diagrama das Fibras e da Cadeia Têxtil

Na figura 1 é ilustrada a origem, a classificação e a divisão das fibras têxteis e na figura 2 é ilustrado o processo de cada fibra têxtil.

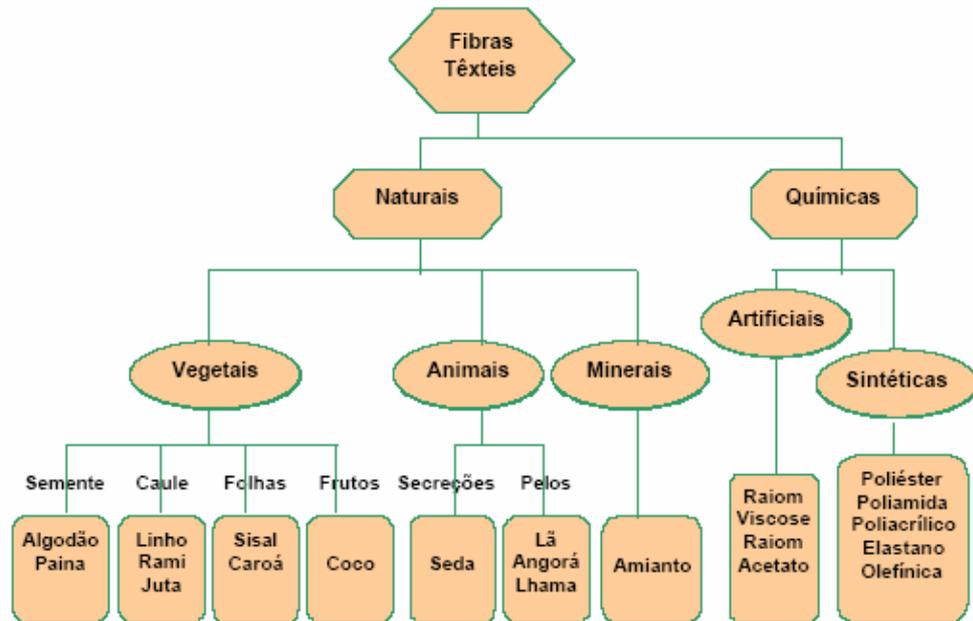


Figura 1 - Diagrama das fibras Têxteis
Fonte: Braile, P.M; Cavalcanti, J.E.W.A. (1993)

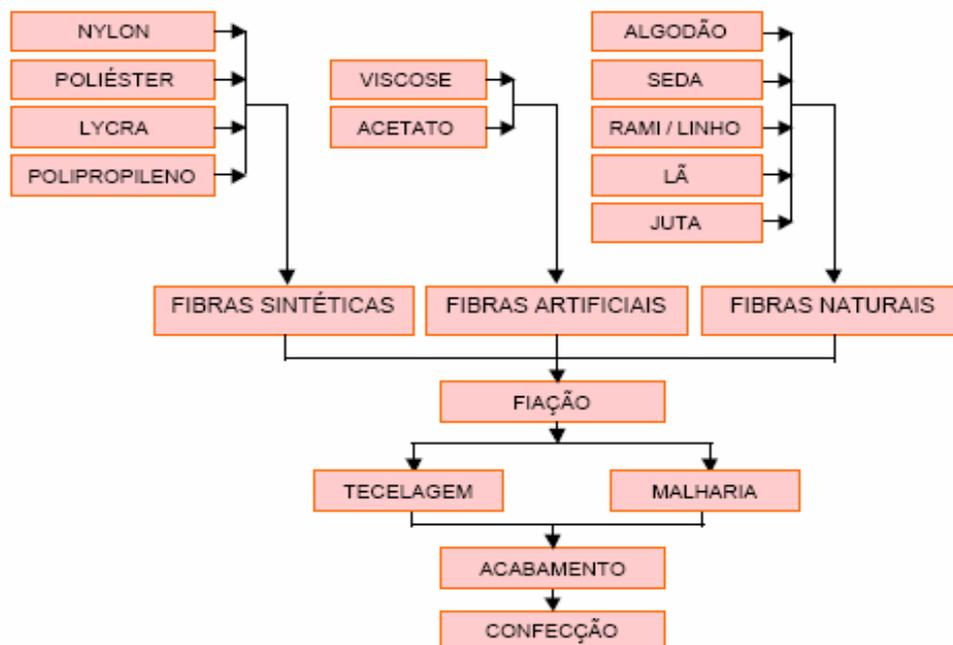


Figura 2 - Diagrama da cadeia Têxtil
Fonte: Braile, P.M; Cavalcanti, J.E.W.A. (1993)

2.1.2 Corantes

Os produtos químicos utilizados na indústria têxtil compreendem compostos inorgânicos, polímeros e produtos orgânicos (Mishra and Tripathy, 1993; Banat *et al.*, 1996).

A presença de concentrações muito baixas de corantes no efluente é extremamente visível e indesejável (NIGAN *et al.*, 2000). A maioria dos corantes são resistentes à descolorização, exposição à luz, água e muitos produtos químicos devido a estes possuírem estrutura complexa e origem sintética.

Os corantes têxteis mais utilizados são os corantes ácidos, básicos, dispersos, azos, diazos, baseados em antraquinona e corantes de metais complexos (PEREIRA, 2007).

Cerca de 5 a 20% do corante é perdido no processo de tingimento, e se essa perda for descartada diretamente no meio ambiente, poderá gerar sérios problemas nos processos biológicos aquáticos fundamentais (PEREIRA, 2007).

As principais técnicas para descoloração de rejeitos envolvem processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação, flotação, entre outros (PEREIRA, 2007).

O grande problema dos corantes no efluente é que alguns tipos de corantes, como os reativos e os ácidos, tendem a passar através de sistemas de tratamentos convencionais (WILLMOTT *et al.*, 1998 apud PERUZZO, 2003).

Há duas formas de classificação dos corantes: a primeira é pela constituição química, de acordo com os grupos cromóforos ou unidades de cor da molécula, a segunda é baseada na aplicação ou uso final do corante.

Segundo (PEREIRA, 2007) temos várias classes de corantes:

- **Ácidos:** são aniônicos, solúveis em água e aplicam-se as fibras de nylon, seda, acrílico e lã. Têm em sua molécula grupos químicos sulfônicos ou carboxílicos; quimicamente consiste-se de compostos azo, xanteno, antraquinonas e outros. A fixação é de 80 a 93%.
- **Básicos:** são catiônicos, solúveis em água e aplicam-se em acrílicos, nylon, poliésteres; quimicamente possuem grupos amina em sua estrutura e podem apresentar toxicidade. Fixação 97 a 98%.

- **Reativos:** Ligam-se covalentemente às fibras, que podem ser de algodão, nylon, lã, com grupo compatível à hidroxila da celulose. De estrutura química simples são azo, antraquinona e ftalocianina. Quando a ligação “azo” for quebrada, este tipo de corante pode formar aminas aromáticas intermediárias que são carcinogênicas. A fixação é de 60 a 90%.
- **Dispersos:** São aniônicos e praticamente insolúveis em água (ou seja, são aplicados em fibras hidrofóbicas). São usados em fibras de poliéster, nylon, acetato de celulose e acrílicas. A fixação é de 80 a 92%.
- **Sulfurosos:** são derivados do enxofre, passando a ter afinidade com fibras celulósicas após uma reação de redução para se tornarem solúveis. Conferem cor como preto e azul marinho. A fixação é de 60 a 70%.
- **Diretos:** são solúveis em água e aniônicos, aplicados em fibra de algodão. A afinidade do corante pela fibra é aumentada pelo uso de eletrólitos (cloreto ou sulfato de sódio). Estima-se que deve ficar retido no banho de 5 a 30% de corante. A fixação é de 70 a 95%.
- **À tina ou cuba:** aplicam-se em fibras celulósicas como sais leuco – solúveis, após a redução em banho alcalino; seguindo-se à exaustão da fibra são reoxidados para a forma insolúvel. As principais classes são antraquinona e indigóides. A fixação é de 80 a 95%.

Nas indústrias de jeans, geralmente é utilizado o corante índigo blue, então, na Figura 3 encontra-se a representação da fórmula do índigo:

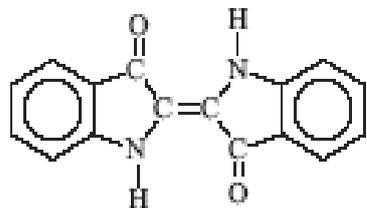


Figura 3 – Esquema da fórmula do índigo blue.

2.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

A coagulação seguida ou não da floculação tem por objetivo aumentar a quantidade de material suspenso que é removido por sedimentação (FORNARI, 2007).

A coagulação consiste essencialmente na introdução no meio líquido de um produto capaz de anular as cargas geralmente eletronegativas dos colóides presentes de forma a gerar um precipitado (FORNARI, 2007).

Segundo Fornari (2007), a floculação é a aglomeração dos colóides sem carga eletrostática, resultados dos choques mecânicos sucessivos causados por um processo de agitação mecânica. Um floculante é, portanto, um estimulante de coagulação que acelera a formação, a coesão e a densidade do floco e, conseqüentemente, diminui seu volume.

No processo de coagulação e floculação os principais coagulantes são:

- Sulfato de alumínio;
- Sulfato ferroso;
- CO₂;
- Polieletrólitos aniônicos ou catiônicos (JOST, 1990).

Oliveira (2001, apud BARROS e NOZAKI 2001) afirma que “a floculação e a coagulação consistem na clarificação das águas pelo arraste do material finamente dividido em suspensão por agentes coagulantes”. Vaz (2009) completa dizendo que “o processo de coagulação/floculação tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez)”.

Vaz (2009) comenta que dentre os coagulantes inorgânicos, os sais de alumínio e ferro, principalmente sulfato de alumínio e cloreto férrico, são os mais utilizados no tratamento de água e esgoto, principalmente por apresentarem baixo custo. Porém, pesquisas têm apontado algumas desvantagens tais como problemas de saúde causados pelo alumínio residual em águas tratadas e a produção de grandes volumes de lodo. Da Silva *et al.* (2003) confirmam isso dizendo que “sais de alumínio e ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana”.

Oliveira *et al.*(2001, apud BARROS e NOZAKI, 2011) comentam que existem casos em que é necessário o uso de auxiliares de floculação e coagulação, estes auxiliares de coagulação beneficiam a floculação, pois aumentam a decantação, e melhoram o enrijecimento dos flocos, sendo que os mais usados são os polieletrólitos naturais ou sintéticos.

2.3 ELETROFLOCULAÇÃO

No final do século XIX, a eletroflotação (EF) já era bem conhecida. Embora pouco explorada, foi considerada uma técnica promissora. Durante o século XX, algumas plantas piloto de eletro-flotação 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 à processos de coagulação via eletroquímica já são bem conhecidos e podem ser aplicados a modelos hidrodinâmicos (FORNARI, 2007).

Vários pesquisadores estão desenvolvendo tratamentos com reatores eletroquímicos para a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. Esse processo consiste na eletroloculação, no qual um reator eletroquímico é o centro das reações de coagulação. A eletrofloculação é também chamada de eletrocoagulação e eletroflotação (CRESPILHO & REZENDE, 2004).

A eficiência de um sistema de eletrofloculação é refletida na remoção de poluentes e potência elétrica (CHEN, 2004). Há muitos fatores que influenciam o tamanho das bolhas (gases hidrogênio e oxigênio) tais como densidade de corrente, temperatura e curvatura da superfície do eletrodo, mas os maiores efeitos ocorrem pelo material do eletrodo e pH do meio (HOSNY, 1996).

A seleção apropriada dos materiais é muito importante, e os mais comuns são alumínio e ferro, pois são baratos, eficazes e prontamente disponíveis (CRESPILHO & REZENDE, 2004). Outros fatores podem ainda influenciar o processo tais como condutividade do meio, temperatura e disposição dos eletrodos (CHEN, 2004).

A eletrofloculação (EF) é um diferenciado processo de tratamento de efluentes, onde um reator eletroquímico é o centro das reações de coagulação. Rodriguez *et al.* (2007) explica que um reator é um arranjo de placas de metal, com

base em anodos de sacrifício, que se dissolvem em água na forma de íons por meio de uma corrente elétrica.

Crespino (2004) afirma que a EF ocorre basicamente em quatro etapas: geração eletroquímica do agente coagulante; adsorção, neutralização e varredura; floculação; e por fim, a flotação das impurezas.

Silva (2003), explica que a EF ocorre através da passagem da corrente elétrica entre os eletrodos que devem estar submersos em meios aquosos, distribuídos paralelamente no interior do reator, desenvolvendo assim diversas reações como coagulação, floculação, oxidação, flotação e decantação dos contaminantes em suspensão.

No processo de floculação, os complexos formados na primeira etapa adsorvem-se em partículas coloidais, originando partículas maiores, que podem ser removidos por decantação, filtração ou flotação. Enfim, na fase de eletroflotação, em decorrência do potencial aplicado, microbolhas de hidrogênio podem ser formadas no cátodo, favorecendo assim o carreamento por arraste dos flocos formados.

Mollah *et al.* (2004) e Rodriguez *et al.* (2007 apud BORBA *et al.* 2010) dizem que:

“O processo da EF em um reator com o arranjo de eletrodos de metal (Al ou Fe) proporciona um ambiente físico/químico permitindo a desestabilização do poluente pela oxidação eletrolítica e sua coagulação, adsorção, precipitação e flutuação subseqüentes, evitando a introdução de um outro agente coagulante”.

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

Segundo Molla, *et al.* (2001), as vantagens e desvantagens da tecnologia de eletrofloculação são descritas no item a seguir:

2.4.1 Vantagens da eletrofloculação

- Requer equipamentos simples e de fácil operação, em que a corrente e o potencial aplicado, podem ser medidos e controlados de maneira automatizada;
- Há controle maior na liberação do agente coagulante, em comparação com os processos físico-químicos convencionais;
- Os flocos formados são mais estáveis, podendo ser melhores removidos por simples filtração;
- Remove as partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas; facilitando a coagulação;
- Limita o uso de substâncias químicas, minimizando, conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente, fato que acontece quando a coagulação química empregando polieletrólitos é utilizada no tratamento de efluentes;
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem levar o contaminante ao topo do reator, onde pode ser concentrado e removido mais facilmente, por raspagem ou sucção;
- A célula eletrolítica é eletricamente controlada, não necessitando de dispositivos adicionais, o que requer menos manutenção; e
- Pode ser usada convenientemente em áreas rurais onde a eletricidade não é disponível, desde que, evidentemente, haja disponível uma fonte de energia elétrica fornecida, por ex: um painel solar.
- Uma das maiores vantagens da eletrofloculação é a remoção de óleos e graxas. Isso ocorrido devido à facilidade de coagulação e flotação das moléculas de óleos e graxas. Como conseqüência da interação dessas moléculas com o hidróxido de alumínio, formam-se colóides cuja densidade é bem menor do que a água, e estes se deslocam naturalmente para a superfície do líquido.

2.4.2 Desvantagens da eletrofloculação

- Os eletrodos precisam ser substituídos regularmente, caso sofram passivação ou desgaste;
- O consumo de energia elétrica pode ser dispendioso em algumas regiões;
- Um filme de óxido impermeável pode ser formado no catodo, conduzindo à perda de eficiência;
- Requer alta condutividade do efluente.

Conforme o Quadro 1, pode-se visualizar vantagens e desvantagens de alguns métodos que podem ser empregados no tratamento de efluentes têxteis.

MÉTODO	VANTAGEM	DESVANTAGEM
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 à 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

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens das metodologias de tratamento de efluentes têxteis (JODICKE, 2001, in FREITAS, 2002)

A partir do Quadro 2, pode-se observar algumas vantagens e desvantagens do tratamento eletrolítico, em comparação ao tratamento de lodos ativados, que é largamente utilizado em diversos sistemas de tratamento industriais.

Fatores	Eletrolítico	Lodos Ativados (média)
Investimento (%)	70	100
Consumo de Energia (kWh/m ³)	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 DQO (%) de DBO (%)	80	90
Remoção de DQO (%)	80	90

Quadro 2 - Comparação entre processo eletrolítico e lodos ativados no tratamento de esgotos sanitários (SPERLING, 1996; RAMALHO, 1991; WIENDI, 1985; LEITAO e PIRES, 1991; apud CERQUEIRA, 2006)

2.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES

Segundo Sperling (2005), os principais parâmetros a serem avaliados para a verificação da qualidade da água de corpos hídricos são: parâmetros físicos (cor, turbidez, sabor e odor, temperatura, etc.); parâmetros químicos (pH, alcalinidade,

acidez, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido e matéria orgânica, entre outros); e parâmetros biológicos (organismos indicadores de contaminação fecal, indicadores biológicos ou bioindicadores da qualidade da água). Portanto, a seguir serão abordados apenas os parâmetros diretamente ligados ao presente trabalho, tais como: cor e turbidez, pois são parâmetros largamente utilizados nas pesquisas realizadas na área, tais como Borba *et al.* (2010), Cerqueira (2006), Fornari (2008), Silva (2005), Paschoal (2005), entre outros.

2.5.1 Cor

A partir da década de 70, avaliar a cor da água passou a ser uma medida importante no controle de qualidade da água, 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 e LIBÂNIO, 2002). Lembrando que, além disso, a cor nas águas pode suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'águas (DA SILVA *et al.*, 2004).

2.5.2 Turbidez

A turbidez é originada pela presença de materiais insolúveis no meio aquoso, sendo assim, classificada de acordo com o seu tamanho. As partículas que contribuem para a turbidez são aquelas cujos diâmetros variam de $10^{-3}\mu\text{m}$ a $10^{-1}\mu\text{m}$ (colóides) e de $10^{-1}\mu\text{m}$ a $10^3\mu\text{m}$ (sólidos suspensos). Grandes partes dos microorganismos patogênicos desenvolvem-se na presença dessas partículas e por isso, a eliminação dessas partículas torna-se necessária (PEREIRA, 2007).

A medida de turbidez representa a redução da transparência de uma amostra devido à presença de material em suspensão. Baseia-se na comparação da leitura da intensidade da luz dispersa pela amostra sob condições definidas e a intensidade da luz dispersa por uma solução padrão, sob as mesmas condições. Uma

suspensão de polímero formazina é utilizada como padrão primário de referência (APHA, 2005).

Vaz (2009) explica que a determinação da turbidez permite evidenciar alterações na água, pois quando a água possui elevadas concentrações de turbidez, as partículas em suspensão refletem a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos, impossibilitando assim, processos como o de fotossíntese.

Alem disso, alguns vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão, ficando protegidos assim da ação de desinfetantes, passando a turbidez a ser considerada também sob o ponto de vista sanitário (SANTOS, 2007, apud VAZ, 2009).

2.5.3 pH

O termo pH foi introduzido, em 1909, pelo bioquímico dinamarquês Søren Peter Lauritz Sørensen (1868-1939) com o objetivo de facilitar seus trabalhos no controle de qualidade de cervejas. Essa grandeza indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução líquida (TAYLOR *et al.*, 2008).

A medida do pH é um dos testes mais importantes e frequentemente o mais usado na química da água. Praticamente, é usado em todas as fases de tratamento de água potável e água residuária, seja na neutralização ácido-base, precipitação, coagulação desinfecção, e controle da corrosão (APHA, 2005).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também, o efeito indireto é muito importante, podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas de acordo com a legislação federal, resolução CONAMA nº. 357 (BRASIL, 2005). Art. 34, inciso 4º, relata que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que o pH esteja entre 5 e 9.

O efeito do pH da água ou efluente na eletrofloculação está refletido pela eficiência da corrente, bem como a solubilidade de hidróxidos metálicos. A potência consumida é mais alta a pH neutro, do que em condições ácidas ou alcalinas devido à variação da condutividade. Quando a condutividade é alta, o efeito do pH não é significativo (CHEN, 2004).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado para a realização deste estudo foi fornecido por uma indústria têxtil localizada no município de Céu Azul (PR), sendo coletado no mês de agosto de 2011. O efluente foi transportado em embalagens plásticas de polietileno tereftalato (PET) de 2L, sendo as mesmas, armazenadas no congelador para posteriores análises.

As análises foram efetuadas no efluente bruto, no grupo de controle e no efluente tratado (eletrofloculado) para fins de avaliação da eficiência da técnica.

3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL

O estudo consistiu em aplicar a técnica de eletrofloculação em um efluente têxtil, onde o sistema alvo da pesquisa incidiu em um reator em batelada de bancada (béquer de 1l), o qual comportou os eletrodos de sacrifício (eletrodo de ferro com 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 ferro por corrida experimental, conectados de forma independentes, sem contato direto entre si, sendo que estes não eram reutilizados. A utilização de dois eletrodos por corrida se deve ao fato de buscar o menor custo operacional possível.

3.1.1 Planejamento experimental

Utilizou-se o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), avaliando-se três variáveis: intensidade de corrente elétrica, pH e tempo de reação. A partir do planejamento fatorial completo 2^n ($n=3$), obteve-se 8 ensaios, então foram

adicionados 4 pontos centrais e 6 pontos axiais para que fosse possível a obtenção do modelo quadrático. Portanto, o total de ensaios foi de 18.

Na Tabela 1 é exposta a matriz do delineamento experimental.

Tabela 1 – Matriz do delineamento experimental

Ensaio	Tempo	Corrente	pH
01	-1	-1	-1
02	1	-1	-1
03	-1	1	-1
04	1	1	-1
05	-1	-1	1
06	1	-1	1
07	-1	1	1
08	1	1	1
09	1,73	0	0
10	-1,73	0	0
11	0	1,73	0
12	0	-1,73	0
13	0	0	1,73
14	0	0	-1,73
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

Na Tabela 2 estão expressos os valores referentes aos níveis estudados para os fatores: tempo de reação, intensidade de corrente e pH.

Tabela 2 – Níveis estudados para as variáveis independentes

Variável	-1,73	-1	0	1	1,73
Tempo de reação (min)	4,44	7	10,5	14	16,55
Intensidade de corrente (A)	0,95	1,5	2,25	3	3,55
pH	3,0	4,48	6,50	8,52	10

Para garantir que não houvesse nenhuma influência sobre os resultados do experimento a ordem dos ensaios foi sorteada.

3.1.2 Procedimento experimental

Seguindo a ordem do sorteio, ajustava-se o pH das amostras, adicionando-se uma solução de ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio de acordo com o necessário, conforme a matriz da Tabela 1 e para medir o pH, utilizou-se um medidor de pH marca Schott Gerate, modelo CG818.

Posteriormente realizava-se a eletrofloculação das respectivas amostras, ajustando a intensidade de corrente e controlando o tempo conforme já estabelecido pela matriz da Tabela 2. Na figura 4, pode-se visualizar a montagem experimental para realização da eletrofloculação.



Figura 4 - Montagem experimental para realização da eletrofloculação

Depois de realizada a eletrofloculação, deixavam-se as amostras em repouso numa bancada, por 24 horas, para a flotação/decantação das mesmas, como pode ser visto na Figura 5. Como Grupo de Controle, para cada ensaio, o efluente bruto foi submetido à agitação magnética paralelamente, deixando-se flotar/decantar também por 24 horas, para posteriormente serem realizados os testes de cor e turbidez.

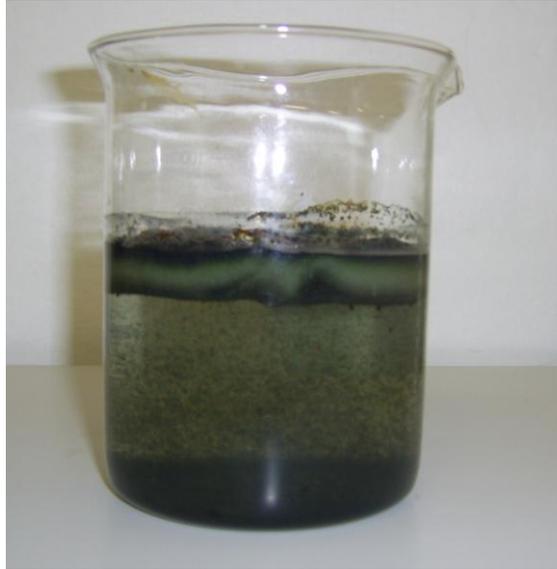


Figura 5 – Exemplo de decantação de uma amostra

Para a realização das análises de cor e turbidez retirava-se o efluente do béquer com o auxílio de pequenas mangueiras colocadas em seringas, que eram adaptadas em cada béquer logo após o término da eletrofloculação.

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 nm e para a medição da turbidez, utilizou-se o Turbidímetro marca TecnoPON.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Como pode ser visto na Tabela 3 e Figura 6 a eficiência do tratamento do efluente têxtil pela eletrofloculação apresentou resultados de 18,86 a 97,32% para a remoção de turbidez.

Tabela 3 - Eficiência na remoção de turbidez

Ensaio	Turbidez bruto	Turbidez GC	Turbidez ensaio	Eficiência Turbidez GC	Eficiência Turbidez ensaio
01	348,00	103,00	65,90	70,40	81,06
02	166,00	113,00	96,00	31,93	42,17
03	348,00	103,00	89,30	70,40	74,34
04	472,00	150,00	130,00	68,22	72,46
05	213,00	211,00	33,20	0,94	84,41
06	93,40	61,40	12,50	34,26	86,62
07	94,40	166,00	47,50	-75,85	49,68
08	94,40	152,00	41,40	-61,02	56,14
09	93,40	85,70	57,30	8,24	38,65
10	213,00	118,00	37,30	44,60	82,49
11	403,00	295,00	170,00	26,80	57,82
12	213,00	198,00	110,00	7,04	48,36
13	311,00	196,00	8,33	36,98	97,32
14	94,40	98,90	76,60	-4,77	18,86
15	472,00	195,00	113,00	58,69	76,06
16	166,00	158,00	117,00	4,82	29,52
17	348,00	172,00	23,90	50,57	93,13
18	213,00	198,00	32,50	7,04	84,74

A partir da Figura 6, se tem uma melhor visualização da remoção de turbidez pela eletrofloculação, podendo-se observar que o grupo de controle teve uma remoção menor do que o efluente tratado pela eletrofloculação. Foi utilizado o

suplemento Action[®] no software Microsoft Excel[®] 2007 para realizar o teste T de Tukey, sendo que foi obtido p-valor = $1,20 \times 10^{(-3)}$ para o comparativo entre as médias dos ensaios de Eletrofloculação (68,91%) e o Grupo de Controle (GC) (37,14%). Portanto, o teste para turbidez apresentou p-valor menor que 0,05, assim, é possível afirmar, com 95% de confiança, que as médias diferem entre si. Deste modo, a média da eficiência de remoção da turbidez pela Eletrofloculação ($68,91\% \pm 21,68$) é superior ao Grupo de Controle ($37,14\% \pm 24,35$).

Quanto aos resultados negativos para o GC, pode ter ocorrido erro experimental ou ainda influência de algum fator externo não controlável.

Para o cálculo das médias e desvio-padrão tanto para o ensaio de Eletrofloculação quanto para o Grupo de Controle, os valores dos ensaios 5, 7, 8 e 14 foram excluídos, pois acredita-se que nestes ensaios possivelmente tenha ocorrido erro experimental.

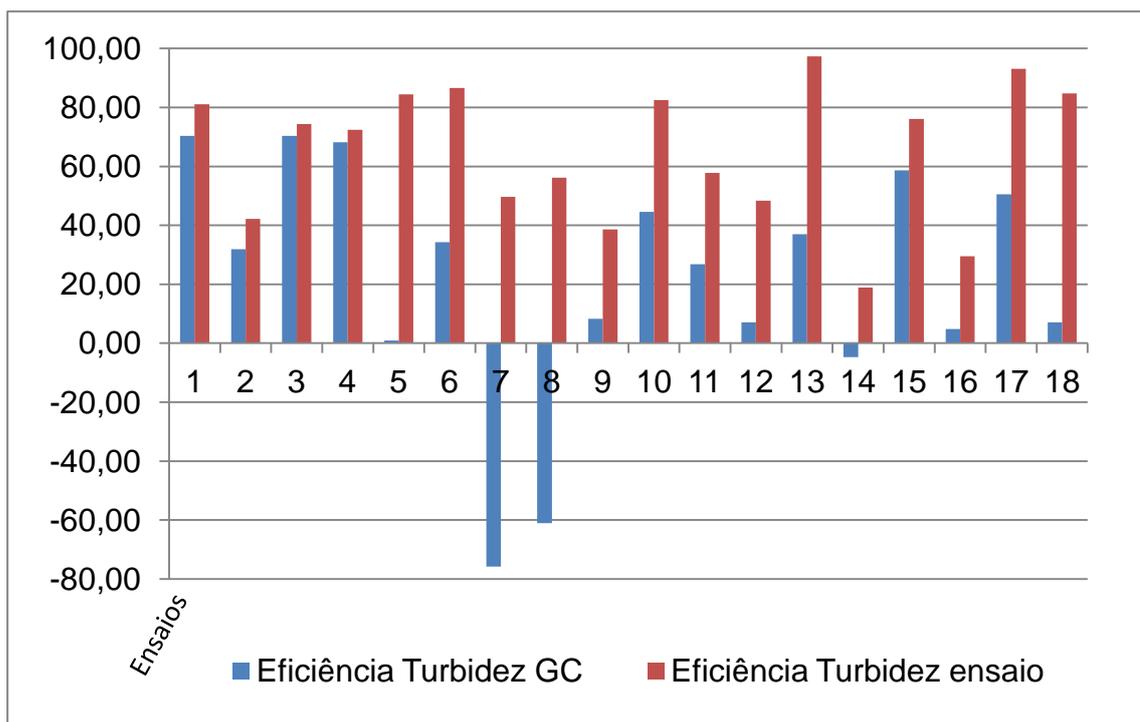


Figura 6 - Representação gráfica da eficiência (%) na remoção da Turbidez

Como pode ser visto na Tabela 4 a eficiência do tratamento do efluente têxtil pela eletrofloculação apresentou resultados de 34,45 a 89,46% para a remoção de cor. Quanto ao valor negativo também pode ter ocorrido um erro experimental ou ainda influência de algum fator externo não controlável.

Tabela 4 - Eficiência na remoção de cor

Ensaio	Cor bruto	Cor grupo de controle	Cor ensaio	Eficiência cor GC	Eficiência cor ensaio
01	0,979	0,511	0,116	47,80	88,15
02	0,479	0,452	0,246	5,64	48,64
03	0,979	0,511	0,175	47,80	82,12
04	0,650	0,368	0,285	43,38	56,15
05	0,950	1,060	0,122	-11,58	87,16
06	0,485	0,308	0,090	36,49	81,44
07	1,250	0,590	0,283	52,80	77,36
08	1,250	0,580	0,285	53,60	77,20
09	0,485	0,476	0,156	1,86	67,84
10	0,950	0,575	0,180	39,47	81,05
11	0,775	0,706	0,240	8,90	69,03
12	0,950	0,700	0,360	26,32	62,11
13	0,996	0,687	0,105	31,02	89,46
14	1,250	0,358	0,242	71,36	80,64
15	0,650	0,580	0,355	10,77	45,38
16	0,479	0,467	0,314	2,51	34,45
17	0,979	0,652	0,131	33,40	86,62
18	0,950	0,700	0,245	26,32	74,21

Realizando-se o Teste T (Tukey) foi obtido $p\text{-valor} = 4,64 \times 10^{-7}$ para o comparativo entre as médias dos ensaios de Eletrofloculação (69,05%) e o Grupo de Controle (25,83%) portanto, o $p\text{-valor}$ encontrado foi menor que 0,05, assim, é possível afirmar, com 95% de confiança, que as médias diferem entre si. Deste modo, a média da eficiência de remoção da cor pela Eletrofloculação ($69,05\% \pm 17,49$) é superior ao Grupo de Controle ($25,83\% \pm 16,87$).

Quanto ao resultado negativo para o GC, pode ter ocorrido erro experimental ou ainda influência de algum fator externo não controlável.

Para o cálculo das médias e desvio-padrão tanto para o ensaio de Eletrofloculação quanto para o Grupo de Controle, os valores dos ensaios 5, 7, 8 e 14 foram excluídos, pois acredita-se que nestes ensaios possivelmente tenha ocorrido erro experimental.

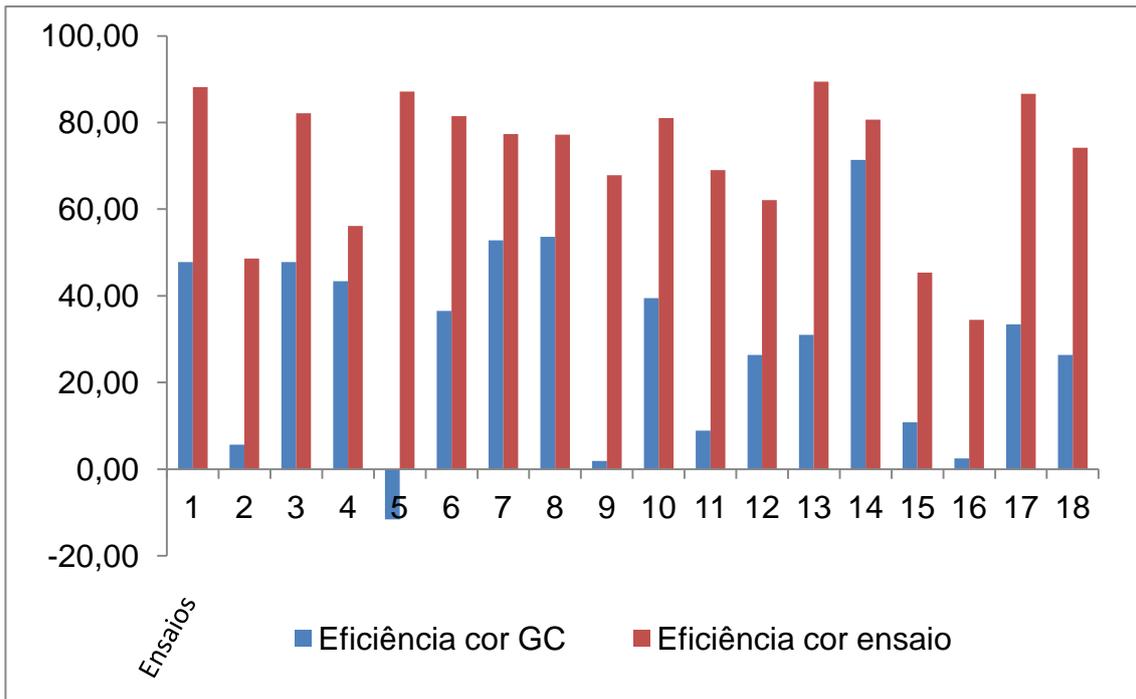


Figura 7 – Representação gráfica da eficiência (%) na remoção da cor

Como se pode observar na Figura 7, os resultados do processo de eletrofloculação para remoção de cor são os mais satisfatórios do que os para turbidez, sendo alcançados valores de 34,45 até 89,46 % de eficiência na remoção da cor.

Então, pode-se afirmar, que tanto para cor quanto para turbidez a eletrofloculação obteve resultados satisfatórios, embora o resultado seja ainda melhor para o parâmetro cor.

5. CONCLUSÕES

Após a realização deste estudo é possível afirmar que tanto para remoção de cor quanto para remoção de turbidez, do efluente têxtil testado, a eletrofloculação obteve resultados satisfatórios, sendo os melhores resultados para o parâmetro cor.

Na eficiência na remoção de turbidez, o resultado obtido no Teste T (Tukey), apresentou médias diferentes entre si estatisticamente. Portanto, é possível afirmar com 95% de confiança que a média da eficiência de remoção da turbidez pela eletrofloculação (68,91%) é superior ao Grupo de Controle (37,14%).

Também na eficiência na remoção da cor, o resultado do Teste T (Tukey), apresentou médias diferentes entre si estatisticamente. Portanto, também é possível afirmar com 95% de confiança que a média da eficiência de remoção da cor pela eletrofloculação (69,05%) é superior ao Grupo de Controle (25,83%).

É necessário comentar que o planejamento experimental utilizado, DCCR, permite a obtenção dos efeitos de cada variável, a obtenção de modelos quadráticos para as variáveis-respostas, e, além disso, a análise das condições ótimas por meio de gráficos de superfície de resposta. Entretanto, devido a indisponibilidade de tempo hábil para realizar tais análises, estes resultados poderão ser melhor discutidos em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. **Corantes e Pigmentos: Usos De Corantes, Pigmentos E Branqueadores Ópticos**. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/corantes/cor_aplicacoes.asp> Acesso em 15 de outubro de 2011.

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Dados gerais do setor atualizados em 2011, referentes ao ano de 2010**. Disponível em: <http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=1&id_sub=4&idioma= PT> Acesso em 15 de outubro de 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21a ed. Estados Unidos da America, 2005.

BARROS, Marcos Jose; NOZAKI, Jorge. **Redução De Poluentes De Efluentes Das Indústrias De Papel E Celulose Pela Floculação/Coagulação E Degradação Fotoquímica**, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v25n5/11401.pdf>> Acesso em 20 de outubro de 2011.

BORBA, Fernando Henrique et al. **Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas**, 2010. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=1107> Acesso em 20 de outubro de 2011.

BNDES Setorial, **Panorama da Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções e a Questão da Inovação**. Rio de Janeiro, n. 29, p. 159-202, mar. 2009. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf> Acesso em 22 de outubro de 2011.

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

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 357 de 17 de março de 2005. Trata das condições de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 17 de março de 2005.

CERQUEIRA, A. A.; RUSSO, C. **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.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and purification Technology**, nº. 38, p. 11-41, 2004.

CRESPILHO, Frank Nelson, REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. **Eletroflotação - Princípios e Aplicações**. São Carlos: Editora Rima, 2004.

DA SILVA, M. R. A.; DE OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA. R. F. P. 2004. **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 Acesso em 22 de novembro de 2011.

DELLAMATRICE, Priscila Maria. **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 25 de outubro de 2011.

FORNARI, Marilda Menchon Tavares. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes de curtume**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Toledo, 2008.

FREITAS, Katya Regina. **Caracterização e reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil**. 2002. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m088.pdf>> Acesso em 25 de outubro de 2011.

FURIGO JR, Agenor; et al. **Biotecnologia Aplicada À Indústria Têxtil**, 2004. Disponível em: <http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2004/textil/biotecnologia-industriatextil.htm> Acesso em 01 de novembro de 2011.

HOSNY, A. Y., **Separating oil from oil-water emulsion by electroflotation technique**. Separation Technology, n. 6, p. 9-17, 1996.

IMMICH, Ana Paula Serafini. **Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis Utilizando Folhas de Azadirachta Indica como Adsorvente**. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m164.pdf>> Acesso em 01 de novembro de 2011.

JOST, P. T., **Tratamento de efluentes de curtume**. CNI, Departamento de Assistência à Média e Pequena Indústria, Rio de Janeiro – RJ, 1ª Ed., 181 p, 1990.

KUNZ, A. ZAMORA, P. P., **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química nova, v. 25, p. 78-82, 1999.

LEAL, Fabiano Cesar Tosetti; LIBANO, Marcelo. **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 05 de novembro de 2011.

LEITÃO, R. C. E PIRES. E. C., **Avaliação do processo eletrolítico para remoção de cor causada pela lignina**, Anais do 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, v. 2 p. 476-92, 1991. Disponível em: <http://www.btdtd.uerj.br/tde_arquivos/7/TDE-2007-01-11T113432Z-61/Publico/Eletrofloc.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2011.

LOUREIRO, R.L., **Caracterização do chorume segundo alguns parâmetros e aplicação do método de eletrofloculação**. Monografia do Curso de Química. Vitória, ES., 2008. Disponível em: <<http://www.cce.ufes.br/dqui/lqa/extra/LINK%20MONO%204.pdf>> Acesso em: 15 de novembro de 2011.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, v. B114, p. 199-210, 2004

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

NIGAM, P.; ARMOUR, G.; BANAT I.M.; SINGH, D.; MARCHANT, R. **Physical removal of textile dyes from effluent and solid-state fermentation of dyeadsorbed agricultural residues**. Bioresource Technology, vol. 72, p. 219- 229, 2000.

PACHECO, Sabrina Moro Villela. **Enzimas Oxidativas Aplicadas Na Descoloração De Corantes Utilizados Na Indústria Têxtil** – Universidade Federal de Santa Catarina - Anais da 6a Semana de Ensino, Pesquisa e Extensao, 2007. Disponível em: <http://anais.sepex.ufsc.br/anais_6/trabalhos/371.html> Acesso em 05 de novembro de 2011.

PASCHOAL, Fabiana Maria Monteiro; TREMILIOSI FILHO, Germano. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais.** 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500006> Acesso em 06 de novembro de 2010.

PEREIRA. A.F.S., **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil.** Dissertação de Mestrado à Faculdade de Engenharia Química. Capinas, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/cgi-bin/search.cgi?fl=p&np=6&q=Bernardo+Caro>>. Acesso em 13 de novembro de 2001.

PERUZZO, Lucile Cecília. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo.** Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química. Pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m102.pdf>> Acesso em 06 novembro de 2011.

RAMALHO, R. S., **Tratamento de Águas Residuais**, Editorial Reverte S.A., Barcelona, 1991.

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 08 de novembro de 2011.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIZAM, P. **Remediation of Dyes in textile effluent: a Critical Review on Current Treatment Technologies with a proposed alternative.** Bioresource Technology, vol. 77, p. 247-255, 2000.

RODRIGUEZ, Jackson, et al, 2007. **Feasibility assessment of electrocoagulation towards a new sustainable wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research.** Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1065/espr2007.05.424>> Acesso em 08 de novembro de 2011.

SANTOS, Jean Nonato Ribeiro, et al. **Tratamento De Efluentes Têxteis Pelos Processos De H2O2/UV E Ozonização.** Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo_1224.html> Acesso em 09 de novembro de 2011.

SILVA, A.K.P., ET AL., **Reuso de água e suas implicações jurídicas.** Navegar Editora, São Paulo, 1ª Ed. 2003, 579p.

SOARES, Jose Luciano. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. Disponível em <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m039.pdf>> Acesso em 10 de novembro de 2011.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima. **Performance Do Processo De Coagulação/Floculação No Tratamento Do Efluente Líquido Gerado Na Galvanoplastia.** Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de concentração em Desenvolvimento de Processos. 2009. Toledo, PR – Brasil. Disponível em: <http://cac.php.unioeste.br/pos/media/File/eng_quimica/luiz.pdf> Acesso em 10 de novembro de 2011.

VON SPERLING, M., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** V. 1, 2ª Ed. Editora Segrac, Belo Horizonte – MG, 1996, 243p

WIENDL, W.G., **Processos eletrolíticos para depuração de esgotos – Uma revisão secular**, Revista DAE – SP, v. 45, nº. 140, p. 50-4, 1985.

WILLMOT, N., et al., **The biotechnology approach to colour removal from textile effluent**. Journal Science. V. 114, p.38-41, 1998.