

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU – FURB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – CCEN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA – PPGQ**

ELAINE TERESINHA BALBINOT

**OTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS OXIDATIVOS NO TRATAMENTO DE SOLUÇÕES
DE CORANTE REATIVO PROCION VERMELHO HE-3B PARA REUTILIZAÇÃO
EM NOVOS TINGIMENTOS DE ALGODÃO**

**BLUMENAU – SC
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ELAINE TERESINHA BALBINOT

**OTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS OXIDATIVOS NO TRATAMENTO DE SOLUÇÕES
DE CORANTE REATIVO PROCION VERMELHO HE-3B PARA REUTILIZAÇÃO
EM NOVOS TINGIMENTOS DE ALGODÃO**

Dissertação submetida à Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Química.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Ivonete Oliveira Barcellos

Co-orientador: Prof. Dr. Patrício Peralta Zamora

**BLUMENAU – SC
2008**

**OTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS OXIDATIVOS NO TRATAMENTO DE
SOLUÇÕES DE CORANTE REATIVO PROCION VERMELHO HE-3B
PARA REUTILIZAÇÃO EM NOVOS TINGIMENTOS DE ALGODÃO**

Por

ELAINE TERESINHA BALBINOT

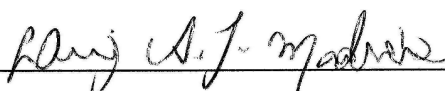
Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final pelo orientador e demais membros da banca examinadora.



Presidente: Profa. Dra. Ivonete Oliveira Barcellos – Orientadora – FURB



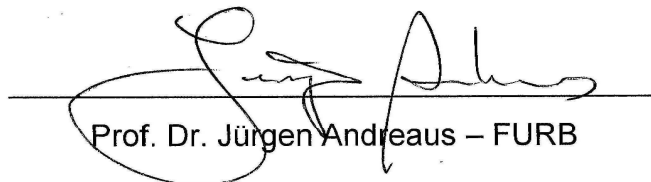
Prof. Dr. Patrício Peralta Zamora – Co-orientador – UFPR



Prof. Dr. Luiz Augusto dos Santos Madureira – UFSC



Prof. Dr. Clodoaldo Machado – FURB



Prof. Dr. Jürgen Andreas – FURB

Blumenau, 20 de junho de 2008.

*Dedico este trabalho a todos àqueles que
acreditam que a ousadia e o erro são
caminhos para as grandes realizações.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que tudo dirige e determina, fonte de luz e inspiração, amor e proteção em todos os momentos de minha vida.

A Professora Dr^a. Ivonete Oliveira Barcellos, orientadora desta dissertação, agradeço o compromisso assumido, a sabedoria, a compreensão e o empenho que colocou neste trabalho. Agradeço ainda, a análise rigorosa e afectuosa de cada capítulo, as sugestões, os esclarecimentos e os comentários sempre oportunos. Para agradecer à confiança e a amizade às palavras serão sempre poucas. E em seu nome agradeço a todos Professores do Curso do Mestrado em Química e demais Docentes do Departamento de Química da FURB.

Ao Professor Co-orientador Dr. Patrício Peralta Zamora (UFPR), pelo “sim” concedido na hora em que mais precisamos. Pelo seu sorriso contagiante com que trata todos os seus alunos nos incentivando cada vez mais nas incansáveis horas dentro de um laboratório.

À minha nona Maria, fonte de exemplo, alegria e força no decorrer de toda a minha vida. À ela, qualquer agradecimento será pouco.

Ao meu esposo Israel, pela paciência, companherismo e auxílio nas horas mais difíceis; pelas palavras de consolo, de motivação e de aprendizado que me prestou.

A toda minha família, em especial a minha irmã Ana Paula e meu tio Wolmar pelo apoio prestado, pelo incentivo e pela ajuda prestada em todos os sentidos.

Aos meus colegas de mestrado, qualquer agradecimento aqui ficará muito aquém do justo. Agradeço em especial a inesquecível amizade da colega Simone e o auxílio compreensivo da colega Viviane.

Às bolsista de Iniciação Científica Pâmela Freitas Pereira Toassi Jeremias e Luana Chiarello, que incansavelmente me auxiliaram sempre que necessitei durante a realização deste trabalho e a técnica Giovana Aparecida Vieira por todo o apoio prestado.

À Arlene Bispo dos Santos e Fernanda Gabriela Henning, acadêmicas da UFPR, peças fundamentais na execução da primeira etapa deste trabalho. A elas todo meu agradecimento pelas longas horas de tratamento, pela amizade e principalmente pelos seus preciosos dias de férias que foram dedicados ao trabalho.

Na concretização deste trabalho, muitas pessoas contribuíram e influenciaram direta ou indiretamente. Não sendo possível nomear a todos, deixo aqui a minha sincera gratidão, reconhecendo que esse apoio foi fundamental e extremamente valioso.

*“Todo profundo pesquisador da natureza
deve conceber uma espécie de
sentimento religioso.
No universo, incompreensível como é,
manifesta-se uma inteligência
superior e ilimitada”.*

(Albert Einstein)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura típica de algumas classes de corantes usados nas indústrias têxteis	18
Figura 2 Esquema representativo de um corante diclotriazina em interação com a fibra de algodão	20
Figura 3 Representação das etapas de tintura do algodão contendo o grupo sulfatoetilsulfanila como centro reativo da molécula do corante	21
Figura 4 Exemplo genérico da interação iônica entre o corante (D) e os grupos amino da fibra da lã.	22
Figura 5 Esquema representativo do processo de reação Fenton	31
Figura 6 Reações Fenton	31
Figura 7 Esquema representativo do mecanismo de Fotólise do peróxido com radiação UV..	33
Figura 8 Reações de Peróxido de Hidrogênio	34
Figura 9 Vazões do consumo da água para os diferentes usos no Brasil	36
Figura 10 Estrutura química do corante Vermelho Reativo Procion HE-3B	41
Figura 11 Fluxograma simplificada da metodologia.....	42
Figura 12 Fotografia do equipamento utilizado para o tratamento no Processo Redutivo	43
Figura 13 Fotografia do reator fotoquímico de bancada operando com radiação artificial	45
Figura 14 Fotografia do equipamento utilizado para o processo oxidativo UV/H ₂ O ₂	45
Figura 15 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo Processo redutivo .	50
Figura 16 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo Processo Foto-Fenton	51
Figura 17 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo Processo Oxidativo AvançadoUV/H ₂ O ₂ , em diferentes condições de tratamento	52
Figura 18 Fotografia das amostras coletadas no primeiro ciclo de reuso.....	56
Figura 19 Porcentagem de esgotamento no primeiro ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	57
Figura 20 Gráfico dos Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 2º ciclo tratadas por UV/H ₂ O ₂ , em diferentes tempos	58
Figura 21 Redução da Área Espectral após processo UV-H ₂ O ₂ em pH 10,7 da amostras tratadas do 2º ciclo.....	59
Figura 22 Porcentagem de esgotamento no segundo ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	61

Figura 23 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 3º ciclo tratadas por UV/H ₂ O ₂ , em diferentes tempos.....	63
Figura 24 Redução da Área Espectral após processo UV/H ₂ O ₂ em pH 10,3 da amostras tratadas do 3º ciclo de tratamento.....	64
Figura 25 Porcentagem de esgotamento no terceiro ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	65
Figura 26 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 4º ciclo tratadas por UV/H ₂ O ₂ , em diferentes tempos.....	67
Figura 27 Redução da Área Espectral após processo UV/H ₂ O ₂ em pH 10,8 da amostras tratadas do 4º ciclo.....	68
Figura 28 Porcentagem de esgotamento no quarto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	69
Figura 29 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 4º ciclo tratadas por UV/H ₂ O ₂ , em diferentes tempos.....	71
Figura 30 Redução da Área Espectral após processo UV/H ₂ O ₂ em pH 10,8 das amostras tratadas do 4º ciclo.....	72
Figura 31 Porcentagem de esgotamento no quinto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	74
Figura 32 Espectros UV-vis da solução de efluente sintético tratada por UV/H ₂ O ₂ , em diferentes tempos para descarte.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Planejamento Fatorial 2 ² dos experimentos.....	49
Tabela 2 Valores de Fe ²⁺ e Fe ³⁺ em mg/L, determinados para diferentes condições de tratamento.	50
Tabela 3 Valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO), determinadas para diferentes condições de tratamento.	51
Tabela 4 Concentração de H ₂ O ₂ remanescente após diferentes tempos de tratamento após tratamento UV/H ₂ O ₂	54
Tabela 5 Demanda Química de Oxigênio (DQO) no tratamento UV/H ₂ O ₂ em diferentes tempos de tratamento.....	54
Tabela 6 Intensidade colorística (K/S) das amostras de tecido e diferença de cor residual (ΔE) comparados como padrão, no primeiro ciclo de reuso.	57
Tabela 7 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual.....	60
Tabela 8 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no segundo ciclo de reuso.....	62
Tabela 9 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual.....	65
Tabela 10 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no terceiro ciclo de reuso.....	66
Tabela 11 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual para o Quarto ciclo de Reuso.....	69
Tabela 12 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no quarto ciclo de reuso.....	70
Tabela 13 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual.....	73
Tabela 14 Determinação de Carbono Orgânico Total no quinto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados	73
Tabela 15 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no quinto ciclo de reuso.....	75
Tabela 16 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual do efluente sintético final dos ciclos com destino de descarte.	76
Tabela 17 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 1º ciclo de reuso	77
Tabela 18 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 2º ciclo de reuso	78

Tabela 19 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 3º ciclo de reuso	78
Tabela 20 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 4º ciclo de reuso	79
Tabela 21 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 5º ciclo de reuso	79
Tabela 22 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, de todos os ciclos de reuso	80
Tabela 23 Porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimentos de todos os ciclos.....	81
Tabela 24 Resumo das concentrações de Peróxido de Hidrogênio Residual	81

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

Af	Absorbância final
Ai	Absorbância inicial
TOC	Carbono Orgânico total
CI	Colour Index
λ	Comprimento de onda
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigenio
ΔL	Desvio de claridade
ΔC	Desvio de pureza
ΔH	Desvio de tonalidade
ICI	Imperial Chemical industrieis
W	Watts
AOX	Ortanohalogenados Absorvíveis
pH	Potencial hidrogenônico
POA's	Processos Oxidativos Avançados
HO [•]	Radical Hidroxila
UVA	Radiação ultravioleta A
UVB	Radiação Ultravioleta B
R	Remissão
ton	Toneladas
UV-vis	Ultravioleta – visível
V	Volts
ΔE	Diferença de cor residual
K/	Intensidade Colorística

RESUMO

A indústria têxtil é um dos maiores segmentos industriais sendo também grande geradora de efluentes complexos e de elevado potencial poluidor. Esses efluentes contêm elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. A complexidade dos rejeitos gerados varia a medida que novos processos e novas técnicas surgem através da pesquisa, de acordo com a demanda do consumo de novos produtos como tecidos e cartelas de cores. Muitos processos utilizados apenas transferem os poluentes de uma fase para outra em vez de eliminá-los totalmente. Novas tecnologias como os Processos Oxidativos Avançados (POAs) podem transformar substâncias persistentes e dificilmente elimináveis, em substâncias ecologicamente inofensivas, biologicamente degradáveis e levar muitas vezes à total mineralização. O presente trabalho teve como objetivo otimizar o tratamento de soluções residuais (efluente sintético) de tingimentos de tecidos de algodão com o corante Reativo Vermelho Procion HE -3B para avaliar o número de ciclos possíveis para o reuso destas soluções em outros tingimentos. O trabalho foi dividido em três etapas. Na primeira foi gerado em laboratório, o rejeito líquido de um tingimento de tecido de algodão. Seguidamente esse efluente sintético, foi submetido a diferentes métodos e condições de tratamento (Redutivo com Fe metálico, Foto-Fenton e UV/H₂O₂), para a otimização e escolha de um método adequado para este tipo de corante. Finalmente após a otimização do método, os efluentes sintéticos foram tratados através do processo oxidativo avançado (POA's) H₂O₂/UV, em um reator fotoquímico, utilizando uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125 W, acoplada a um bulbo de quartzo. Os ensaios foram realizados utilizando uma concentração de peróxido de hidrogênio de 200 mg.dm⁻³. As soluções tratadas foram reutilizadas em novos tingimentos para avaliar quantos ciclos de reuso (tingimento – tratamento) de um efluente originado de tingimentos com este tipo de corante são possíveis, sem afetar a qualidade dos tecidos tintos., Para comparar a influência do eletrólito, já que o tratamento escolhido não removeu o eletrólito completamente, os tingimentos com as soluções tratadas foram realizadas de três maneiras: adição de NaCl conforme receita do fabricante, com ajuste da concentração de eletrólito NaCl e sem adição de eletrólito, visando então uma economia na adição de NaCl. Os resultados mostraram que o tratamento UV/ H₂O₂ foi eficaz pois todos os ciclos obtiveram uma degradação superior a 80% para este tipo de corante, demonstrando maior eficiência na degradação do corante no primeiro e segundo ciclo. A reutilização da água tratada para novos tingimentos, atingiu seu limite máximo de reprodutibilidade no terceiro ciclo de reuso pós tratamento, com exceção dos tingimentos sem adição de eletrólito que ultrapassou os limites tintorias estabelecidos pela indústria em todos os ciclos de reuso, ($\Delta E, > 1,1$). Quanto aos valores de K/S foram muito próximos aos obtidos para o padrão (água destilada) e ΔE variou de 0,65 a 2,44 dependendo do ciclo de reuso. Mesmo tendo limite no número de ciclos de reuso, considera-se os resultados satisfatórios, pois obteve-se uma boa reprodutibilidade da cor, com diferença de cor (ΔE) inferiores a 1,1 até o terceiro ciclo de reuso, uma elevada economia de água ainda é possível.

Palavras - chave: corante reativo, algodão, tingimento, POA's, reuso de efluente sintético.

ABSTRACT

Being one of the biggest industrial segments, the textile industry is generating complex effluents with a high polluting potential. These effluents contain a high organic load with chemical compounds that are toxic to humans and to the environment and are strongly colored. The complexity of the generated effluents varies as new techniques and processes come up through research, according to the demand of the consume of new products like fabric and boards of colors. Many of the processes applied only transfer the pollutants from one phase to another instead of eliminating them from the effluent. New technologies such as the Advanced Oxidative Processes (AOPs) can transform persistent and difficult to eliminate substances into ecologically harmless, biologically degradable substances and can sometimes lead to total mineralization. The purpose of this investigation is to optimize the treatment of a synthetic effluent produced on laboratory level by dyeing a cotton fabric with Reactive Red Procion HE -3B to evaluate how many cycles of reusing the treated solutions are possible in other dyeing procedures. The work was divided in three steps. At first, liquid waste from reactive cotton dyeing was generated in the laboratory. Then, this synthetic effluent was submitted to different treatment methods and conditions in order to improve and choose an appropriate method for this type of pigment. Finally, after the method being optimized, the synthetic effluents were treated upon the advanced oxidative process (AOP) $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ in a photochemical reactor, using a quicksilver steam lamp of 125 W, attached to a quartz bulb. The solutions were made using hydrogen dioxide of $200 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. The treated solution were reused in new dyeing, aiming the detection of the amount of reuse possible cycles for this type of pigment, taking into account the borderlines established by the industry in which refers to dyed fabric quality. The solutions for reuse in the coloring processes were employed in three ways: sample 1 (as the manufacturer's prescription), sample 2 (with an adjustment in the NaCl electrolyte addition) and sample 3 (no electrolyte addition). The idea was to compare the different conditions in relation to the remaining electrolyte, aiming for an economy in NaCl addition. The results showed that the UV/ H_2O_2 treatment was effective for this type of pigment, demonstrating larger efficiency in degradation of dye and peroxide in the first and second cycles. The reuse of treated water reached its maximum limit in the third post-treatment-reuse cycle, with exception of sample 3, which overtopped the dye limits established by the industry in all reuse cycles, not being effective anymore in the fourth and fifth cycles for all the samples of coloring with treated water. The K/S and ΔE values were too close to the ones obtained from the standard (distilled water) and ΔE ranged from 0,65 a 2,44 depending on the reuse cycle. In spite of the limit on the number of reuse cycles, satisfactory results are taken into consideration because of good coloring reproductability, with the color diference (ΔE) bellow 1.1 until the third reuse cycle, still high water economy is possible.

Key - words: reactive dye, cotton, dyeing, AOPs, reuse of synthetic Effluent.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 CORANTES	18
2.1.1 Corantes Reativos	20
2.2 FIBRAS TÊXTEIS	21
2.3 EFLUENTE TÊXTIL	22
2.3.1 Caracterização do Efluente	23
2.3.2 Aspectos Toxicológicos.....	24
2.3.3 Tratamento de efluentes.....	26
2.3.3.1 Métodos biológicos	27
2.3.3.2 Métodos Físicos.....	28
2.3.3.3 Processo Redutivo	29
2.3.3.4 Processos Oxidativos Avançados (POA's).....	30
2.3.3.4.1 Fotocatálise Homogênea.....	30
2.3.3.4.2 Radiação Eletromagnética	32
2.3.3.4.3 Características do H ₂ O ₂	33
2.4 REUSO DAS ÁGUAS	35
3. OBJETIVOS	40
3.1 OBJETIVO GERAL	40
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	40
4. PARTE EXPERIMENTAL	41
4.1 FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA METODOLOGIA	42
4.2 OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO	43
4.2.1 Tingimentos de tecidos de algodão	43
4.2.2 Processo Redutivo	43
4.2.2.1 Determinação de Fe ⁿ⁺	43
4.2.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	44
4.2.3 Tratamento Foto-Fenton	44
4.2.4 Tratamento UV – H ₂ O ₂	45
4.2.4.1 Peróxido de Hidrogênio Residual.....	46

4.2.4.2	Determinação de Carbono Orgânico Total.....	46
4.2.4.3	Porcentagem de Eficiência	46
4.2.4.4	Determinação da Porcentagem de Esgotamento	47
4.2.4.5	Determinação do K/S (intensidade colorística) e do ΔE (diferença de cor residual) ..	47
4.2.4.6	Determinação do teor de cloreto de sódio	48
4.2.4.7	Ensaio de Solidez	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE TRATAMENTO	50
5.1.1	Processo Redutivo	50
5.1.2	Processo Foto-Fenton	52
5.1.3	Tratamento UV/ H ₂ O ₂	53
5.2	PRIMEIRO CICLO DE REUSO.....	56
5.3	SEGUNDO CICLO DE REUSO	59
5.3.1	Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual	61
5.3.2	Reuso da Solução do 2º Ciclo de Tratamento	61
5.4	TERCEIRO CICLO DE REUSO	63
5.4.1	Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual do 3º Ciclo de Tratamento	65
5.4.2	Reuso da Solução do Terceiro Ciclo de Tratamento	66
5.5	QUARTO CICLO DE REUSO	67
5.5.1	Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual para o Quarto Ciclo de Reuso.....	69
5.5.2	Reuso da Solução do Quarto ciclo de Tratamento	70
5.6	QUINTO CICLO DE REUSO	71
5.6.1	Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual	73
5.6.2	Carbono Orgânico Total (TOC)	74
5.6.3	Reuso da solução do Quinto Ciclo de tratamento.....	75
5.7	TRATAMENTO DO EFLUENTE A SER DESCARTADO.....	76
5.7.1	Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual	77
5.8	SOLIDEZ A LAVAGEM.....	78
5.8.1	Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas	78
5.9	APRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DOS RESULTADOS.....	81
6	CONCLUSÃO	83

1. INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Nas últimas décadas, a contaminação de águas naturais tem sido um dos grandes problemas da sociedade moderna. Dentro deste contexto, o setor têxtil apresenta um especial destaque, devido aos grandes volumes de efluentes gerados, os quais, quando não devidamente tratados, causam sérios problemas de contaminação ambiental. Os corantes sintéticos são extensivamente utilizados na indústria têxtil, gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo. O efluente têxtil varia significativamente em quantidade, mas principalmente na complexidade de sua composição. O processamento deste é gerador de despejos altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos de grande toxicidade ao ser humano e ao meio ambiente.

Os efluentes gerados pelas indústrias têxteis são provenientes dos processos de preparação (lavagem e alvejamento das fibras), tingimento e do acabamento. Dado o grau de variedade de fibras, corantes, auxiliares e produtos de acabamento em uso, esses processos geram efluentes de grande complexidade e diversidade química. Dependendo de sua origem, estes efluentes variam consideravelmente na cor, no conteúdo de sólidos suspensos e na concentração de DQO (VANDEVIVERE *et al.*, 1998).

A forte coloração do efluente têxtil cria esteticamente um grande problema ambiental. O problema da cor está associado aos corantes, principalmente aos solúveis em água. Sua concentração é menor do que muitos outros produtos químicos encontrados nos efluentes, mas sua cor é visível mesmo em baixas concentrações (SARAVA *et al.*, 1998).

Os principais problemas ambientais das indústrias têxteis estão relacionados com a utilização de azo-corantes, os quais são sintéticos e resistentes à degradação natural além de possuírem caráter mutagênico e carcinogênico (PINHEIRO *et al.*, 2004). A preocupação com a qualidade do ambiente atingido por efluentes coloridos, leva à busca de alternativas de tratamentos, o que constitui um dos grandes desafios enfrentados nos dias de hoje. Esses despejos e resíduos gerados são tóxicos à biota aquática, diminuem a quantidade de oxigênio dissolvido e modificam as propriedades e características dos cursos d' água (CISNEROS *et al.*, 2002).

Tecnologias cada vez mais eficientes estão sendo estudadas como alternativa viável e econômica para a descoloração, mineralização e possível reutilização deste efluente para novos tingimentos. Os processos mais comuns empregados para tratamento de efluentes

têxteis são os biológicos e físico-químicos. No entanto, estudos realizados têm mostrado que os corantes do tipo reativos, devido a sua complexa estrutura química, são resistentes à degradação biológica, dificultando a remoção da cor e a degradação molecular completa. As tecnologias físico-químicas como filtração por membranas ou absorção por carvão ativado são caras e comercialmente não atrativas. Além disso, estes processos só transferem os poluentes de uma fase para outra em vez de eliminá-los. Assim, nos últimos anos, a atenção tem sido focada em técnicas que levam a completa destruição das moléculas dos corantes (ALATON *et al.*, 2002).

As limitações químicas das técnicas de oxidação convencional estão sendo superadas pelo desenvolvimento dos processos oxidativos avançados (POA's), que utilizam fortes agentes oxidantes (O_3 , H_2O_2) e/ou catalisadores (Fe, Mn, TiO_2) na presença ou ausência de uma fonte de irradiação. Os POA's envolvem principalmente a geração de um poderoso e não seletivo agente oxidante, o radical hidroxila (HO^\bullet), para a destruição de poluentes em efluentes industriais.

Vários corantes utilizados pelas indústrias têxteis (incluindo os reativos azo) têm sido degradados por esta técnica (GEORGIU *et al.*, 2002). O processo UV/ H_2O_2 é capaz de destruir totalmente a estrutura cromófora dos corantes azo e a extensão da degradação depende da estrutura básica da molécula e da natureza dos grupos auxiliares ligados ao núcleo aromático dos corantes (ALEBOYUEH *et al.*, 2003).

Em meio a estas situações de aspectos ambientais, este trabalho tem como principal objetivo o estudo de uma alternativa de tratamento para efluentes têxteis gerados por corantes reativos, utilizando processos POA's com H_2O_2 (agente oxidante) e a radiação ultravioleta como agente ativador, visando uma possível reutilização deste efluente em novos tingimentos de tecidos de algodão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CORANTES

Os corantes são produtos químicos normalmente aplicados em solução, os quais se fixam de alguma forma em um substrato. Devido a sua própria natureza, os corantes são facilmente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em concentrações tão baixas quanto 1 mg.dm^{-3} , assim sendo facilmente detectado pelo público e autoridades que monitoram os efluentes (FORGIARINI, 2006).

As principais características que são desejáveis nos corantes são a de serem estáveis à luz, apresentarem uma distribuição uniforme, propiciarem um alto grau de fixação e resistirem ao processo de lavagem. Essas características essenciais aos corantes somente foram conseguidas com o surgimento dos corantes sintéticos. Atualmente, todos os corantes e pigmentos comerciais são substâncias sintéticas, com exceção de alguns pigmentos orgânicos (CARREIRA, 2006).

Diversos tipos de corante como, por exemplo, os representados na Figura 1, são usados na indústria têxtil e grande parte de corante é perdida durante o processo de tingimento ocasionando com freqüência certos problemas ambientais (TANAKA *et al.*, 2000).

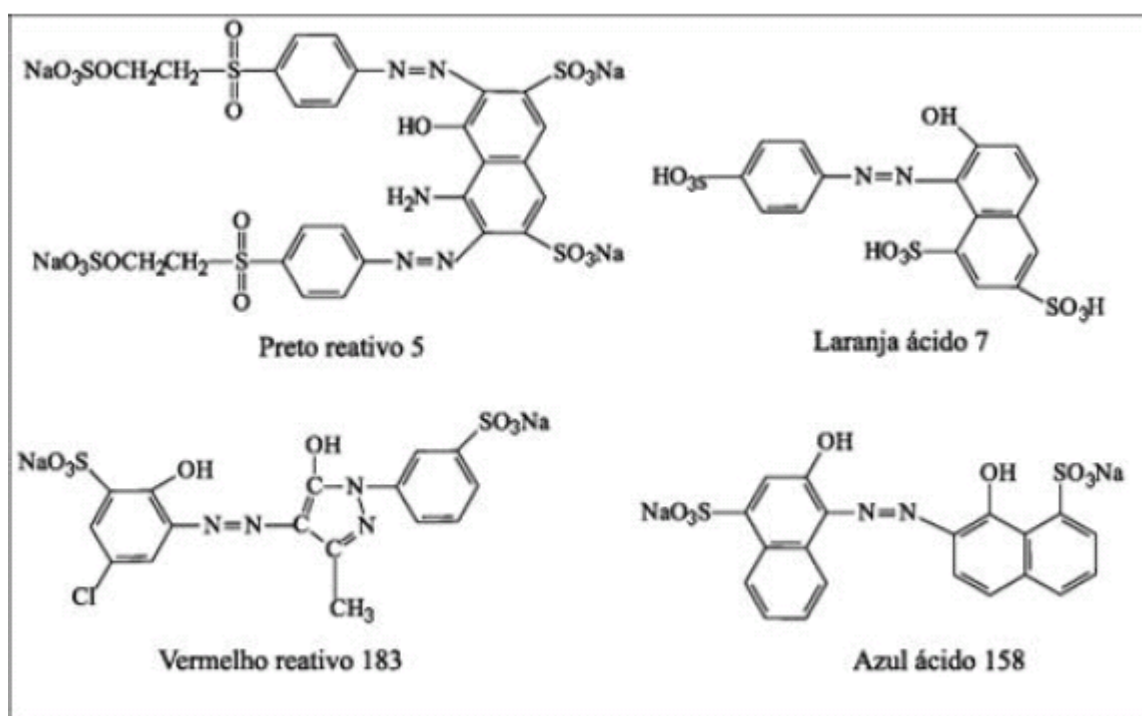


Figura 1 Estrutura típica de algumas classes de corantes usados nas indústrias têxteis (ALMEIDA *et al.*, 2004)

Até a metade do século XIX todos os corantes eram derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e substâncias extraídas de animais. Mesmo tendo sua origem na Europa desde o século XVI, a indústria de corantes têxteis teve seu primeiro corante sintético descoberto apenas em 1856 na Inglaterra por Perkin. Devido a grande inovação tecnológica por volta de 1915, a Alemanha manteve o monopólio sobre a produção de corante sintético até a Segunda Guerra Mundial. Atualmente, indústrias nos Estados Unidos, na Índia, na China têm se destacado neste segmento, além da Europa é claro.

A indústria têxtil utiliza aproximadamente 10000 diferentes tipos de corantes e cerca de 60% de todos os corantes usados apresentam como cromóforo o grupo azo. A fixação da cor em fibras de algodão, por exemplo, ocorre primeiramente quando os corantes reativos são adsorvidos dentro da celulose e posteriormente reagem com a fibra, por ligações covalentes, as quais são muito resistente, favorecendo o interesse e aplicação dos mesmos (CISNEROS *et al.*, 2002).

Os corantes são caracterizados por apresentarem grupamentos como: grupo cromóforo e auxocromo, responsável pela cor, e o grupo funcional que permite a fixação nas fibras do tecido (DURÁN & ESPÓSITO, 2000). Pela estrutura química podem ser classificados como: nitrofenol, nitrosfenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinilsulfônico, pirimidina e triazina, e por aplicação ele é classificado de acordo com o tipo de fibra a ser tinta¹. Quanto ao tipo de interação com as fibras do tecido, são classificados nas seguintes categorias (ZANONI & CARNEIRO, 2001).

- diretos (aniônicos): usado para tingir fibras de celulose como o algodão e a viscose, através de interação de Van de Waals. É constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazó, triazo) ou pré-transformadas em complexos metálicos;
- Ácidos (aniônicos): têm vital importância no método de aplicação do corante em fibras protéicas (lã e seda) e em fibras de poliamida. Caracterizam-se pela presença de um ou mais grupamentos sulfônicos (-SO₃H);
- Reativos: Caracterizam-se quimicamente pela presença de grupos reativos triazina, pirimidina, vinil sulfônico e outras naturais de origem celulósica. São solúveis em água e são utilizados principalmente em fibras de algodão. Aproximadamente 50% dos corantes comerciais (têxtil, papel, alimentos e cosméticos) apresentam o grupo azo. Eles são de difícil biodegradabilidade, porém constituem a classe mais importante de corantes usados na indústria têxtil.

1. **tecido tinto** palavra usada para definir tecidos após processo de tingimento.

- Redução (à tina): são conhecidos quimicamente pela presença do grupo cetônico (C=O), sendo a classe mais antiga dos corantes para tingimento de fibras celulósicas.
- Enxofre (sulfurosos): é uma classe de corantes que após a aplicação se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos (-sn-), os quais são altamente insolúveis em água.
- Básicos (catiônicos): Estes corantes são empregados em fibra sintética como acrílico. Se caracterizam pela presença de grupos amínicos catiônicos com carga localizada ou deslocalizada.

2.1.1 Corantes Reativos

São corantes que contêm um grupo reativo (eletrofílico) capaz de formar ligação covalente com o grupo hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e com grupos amino das poliamidas. Entretanto por questões de solidez (resistência para remoção do tecido), elas são industrialmente e comumente empregadas para tingimento em fibras celulósicas, entre estas principalmente o algodão.

Os primeiros corantes reativos foram lançados no mercado somente em 1956 pela ICI, sendo estes obtidos a partir do Cloreto Cianúrico, onde os grupos reativos são os Dicloro triazina e Monocloro triazina. A partir desta descoberta ocorreu um grande desenvolvimento científico e tecnológico onde foram criados inúmeros grupos químicos reativos que possibilitavam ligações mais ou menos estáveis com a celulose (SALEM, 2000), conforme esquema da Figura 2.

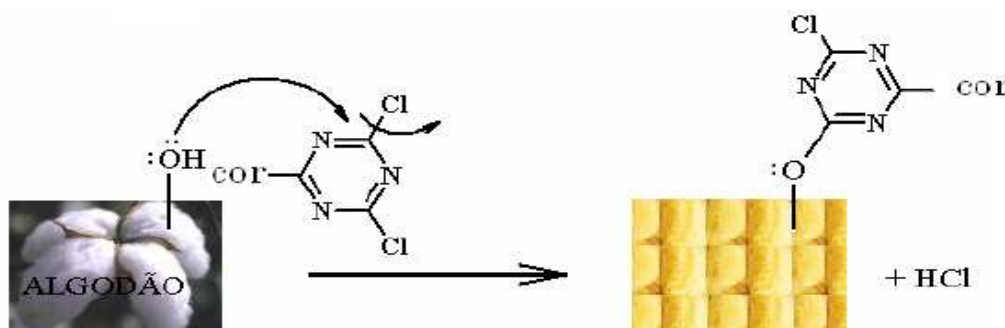


Figura 2 Esquema representativo de um corante diclorotriazina em interação com a fibra de algodão

Os principais corantes reativos contêm a função azo ou antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos. A reação química neste último corante se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose. Isso pode ser observado, em tingimentos usando compostos contendo sulfatoetilsulfona, cuja adição do corante à fibra requer apenas a eliminação do grupo sulfato em meio alcalino, gerando o composto vinilsulfona, conforme a Figura 3.

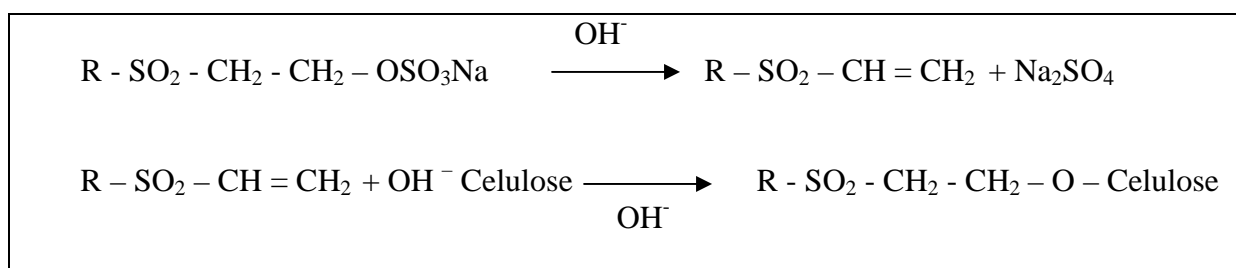


Figura 3 Representação das etapas de tintura do algodão contendo o grupo sulfatoetilsulfona como centro reativo da molécula do corante. (GUARATINI E ZANONI, 2000).

Este grupo de corante 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 ou seja, maior solidez, na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corantes em que o processo de coloração se opera através de ligações de menor intensidade.

2.2 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras têxteis podem ser divididas em três principais grupos denominados fibras naturais, artificiais e sintéticas. As fibras naturais mais utilizadas são baseadas em celulose (cadeias poliméricas lineares de glicose) e proteína (polímero complexo composto de diferentes aminoácidos), estão presentes no algodão e linho, na lã e na seda, respectivamente. As fibras artificiais são comercializadas como viscose (xantato de celulose obtida da madeira), acetato de celulose (triacetato de celulose obtido da madeira) e as sintéticas como poliéster, acrílico e poliamida (GUARATINI, 2000). A forma de fixação da molécula do corante a essas fibras geralmente é feita em solução aquosa e pode envolver basicamente 4 tipos de interações: ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals e covalentes.

Interações Iônicas - São tingimentos baseados em interações mútuas entre o centro positivo dos grupos amino e carboxilatos presentes na fibra e a carga iônica oposta da molécula do corante, conforme Figura 4. Exemplos característicos deste tipo de interação são encontrados na tintura da lã, seda, poliamida e acrílica.



Figura 4. Exemplo genérico da interação iônica entre o corante (D) e os grupos amino da fibra da lã.

Interações de Hidrogênio - São tinturas provenientes da ligação entre átomos de hidrogênio covalentemente ligados no corante e pares de elétrons livres de átomos doadores em centros presentes na fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são encontradas na tintura de lã, seda e celulose.

Interações Covalentes - São provenientes da formação de uma ligação covalente entre a molécula do corante contendo grupo reativo (grupo eletrofílico) e resíduos nucleofílicos da fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são tinturas de fibra de algodão.

Interações de Van der Waals - São tingimentos baseados na interação proveniente da aproximação máxima entre orbitais p do corante e da molécula da fibra, de tal modo que as moléculas do corante são "ancoradas" firmemente sobre a fibra por um processo de afinidade, sem formar uma ligação propriamente dita. Esta atração é especialmente efetiva quando a molécula do corante é linear/longa e/ou achatada e pode assim se aproximar o máximo possível da molécula da fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são encontrados na tintura de poliéster (disperso) e algodão com corantes com alta afinidade por celulose, como os diretos.

2.3 EFLUENTE TÊXTIL

O efluente têxtil, como muitos outros efluentes industriais, varia significativamente em quantidade, mas principalmente em sua composição. O processamento têxtil é gerador de

grande quantidade de despejos altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (ALEBOYEH *et al*, 2003). Os processos e despejos gerados pela indústria têxtil variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e também de acordo com a demanda do consumo por outros tipos de tecidos e cores. Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim, em cada etapa, despejos diversificados.

2.3.1 Caracterização do Efluente

A indústria têxtil gera efluentes com composição extremamente heterogênea com uma grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que torna seu tratamento mais difícil. Esses efluentes apresentam uma forte coloração, uma grande quantidade de sólidos suspensos, pH altamente flutuante, temperatura elevada, grandes concentrações de DQO, considerável quantidade de metais (ex. Cr, Ni ou Cu), compostos orgânicos clorados e surfactantes (CISNEROS, 2002).

A composição de um efluente misto em uma indústria de processamento têxtil, normalmente apresenta as seguintes características (BITENCOURT, 2002):

- Cor intensa, devido a grande quantidade de corantes não fixados.
- Altas temperaturas, devido ao emprego destas, em algumas etapas do processamento.
- Concentração de matéria orgânica equivalente a de esgoto doméstico.
- Grande quantidade de DQO refratária devido a corantes de alta massa molecular.
- Altas concentrações de AOX (Organohalogenados Adsorvíveis), sulfitos e metais pesados encontrados nos alvejantes e halógenos, enxofre ou metal pesado que se encontram presentes muitas vezes nos corantes.

Devido à sua própria natureza, a presença dos corantes é facilmente detectada, sendo visíveis mesmo em concentrações tão baixas como 1 mg.dm^{-3} . Quando lançados nos corpos aquáticos receptores, mesmo quantidades reduzidas podem alterar a coloração natural dos rios, resultando em graves problemas estéticos, além de reduzir alguns processos fotossintéticos (KUNZ *et al*, 2002).

Pesquisas referentes ao tratamento do efluente têxtil frequentemente enfocam os corantes reativos por três razões principais: representam aproximadamente 20 a 30% de todos os corantes utilizados; cerca de 30% do corante utilizado é transformado em resíduo, devido à

baixa fixação em fibras celulósicas e à baixa eficiência de remoção destes corantes pelos tratamentos biológicos convencionais (VANDIVERE, 1998).

Segundo CORREIA (1994), os poluentes dos processos têxteis surgem tanto das impurezas da matéria-prima processada quanto da grande variedade de reagentes químicos usados no processo de beneficiamento. A categoria de indústria considerada em seu trabalho inclui os processos de engomagem e desengomagem, tecelagem, purga, alvejamento, mercerização, tingimento e acabamento. A composição química das correntes de efluente têxtil está sujeita a constantes mudanças em sua composição devido à diversidade dos processos e a grande gama de produtos químicos empregados.

O processo de remediação de efluentes utilizados pela maioria das indústrias consiste em um pré-tratamento físico-químico, seguido de tratamento biológico, principalmente pelo sistema de lodos ativados (FREIRE *et al*, 2000).

2.3.2 Aspectos Toxicológicos

Tem-se observado nos últimos anos que os efluentes que contêm corantes são um dos maiores problemas de despejos industriais tóxicos. Diversos tipos de corantes são utilizados nos mais variados processos industriais, como: têxtil, papel e celulose, tintas e curtumes. Estes efluentes são altamente coloridos e causam poluição das águas (PURKAIT, apud UEDA, ANA CLAUDIA 2004).

Entre os diferentes tipos de corantes existentes no mercado, os que apresentam maior toxicidade são os do grupo azo, pois o meio redutor se apresenta como um ambiente propício para a clivagem reductiva nos anéis aromáticos e conseqüente formação de aminas aromáticas com potencial carcinogênico e mutagênico (PINHEIRO *et al.*, 2004).

Do ponto de vista ambiental, a remoção da cor do banho de lavagem é um dos grandes problemas. Estima-se que cerca de 15% da produção mundial de corantes é perdida para o meio-ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação desses corantes. Se considerarmos que esta representa um lançamento de cerca de 1,20 ton por dia desta classe de compostos para o meio-ambiente, isso é extremamente preocupante (GUARATINI e ZANONI 2000). Os riscos toxicológicos de corantes sintéticos à saúde humana estão intrinsecamente relacionados ao modo e tempo de exposição, ingestão oral, sensibilização da pele, sensibilização das vias respiratórias. (CLARKE, apud GUARATINI e ZANONI 2000). Apenas um número reduzido de corantes pode apresentar toxicidade aguda ($LD_{50} < g/Kg$) e são encontrados particularmente nos corantes bis-azo e catiônicos (ANLIKER *apud*

GUARATINI e ZANONI 2000). Estudos biocinéticos mostram evidências de que corantes azo solúveis em água, se oralmente administrados são metabolizados na microflora intestinal e excretados mais rapidamente do que os compostos menos solúveis (CLARKE *et al*, 1995).

Por outro lado, os corantes insolúveis em água poderiam ser biodegradados no fígado, formando conjugados solúveis em água que seriam então transportados para o intestino e sujeitos a reduções por bactérias da flora normal. Assim, existe grande possibilidade de que nem o corante ou seus metabólitos mostre potencial bioacumulação. Entretanto, os riscos crônicos destes tipos de corantes e intermediários levam em consideração suas propriedades carcinogênicas e mutagênicas (JUNG, 1992).

Adicionalmente, a exposição destes corantes à pele e/ou ao sistema respiratório também pode ser uma rota perigosa, pela qual se pode absorver estas substâncias e promover sensibilização da pele ou das vias respiratórias (HAUSEN *apud* GUARATINI e ZANONI 2000). Entretanto, de um modo geral, o nível de risco à população parece ser pequeno se comparado à ingestão oral destes compostos (NILSSON *apud* GUARATINI e ZANONI 2000).

Em relação aos aspectos ecológicos temos efluentes provenientes da indústria de corante ou de processos envolvendo tingimento têxtil, não tratados convenientemente, e que são lançados em águas naturais, atingindo reservatórios e estações de tratamento de água, o que é bastante preocupante (GUARATINI e ZANONI,2000).

ABRAHÃO (2000) em seu trabalho teve por objetivo verificar a influência de algumas substâncias e/ou variáveis físico-químicas na toxicidade aguda de efluentes de indústria têxtil, de beneficiamento de fibras de algodão, em uma empresa com sistema biológico de tratamento de efluentes do tipo lodos ativados, e medir a eficiência na remoção da toxicidade após este tratamento. Foram coletadas quatro amostras de treze pontos geradores de efluentes, sendo nove pontos ao longo do processo produtivo e quatro pontos no sistema de tratamento destes efluentes. De cada ponto foram analisados, além dos parâmetros constantes na legislação (DECRETO 8468/76), os teores de fósforo total, nitritos, nitratos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, sulfatos, sulfetos e a toxicidade aguda com *Daphnia*. O valor final encontrado para a toxicidade aguda foi de 49,3%, o que classifica o efluente tratado como tóxico, segundo Coletânea da Legislação Ambiental Aplicável no Estado de Santa Catarina (FATMA – Fundação do Meio Ambiente).

2.3.3 Tratamento de efluentes

Devido à extrema complexidade e diversidade dos compostos que podem ser encontrados nos efluentes é que surge uma preocupação constante em desenvolver processos direcionados a uma aplicação de tratamentos mais adequada. Em função deste fato, é que muitas alternativas têm sido estudadas (ZAMORA *et al.*, 2002).

Sob o ponto de vista ambiental, a indústria têxtil produz efluentes ainda altamente impactantes aos corpos aquáticos receptores após seu tratamento por processos chamados convencionais. Isto se deve principalmente a presença de corantes, que são provenientes do tingimento da fibra, onde cerca de 30 % do corante aplicado se perde no efluente. Isso resulta em resíduos altamente coloridos que podem causar mudanças no ecossistema ao qual serão lançados.

SILVA (2006) em seus experimentos, investigou a eficiência da ozonização na degradação dos corantes azos, Orange II e Acid Red 27, em meio salino e em diferentes valores de pH. A ozonização foi realizada em uma coluna de borbulhamento. Foram avaliadas a remoção de cor e de carbono orgânico total (TOC). Determinou-se os parâmetros cinéticos e de transferência de massa entre a fase gás e fase líquida. Foi também avaliada a presença de capturadores de radicais OH^\bullet (t-butanol). Os resultados obtidos demonstraram que o pH, o terc-butanol e o NaCl influenciaram significativamente no processo de ozonização dos corantes azos. Observou-se que o corante Acid Red 27 (CI) é de mais difícil degradação do que o corante Orange II (CI) por ozônio. A ozonização empregada como único processo de tratamento não foi capaz de degradar os produtos intermediários formados neste processo. Foram feitos testes de biodegradabilidade das soluções dos corantes antes e após a ozonização. Os resultados confirmaram o efeito inibitório dos produtos intermediários ao processo biológico.

CERQUEIRA (2006) definiu a eletrofloculação como uma técnica promissora, devido à sua eficiência e possibilidade de reuso da água. Em seu trabalho, estudou a aplicação do processo de eletrofloculação no tratamento de efluentes de uma indústria têxtil. O processo de eletrofloculação foi realizado em um reator de batelada utilizando eletrodos de ferro e alumínio. A influência dos seguintes parâmetros foi avaliada: natureza e distância do eletrodo, variação de pH, potencial elétrico aplicado e tempo de operação. Os resultados obtidos indicaram que o processo de eletrofloculação nas condições operacionais estudadas é uma

alternativa tecnicamente viável para a remoção de DQO, cor e turbidez, a qual foi, respectivamente, de 87%, 95% e 100%.

A degradação biológica de um corante vinissulfônico foi aplicada por SANTOS (2006) havendo também a pretensão de se avançar no domínio de técnicas de descoloração destes efluentes. Cepas bacterianas isoladas da microbiota presente nas águas residuais da indústria têxtil foram testadas nos corantes do grupo vinil sulfônico e no próprio efluente bruto. Os ensaios foram realizados em reatores perfeitamente agitados, tanto em sistema contínuo como em batelada. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios com as cepas bacterianas isoladas da microbiota, estas apresentam um grande potencial de aplicação no tratamento de efluentes têxteis com vantagens sobre os convencionais. Dentre estas temos o aumento da descoloração dos efluentes, reduzindo sensivelmente a necessidade de aplicação dos vários auxiliares de floculação e decantação, reduzindo assim a geração de lodo no tratamento dos efluentes têxteis.

Tendo em vista não somente a área têxtil, TAUCHERT e PERALTA-ZAMORA, avaliaram processos fotoeletroquímicos no tratamento de líquidos lixiviados de aterros sanitários. Preliminarmente, foram aplicados processos de precipitação, permitindo uma redução de cor e da carga orgânica. Devido à elevada carga orgânica apresentada e à forte coloração, surgiam dificuldades no uso somente do processo fotoquímico. Observaram que, com a pré - eliminação de substâncias húmicas em meio ácido, o tratamento fotoeletroquímico posterior permitiu descolorações superiores a 95% e remoções de DQO da ordem de 70%, sendo que o tempo de tratamento foi de 300 minutos (PERALTA-ZAMORA; TAUCHERT; 2004).

Os métodos convencionais empregados para o tratamento de efluentes líquidos podem ser classificados genericamente como primários ou mecânicos, secundários ou biológicos e terciários ou físico-químicos. Entre estes encontram-se a adsorção, biodegradação, fotoquímicos e eletroquímicos. Alguns métodos de tratamento estão relacionados nos itens a seguir.

2.3.3.1 Métodos biológicos

Os processos biológicos fundamentam-se na utilização de microorganismos, os quais proliferam na presença de resíduos utilizando-os como fonte de carbono e nitrogênio.

Em rotinas de tratamento existem os processos de oxidação biológica aeróbia (lagoas de estabilização, sistemas de lodos ativados), anaeróbia (reatores anaeróbios), mista (fossas

sépticas e digestão de lodo) (BRAILE & CAVALCANTI, 1993). Sendo assim, uma das preocupações relacionadas a este tipo de tratamento oxidativo convencional, está associado ao tipo de efluente o qual é de difícil degradação.

Em virtude da presença de corantes, pigmentos, surfactantes entre outros, que comprometem a viabilidade da implantação deste tipo de tratamento por não serem biodegradáveis, e adicionalmente, as espécies contaminantes podem ficar adsorvidas no lodo gerado, fazendo com que o mesmo não possa ser reaproveitado (ZAMORA, *et al.*, 2002).

Alguns estudos têm sido desenvolvidos visando a otimização da degradação do corante por microorganismos, mas ainda existe a limitação do reuso desta água tratada devido o resíduo do meio de cultura empregado.

Nesse sentido, cresce o interesse em desenvolver novos tratamentos para degradarem, de maneira satisfatória e eficaz, os compostos tidos como tóxicos e biorrefratários. Devido a esses inconvenientes é que surgem os processos oxidativos avançados que são uma das alternativas mais eficazes na degradação de substratos, sem gerarem resíduos secundários, visando uma tecnologia limpa (GEORGIU *et al.*, 2002).

2.3.3.2 Métodos Físicos

Em geral, os processos físicos são representados por processos de separação de fases (decantação, filtração, centrifugação), transição de fases (destilação, evaporação, cristalização), separação molecular (osmose reversa, ultrafiltração). Porém esses processos fundamentam-se apenas em separar substâncias de propriedades distintas, onde as espécies contaminantes presentes são apenas transferidas de uma fase à outra não sendo degradadas assim como também ocorre no processo de adsorção. Na literatura podem ser encontrados inúmeros trabalhos com os mais diversos tipos de adsorvente (TORRADES *et al.*, 2004).

BALDISSARELLI (2006) em seu trabalho, estudou a adsorção do corante reativo preto 5 em carvão ativado a fim de caracterizar o processo de adsorção, enfatizando a determinação de parâmetros cinéticos e termodinâmicos. A elevação na temperatura do sistema provocou aumento na quantidade adsorvida e também no tempo para o sistema atingir o equilíbrio. Os valores da constante de velocidade de pseudo-segunda ordem diminuíram e do tempo de meia vida aumentaram com o aumento da temperatura. Um aumento na concentração inicial do corante provocou um aumento na quantidade adsorvida e também no tempo necessário para o sistema atingir o equilíbrio. O estudo de estabilidade do corante indicou que não ocorrem mudanças na estrutura do mesmo ao longo do tempo de adsorção,

enquanto os estudos de dessorção em diversos meios demonstraram que o único solvente a apresentar alguma recuperação do corante foi o etanol.

2.3.3.3 Processo Redutivo

Novas tecnologias têm sido recentemente propostas para a degradação de resíduos contendo corantes do tipo azo. Dentro deste contexto, destacam-se os trabalhos que reportam degradação redutiva, mediada por ferro metálico. Trata-se de um sistema bastante promissor, em função do custo relativamente baixo do ferro metálico e da sua elevada efetividade na degradação de contaminantes ambientais (DENG et al, 2000). O par redox Fe^0/Fe^{2+} apresenta um potencial de oxidação de 0,44 V (ATKINS, 2001), suficiente para promover a redução de inúmeros substratos de interesse (ZHANG et al, 2005). Além das reações de redução mediadas pela oxidação Fe^0/Fe^{2+} , outras duas vias redutivas podem ocorrer em solução aquosa. Uma em função da oxidação de íons ferrosos (Fe^{2+}) a férricos (Fe^{3+}) (DOONG et al, 1998), e outra mediada por H_2 , que surge da corrosão do Fe^0 pela água (CHOE et al, 2004). Adicionalmente, o sistema atua como fonte constante de íons ferrosos, os quais poderiam fundamentar reações posteriores do tipo Fenton (TANG et al, 1996).

Por se tratar de um processo heterogêneo, é indispensável que as moléculas do contaminante entrem em contato com a superfície do ferro (CHEN et al, 2001). Para corantes em meio ácido, entretanto, a reação ocorre preferencialmente por ataque da ligação azo pelo hidrogênio produzido, como já descrito por FENG et al (2000), a partir da oxidação do Fe^0 . O processo envolvendo ferro metálico pode ser empregado tanto para a remoção *in situ* de poluentes de águas subterrâneas (por exemplo, através de paredes permeáveis), como para o tratamento de efluentes contaminados (WESTERHOFF et al, 2003).

SOUZA (2006) em sua pesquisa, estudou o desenvolvimento de processos redutivos e oxidativos avançados (Fenton), fundamentados no uso de ferro metálico, orientados à degradação de soluções aquosas contendo azo-corantes e à remediação de efluentes têxteis. Os resultados mostraram que o processo redutivo isolado permite a completa remoção da cor das soluções aquosas contendo corantes têxteis, com remoção de matéria orgânica na ordem de 50%. Para os efluentes têxteis a redução da cor foi da ordem de 60%, com remoção de matéria orgânica de aproximadamente 20%. Processos oxidativos assistidos por radiação e aplicados na seqüência permitiram uma completa remoção da carga orgânica residual das soluções aquosas contendo corantes azo. No caso de efluentes têxteis, a remoção da carga orgânica alcançou 70%.

2.3.3.4 Processos Oxidativos Avançados (POA's)

Dentre os métodos físico-químicos e os avanços das tecnologias alternativas para a remediação de efluentes os processos oxidativos avançados vêm ganhando seu destaque.

As vantagens mais significativas deste tipo de procedimentos estão representadas pela eficiência na degradação de compostos orgânicos tóxicos e persistentes (ex.: corantes, compostos organoclorados), produzindo para o meio ambiente produtos minerais inofensivos, sem a necessidade de recorrer à utilização de outros oxidantes químicos mais energéticos e poluentes (CISNEROS *et al.*, 2002; MALATO *et al.*, 2003).

Os POA's mais utilizados incluem: oxidação fotocatalítica heterogêneo, tratamento com ozônio combinado com H_2O_2 , UV e ambos, sistemas H_2O_2/UV , Fenton e reações foto-Fenton (TORRADES *et al.*, 2004).

O radical hidroxila ($HO\bullet$) possui alto poder oxidante e é capaz de remover diversos tipos de espécies contaminantes, seu alto potencial de oxidação ($E^\circ = + 2,8 V$) permite o ataque à substâncias orgânicas (KUO, 1992; BARROS, *et al.*, 2005).

Desse modo, os processos oxidativos avançados têm merecido destaque por apresentarem um elevado potencial no processo de descoloração e também na redução da concentração de compostos biorefratários. Também são bastante eficazes na remoção de poluentes orgânicos e apresentam alto índice de mineralização (MALATO *et al.*, 2003).

2.3.3.4.1 Fotocatálise Homogênea

O processo Fenton é um processo atrativo para a descontaminação ambiental, pois pode degradar diversos poluentes orgânicos. O reagente Fenton (Fe^{2+} e H_2O_2) tem um alto poder na destruição de contaminantes orgânicos biorefratários semelhantes aos clorofenóis (POTTER & ROTH, 1993), clorobenzenos (SEDLAK & ANDREN, 1999), nitrofenóis (KANG *et al.*, 2000) e outros poluentes (KUO, 1992; LIN & PENG, 1995).

A reação de Fenton, conforme esquema representativo demonstrado na Figura 5, é limitada pelo pH. O radical hidroxila é um oxidante predominantemente reativo somente em pH ácido, e o radical hidroperoxil não possui em pH alcalino um alto poder oxidante como o $HO\bullet$ (HSUEH *et al.*, 2005).

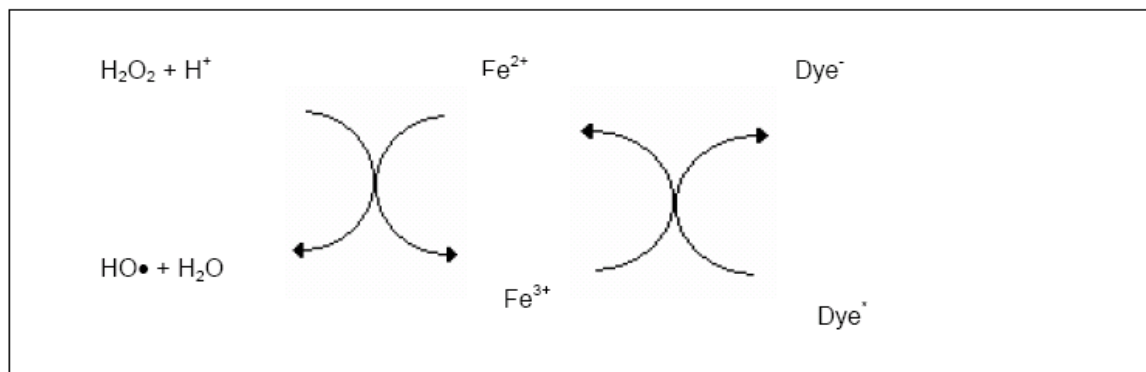


Figura 5 Esquema representativo do processo de reação Fenton (KOSITIZI *et al.*, 2004).

Estes reagentes produzem hidroxilas, os quais são os principais responsáveis na degradação, sendo, portanto, um sistema atrativo pelo fato de utilizar o ferro que é um elemento abundante e não tóxico e o peróxido de hidrogênio facilmente encontrado e seguro ao meio ambiente. Entretanto, essa reação pode ser realizada através de luz artificial ou natural, aumentando a produção de radicais hidroxilas e regenerando o catalisador. A Figura 6 representa as reações foto-Fenton (PIGNATELLO, 1992; KOSITIZI *et al.*, 2004).

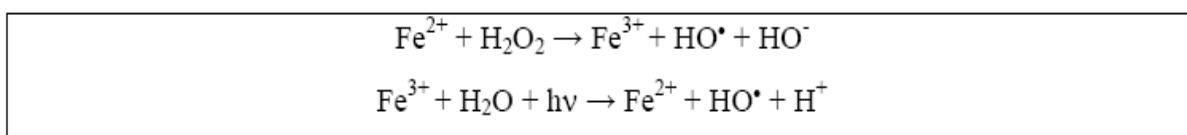


Figura 6 Reações Fenton

Os corantes absorvem a luz visível e, quando excitados, passam para um estado de maior energia. Em seguida, a molécula de corante encontra o íon férrico, um elétron da molécula do corante excitado é transferido ao íon férrico e este se reduz ao íon ferroso. O íon ferroso reage com o oxidante peróxido de hidrogênio e, portanto, o peróxido se decompõe ao mesmo tempo em que o radical hidroxila é gerado (YINDE *et al.*, 2000).

O efeito positivo da radiação na velocidade de degradação é devido à fotorredução do Fe^{3+} para o Fe^{2+} , um passo que produz novos radicais hidroxila e regenera o Fe^{2+} que, posteriormente, possa a reagir novamente com as moléculas de peróxido (TORRADES *et al.*, 2004). Em valores de pH maiores que 3 a eficiência na remoção de compostos orgânicos via oxidação diminui, não somente com a decomposição do peróxido de hidrogênio, mas também devido à desativação do catalisador ferroso pela formação do hidróxido de ferro. A baixa atividade em valores altos de pH pode ser explicada pela formação e precipitação do $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (SCHRANK *et al.*, 2005).

O processo Fenton pode estar associado com as radiações UVB (280 a 320 nm), UVA (320 a 400nm) e Vis (400 a 800 nm) (ALATON, 2002). Esta característica favorece a aplicação em grande escala, pois a utilização deste processo pode ser realizada sem necessariamente recorrer a fontes mais energéticas. Desse modo, o processo Fenton é considerado vantajoso quando realizado sob energia solar, pois grande parte do espectro pode ser aproveitada, entretanto devido a presença de Fe, este efluente tratado pode comprometer o reuso em processos têxteis, pois o Fe catalisa a degradação da celulose do algodão.

2.3.3.4.2 Radiação Eletromagnética

A radiação eletromagnética é transmitida na forma de ondas, contendo um campo elétrico e outro magnético. O espectro desta radiação engloba as ondas de rádio, as microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, os raios X, e os raios gama. Essas diferenças estão no comprimento de onda, e na frequência da radiação, que fazem com que tenham diferenças características, como o poder de penetração dos raios X, ou o aquecimento do infravermelho.

Uma fonte de radiação como o Sol pode emitir luz dentro de um espectro variado. Em termos de comprimento de onda (λ), a radiação solar ocupa uma faixa espectral de 100 a 500 nm. A radiação que chega à superfície sem ser absorvida ou difundida é chamada radiação direta e as que foram dispersas chama-se radiação difusa, ou seja, a radiação que produz sombra se um objeto bloquear seu caminho é a radiação direta. Em dias sem nuvens a radiação direta é máxima, porém em dias nublados é mínima. Esse fato vem indicar que além de responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se em uma inesgotável fonte energética, havendo enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia.

A luz pode ter um grande efeito numa molécula porque quando esta absorve luz, sua habilidade de ganhar ou perder elétrons é suficientemente alterada.

Um tratamento químico, aplicado neste caso, tem a finalidade de melhorar a qualidade da amostra tratada pela eliminação de compostos tóxicos, como também a formação de intermediários biodegradáveis. Os processos de transferência de elétrons podem gerar espécies altamente oxidantes ($\text{HO}\bullet$) que podem ser usados para decompor moléculas poluentes em produtos menos perigosos (ESPLUGAS *et al.*, 2002; GOI & TRAPIDO, 2002).

2.3.3.4.3 Características do H₂O₂

O peróxido de hidrogênio é bastante estável na escala de pH 3-4, mas a sua decomposição acelera rapidamente com o aumento no valor de pH, com isto o processo de degradação torna-se pouco eficaz (BENATTI *et al.*, 2005).

Devido a suas propriedades e características específicas, além de ser altamente oxidante e uma fonte de radicais livres, possui uma variedade de aplicações, como por exemplo, a utilização para o branqueamento de tecidos e papéis, além de varias contribuições para uma despoluição ambiental, como também o uso na manufatura de produtos orgânicos e inorgânicos (KANG *et al.*,2000). A combinação de H₂O₂ com radiação UV é muito mais eficiente do que o uso destes separadamente. Para a fotólise do peróxido com radiação UV, o mecanismo mais aceito é através da quebra desta molécula em dois radicais hidroxila, propiciando um rendimento de duas moléculas de HO• para cada molécula de H₂O₂, como também a possibilidade de recombinação destes radicais, conforme Figura 7.

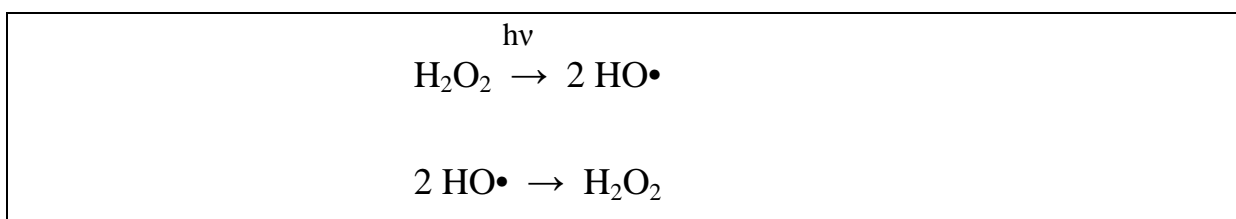


Figura 7 Esquema representativo do mecanismo de fotólise do peróxido com radiação UV.

Por se tratar de um agente oxidante este apresenta algumas vantagens como: capacidade de oxidar diretamente alguns compostos, solubilidade em água, estabilidade, possibilidade de estoque no local, desde que devidamente armazenado, e ainda simples aplicação nos procedimentos. Entretanto, algumas desvantagens encontradas estão relacionadas com a taxa de oxidação química do poluente a qual, é extremamente dependente da quantidade de matéria orgânica presente como também da quantidade de oxidante adicionado ao sistema, lembrando que a taxa de formação de radicais hidroxila é limitada. Como o H₂O₂ funciona como receptor de radicais hidroxila, se este estiver em excesso, conseqüentemente, ocorrerá uma diminuição da eficiência fotocatalítica (LEGRINI, *et al.*, 1993). Desse modo, o H₂O₂ pode apresentar quatro reações principais conforme apresenta a Figura 8:

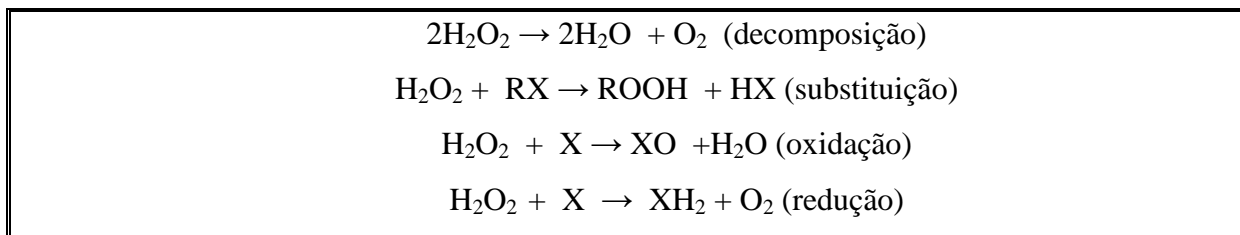


Figura 8 Reações de decomposição do Peróxido de Hidrogênio

Sendo assim, a determinação do peróxido de hidrogênio possui importância relevante, visto que apresenta interferência nas análises conduzindo a erros experimentais, como também sua presença ou não pode acelerar ou até mesmo não deixar que a reação se processe de maneira eficaz.

Tem-se encontrado na literatura muitos estudos usando o poder oxidativo de H_2O_2 , como por exemplo, FONSECA (2006) estudou a descoloração de efluentes têxteis, a partir de soluções sintéticas dos corantes reativos Vermelho Drimarene X-6BN 150 e Azul Marinho Drimarene X -GN 150, sob irradiação UV em presença de peróxido de hidrogênio. O processo de oxidação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ constitui uma alternativa viável e eficaz para tratar efluentes contendo substâncias recalcitrantes tais como corantes reativos. Um planejamento experimental foi utilizado para avaliar a influência das variáveis pH, concentração de H_2O_2 , concentração de uréia e concentração de NaCl sobre a eficiência do processo de descoloração. Os resultados foram expressos em porcentagem de cor removida da solução, através de medidas da absorvância. O processo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ se mostrou efetivo para degradar corantes reativos sendo alcançado aproximadamente 99% de remoção de cor, em condições específicas. A concentração de peróxido de hidrogênio apresentou uma significativa influência positiva no processo.

Hassemer (2006) em seu trabalho "Oxidação Fotoquímica – UV/ H_2O_2 – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil", utilizou uma solução de corante, preparado em laboratório com três corantes reativos e o reator fotoquímico utilizava uma lâmpada de vapor de mercúrio de média pressão, de 150 W. O tempo médio de irradiação UV nos ensaios foi de 60 minutos, e amostras foram retiradas em tempos definidos para análise. Os ensaios foram realizados em amostras com diferentes pHs (11, 7 e 3) em várias diluições (1:10, 1:5 e 1:3), e utilizando diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (45, 30 e 15 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Os resultados mostraram uma remoção da cor superior a 90% depois de apenas 10 minutos de irradiação, para todas as concentrações de H_2O_2 testadas a pH 11 na diluição 1:10.

Nesta diluição, uma remoção dos aromáticos de mais de 70% foi alcançada com 30 minutos de tratamento utilizando-se $45 \text{ mgH}_2\text{O}_2.\text{dm}^{-3}$ em todos os pHs testados.

Buscando pesquisar processos alternativos para o tratamento de efluentes têxteis, cuja problemática se deve principalmente à presença de corantes de difícil remoção, ARAÚJO (2002) estudou a degradação de um corante têxtil, o Azul Reativo 19 (R-19), através dos seguintes processos: fotólise (UV), oxidação por peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radiação ultravioleta combinada com peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), e foto-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$). Estudou-se também a aplicação de foto-Fenton a um efluente têxtil bruto e a um efluente têxtil pré-tratado biologicamente por sistema de lodos ativados. O processo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ mostrou-se eficaz, porém lento, observando-se, após 3 horas de reação, total degradação do corante para concentração de H_2O_2 de $500 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$, quando se obteve também 91,1% de redução de TOC. No processo Fenton, observou-se a formação de um patamar de máxima redução de TOC, além do qual não era possível oxidação adicional, tendo-se obtido, no máximo, 36,8% de redução de TOC. O processo foto-Fenton mostrou-se mais eficiente do que os demais processos, tendo obtido reduções máximas de TOC, cor, e absorvância a 591 nm de 94,5; 99,4 e 100%.

2.4 REUSO DAS ÁGUAS

O acelerado crescimento demográfico, à urbanização, o desenvolvimento industrial e à expansão do cultivo elevado são as principais conseqüências da escassez da água. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2005), ao menos 8% das reservas mundiais de água doce estão no Brasil, sendo que 80% encontram-se na Região Amazônica.

De acordo com a Agência Nacional de Águas, o consumo de água para fins urbanos é de 11% do volume total consumido no Brasil, o consumo para irrigação pode chegar a 69%, enquanto o consumo de água para uso industrial é próximo a 7% (Figura 9), muito embora esses valores variem de acordo com a região.

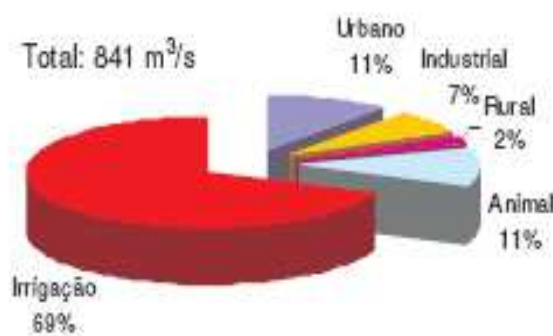


Figura 9 Vazões do consumo da água para os diferentes usos no Brasil (BRASIL, 2006)

Em relação ao tema de conservação da água existem vários níveis que devem ser abordados, como: sistema de abastecimento de água, cultivos irrigados, indústrias. No Brasil, as perdas de água tratada no sistema de abastecimento atingem uma média de 30 a 60% do volumes produzidos (HERRERA; LEOPOLDO, 1997). Portanto, o potencial para conservação e reuso é enorme.

Um outro nível importante em termos de conservação é o industrial. As perdas de água ocorrem devido a vazamentos, mau desempenho do sistema, negligência do usuário. Nas indústrias, o desperdício pode ser combatido através de medidas para otimização do consumo e redução de perdas e desperdícios, além de programas de conscientização e treinamento.

No que se refere a consumo da indústria, o setor têxtil consome aproximadamente 15% da água. O potencial contaminante do efluente têxtil, em sua totalidade, é considerado médio, sendo a tinturaria e o acabamento as etapas do processo produtivo mais contaminantes se comparadas com a fiação e a tecelagem (TOLEDO, 2004).

O conceito de reuso de águas não é recente, pois sua aplicação em todo o mundo ocorre há muitos anos, desde a Grécia Antiga, que destinava esgotos para irrigação (FELIZATTO, 2001). A reutilização das águas pode ser direta ou indireta, sendo um dos mais importantes instrumentos para o uso racional, o qual abrange também o controle de perdas e desperdícios. Desse modo, nos últimos anos, o reuso planejado de água tornou-se cada vez mais notório. Especialmente nos casos de efluentes industriais, o reuso da água resulta em benefício ambiental, diminuindo a descarga de poluentes e permitindo alcançar tanto a redução no consumo, quanto a quantidade de efluente gerado.

A racionalização do uso da água na indústria têxtil depende da modernização dos equipamentos e incrementos tecnológicos nos processos, e ainda de produtos que visam uma

menor utilização desse recurso natural. Para minimizar o consumo de água é necessário o monitoramento dos desperdícios diários no processo produtivo (TALARPOSHI *et al*, 2001).

CANTELLI (1999), testou o sistema biológico pelo processo de lodos ativados por batelada, utilizado como parte primeira da tratabilidade dos despejos líquidos, desenvolvida pelo reator biológico em escala piloto, tendo sido obtidos resultados da ordem de 98% de remoção de DBO. Os resultados obtidos através das amostras submetidas a esse procedimento, para os parâmetros Cor, Turbidez, Dureza, Fe e Mn, mostraram ser possível obter um efluente dentro dos limites estabelecidos para a água de processo. Foram realizados testes de tingimento com as amostras do clarificado do tratamento físico químico, após filtração em papel whatman 40 e pôde ser verificado que a qualidade final do material testado não teve qualquer distinção em relação ao outro material tingido, usando água de processo utilizada normalmente. Esses dados indicam a possibilidade de reuso e / ou reciclagem, após filtração acrescida ao processo de coagulação - floculação - decantação estudado.

A diminuição no consumo de água em seus vários processamentos tem sido uma das metas da indústria têxtil nos últimos anos. Notadamente na área de beneficiamento e/ou tinturaria, os esforços têm sido mais intensos, haja visto que representam cerca de 90% do consumo geral da indústria. Através de modificações nos processos de beneficiamento e da substituição de equipamentos antigos, é possível obter-se uma redução significativa do consumo de água. Há empresas que produzem tecidos de algodão, cujo processo de mercerização, tingimento e estampagem é conseguido com um consumo médio de 60 m³ de água/t (MELO, 2005).

TWARDOKUS (2004) demonstrou em seu trabalho a viabilidade de reuso direto das correntes líquidas de efluentes têxteis, oriundas do processo de tingimento e enxágüe de tecidos com composição de 100% algodão, tingidos com corantes reativos. Foram determinados os limites de tolerância para aprovação da tonalidade do substrato tinto como: diferença na cor do resíduo (ΔE), intensidade da cor (K/S) e teste de solidez final do substrato têxtil. Nos banhos de tingimento foram determinados os parâmetros de pH, condutividade, absorvância e sólidos totais. Todos os tingimentos e as análises foram feitos em escala laboratorial, reproduzindo o processo de uma empresa têxtil de grande porte de Santa Catarina. Foram realizados tingimentos em três padrões de cores diferentes: cor clara, com até 0,5% de corante; cor média com até 1,5 % de corante e cor escura, com mais de 1,5% de corante sobre o peso do material têxtil. Alguns limites de tolerâncias para o reuso direto do efluente e algumas alternativas para o reuso indireto foram estabelecidos.

LUCAS (2006) avaliou o potencial do reuso de soluções aquosas de corantes básicos após tratamento por processo fotoeletroquímico para remoção da cor no tingimento de tecidos de malha de fibras acrílicas. O tratamento fotoeletroquímico resultou em remoção superior a 99% da cor das soluções dos corantes básicos e mais que 90% da carga orgânica pôde ser mineralizada. Em escala laboratorial também se gerou efluentes sintéticos a partir de tingimentos de tecidos de fibras acrílicas com bicromia. As soluções dos banhos residuais foram submetidos ao tratamento fotoeletroquímico e reutilizadas num segundo tingimento. No estudo de reutilização, o esgotamento dos banhos de tingimento foi superior a 80% sob todas as condições usadas neste trabalho, sendo para água tratada e destilada. As condições tintórias K/S e ΔE não foram satisfatórios nos tecidos tintos com monocromia sendo valores de ΔE superiores a 2,0, sendo inaceitáveis para aprovação na indústria têxtil ($\Delta E \leq 1,1$). Nos estudos usando bicromia a substituição de 90 a 70% da água tratada por água destilada resultou em valores de ΔE entre 1,86 e 0,3, mostrando uma redução no desvio da cor até dentro dos limites aceitáveis.

FREITAS (2002) teve como principal objetivo de seu trabalho a caracterização dos efluentes das etapas de preparação e tingimento, visando aumentar a eficiência no uso de insumos, água e energia, através da minimização ou reciclagem de efluentes gerados no processo produtivo da Indústria Têxtil. Foram determinados os parâmetros: cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade parcial e total, condutividade, ferro, sólidos totais dissolvidos, suspensos totais e fixos, e matéria orgânica determinada pela demanda química de oxigênio de uma indústria têxtil de grande porte de Santa Catarina. Foi estabelecida uma estratégia para o reuso de efluentes oriundos do processamento de malhas dos lotes de cores branca, preta, de intensidade clara, média e escura. Para os efluentes que não permitiram reutilização direta propõem-se algumas alternativas de pré-tratamento para viabilizar o seu reuso.

QUADROS (2005) teve como objetivo estudar a possibilidade de reutilização de um efluente têxtil, proveniente de processos de tingimento com corantes reativos, em processos de beneficiamento de artigos de algodão, após tratamento com o biopolímero quitosana. O efluente proveniente de uma indústria têxtil foi tratado com o biopolímero quitosana e sulfato de alumínio sob diferentes concentrações, temperaturas e tempos de contato. Depois de tratado, o efluente foi reutilizado em processos de pré-tratamento como purga e alvejamento. Obteve-se com o tratamento do efluente por adsorção com quitosana uma remoção da cor acima de 60% para efluente proveniente das máquinas de tingimento. Para os efluentes provenientes do tanque de equalização obteve-se uma remoção da cor acima de 90%, com a

mistura quitosana e sulfato de alumínio. As notas dos ensaios de solidez obtiveram resultados muito próximos, quando comparados com o tecido padrão. Os testes de resistência à tração para os tecidos tintos, mostraram que não houve perda significativa de resistência mesmo quando a água reutilizada foi empregada.

A reutilização após tratamento, de efluente sintético de corantes ácidos no tingimento de tecidos de poliamida 6.6, foi estudada por BATISTI (2006). Os tratamentos foram por adsorção empregando blenda de náilon 6/quitosana (80/20). Os resultados demonstraram na remoção da cor uma eficiência de 72% com e sem auxiliares. Quanto a reutilização em tingimentos teve compatibilidade com os padrões industriais, ficando somente restrita em cores escuras.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é otimizar o tratamento de efluentes sintéticos produzidos em laboratório com o corante reativo Procion Vermelho HE -3B, utilizando-se do método UV- H₂O₂, e testar o número de ciclos de reuso possíveis destas soluções em tingimentos de tecidos de algodão.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar vários métodos de tratamento visando a melhor eficiência na degradação do corante;
- Analisar o numero de ciclos viáveis de reuso;
- Reutilizar as soluções tratadas em novos ciclos de tingimentos e analisar;
- Determinar parâmetros tintorias como intensidade colorística (K/S) e diferença de cor residual (ΔE), para avaliar a reprodutibilidade;
- Avaliar a solidez das amostras tintas com água tratada.

4. PARTE EXPERIMENTAL

O desenvolvimento desse trabalho ocorreu basicamente em três etapas. Na primeira, foram gerados resíduos de um tingimento têxtil com fibra de algodão, utilizando o corante Reativo Vermelho Procion HE-3B (Figura 10). Seguidamente, esse efluente foi submetido a diferentes métodos e condições de tratamento, para a determinação e escolha de um método adequado a esse tipo de corante. Finalmente, após ser definido e otimizado o método, os efluentes sintéticos foram tratados através do processo oxidativo avançado (POA's) H_2O_2/UV , sob condições definidas (4.13) e posteriormente reutilizado em novos ciclos de tingimentos.

Essa reutilização teve uma seqüência de cinco ciclos (tratamento/reuso), verificando até que ponto esse tratamento seria adequado para novos tingimentos, não ultrapassando os limites estabelecidos pela indústria, no que se refere a qualidade do tecido. Após o encerramento de todos os ciclos, o rejeito foi submetido a análise, para verificar se as condições físico-químicas residuais (cor, TOC) estavam adequadas para descarte em meio ambiente, já que este não era mais favorável para reuso.

A degradação dos componentes do banho de tingimento foi monitorada durante todos os tratamentos por Espectroscopia – UV/Vis, determinação de peróxido residual e Carbono Orgânico Total (TOC).

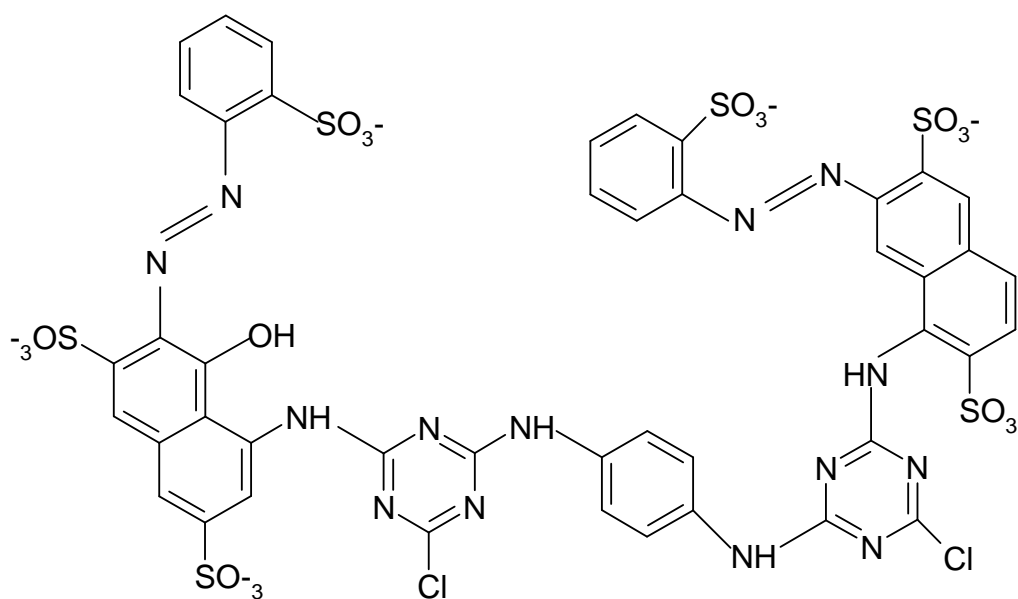


Figura 10 Estrutura química do corante Vermelho Reativo Procion HE-3B

4.1 Fluxograma da pesquisa

Este trabalho seguiu um roteiro de metodologias e análises, conforme mostra a Figura 11.

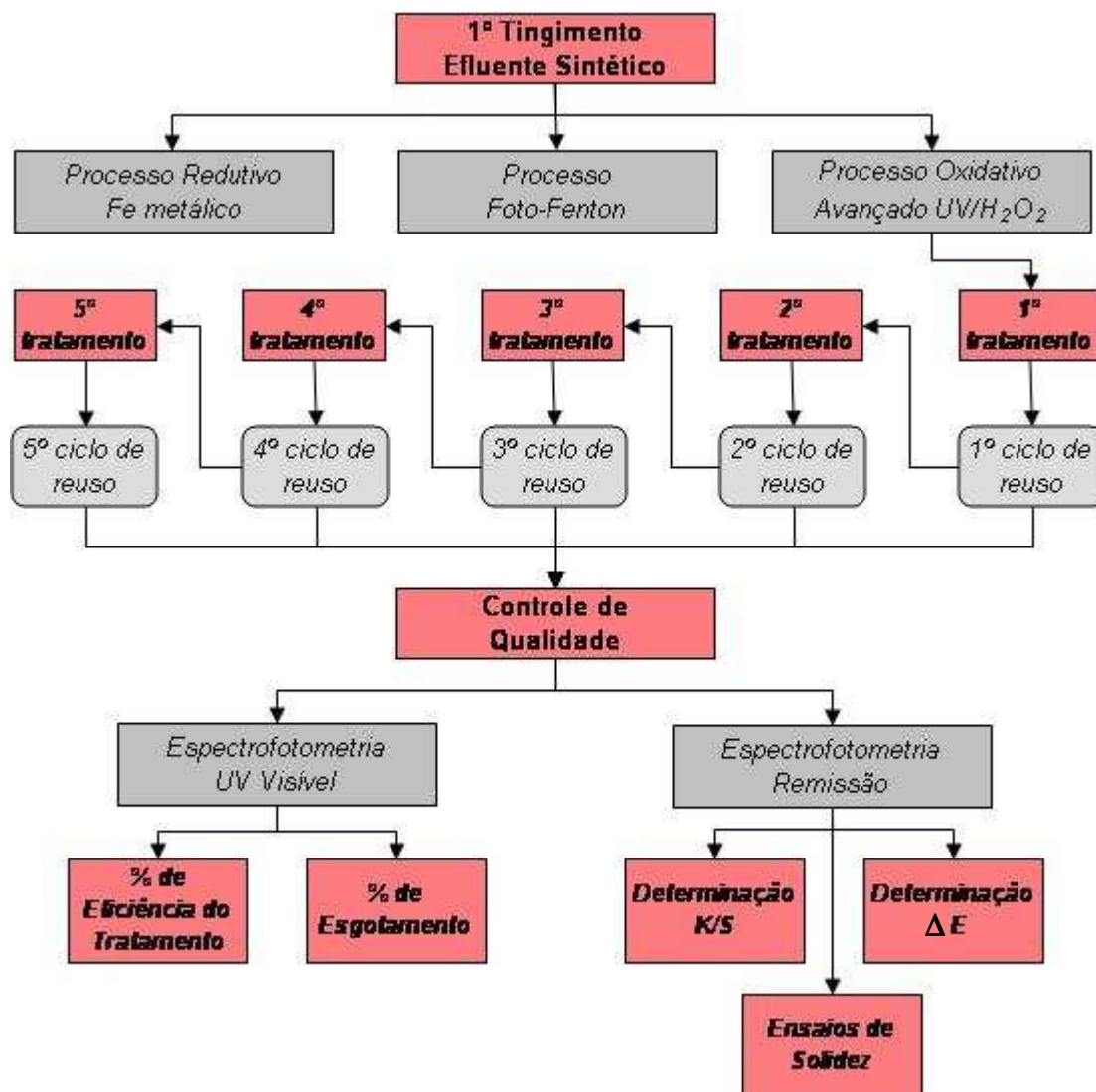


Figura 11 Fluxograma simplificado da metodologia

4.2 OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO

4.2.1 Tingimento dos tecidos de algodão

Para gerar efluente sintético foi realizados tingimentos de malha de algodão com corante Reativo Procion HE-3B na concentração de 1 % em relação à fibra, seguindo uma relação de banho 1:10. Quanto ao eletrólito (NaCl) e ao auxiliar perenin 2000, foram utilizados 45g/L e 0,5g/L respectivamente, conforme receita do fabricante do corante.

4.2.2 Processo Redutivo

Primeiramente foi testado o processo redutivo, que consistiu de um sistema de tratamento baseado na utilização de reatores cilíndricos com aproximadamente 100 cm³ de capacidade, recheados com 14 g de lã de aço, conforme esquema montado na Figura 12.

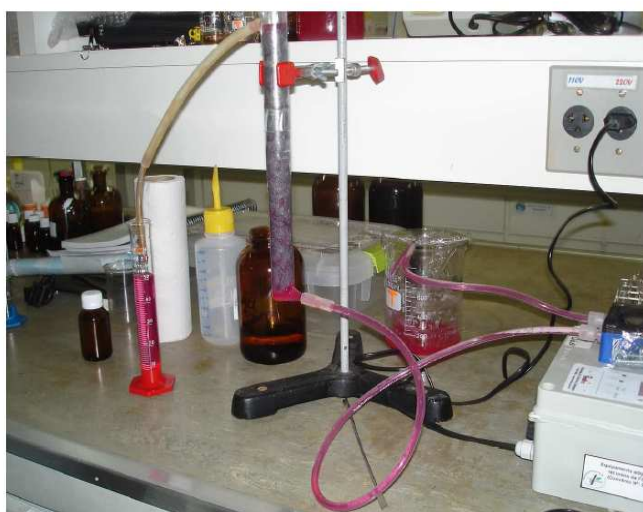


Figura 12 Equipamento utilizado para o tratamento no Processo Redutivo

O sistema foi testado num planejamento fatorial de duas variáveis e dois níveis.

Após tratamento as amostras foram submetidas a análise de espectro, determinação de Fe^{II} e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

4.2.1.1 Determinação de Feⁿ⁺

As determinações de Fe²⁺ e Fe³⁺ foram realizadas através de metodologia baseada na complexação do Fe²⁺ com 1,10-fenantrolina, segundo APHA -3500 – Fe DAPHA, 1995. O teor de Fe²⁺ é determinado diretamente, enquanto a concentração de Fe³⁺ é avaliada após redução com hidroquinona. Em ambos os casos, íons ferrosos reagem com 1,10-fenantrolina, formando um composto intensamente colorido que pode ser medido por espectrofotometria na região do visível (508 nm). As concentrações foram determinadas a partir de uma curva analítica elaborada com sulfato ferroso amoniacal, na faixa de concentração compreendida entre 0,4 e 4 mg.dm⁻³.

4.2.1.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO).

A DQO baseia-se na oxidação química da matéria orgânica por dicromato de potássio a altas temperaturas (150 °C) em meio ácido com utilização de um catalisador (sulfato de prata). As determinações foram feitas de acordo com o procedimento descrito por Freire et al., (1998). Esse método foi adotado devido à capacidade de suportar a interferência de altas concentrações de cloretos (6000 mg.dm⁻³), e por necessitar de um volume pequeno de amostra, consequentemente gerando um menor resíduo.

As análises são realizadas adicionando ao frasco de digestão 2,0 cm⁻³ de amostra, 1,5 cm⁻³ de solução digestora contendo dicromato de potássio, ácido sulfúrico e sulfato de mercúrio, e 3,0 cm⁻³ de solução catalítica de sulfato de prata em ácido sulfúrico. A função do sulfato de mercúrio é evitar a possível interferência de substâncias como cloretos. A mistura é aquecida a 150 ± 2 °C por 120 minutos. Após resfriamento, a absorvância da amostra é medida em 600 nm.

A DQO da amostra é obtida por interpolação na curva analítica expressa em mgO₂.dm⁻³, preparada a partir de padrão de biftalato de potássio na faixa compreendida entre 100 e 800 mgO₂.dm⁻³.

4.2.3 Tratamento Foto-Fenton

Um outro método testado foi o Foto-Fenton (H₂O₂/Fe), onde os estudos envolvendo radiação artificial foram conduzidos em um reator fotoquímico convencional de bancada de 250 cm⁻³ de capacidade, equipado com refrigeração a água e sistema de agitação magnética.

A radiação ultravioleta foi proporcionada por uma lâmpada a vapor de mercúrio de 125 W (sem o bulbo protetor), inserida na solução por meio de um bulbo de quartzo. A radiação visível foi fornecida nas mesmas condições anteriores, com lâmpada inserida na solução por meio de bulbo de vidro Pyrex. A Figura 13 apresenta uma imagem fotográfica de um reator em operação.

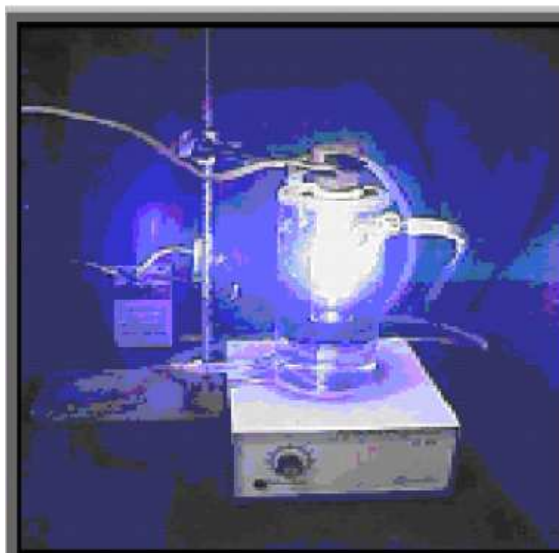


Figura 13 Fotografia do reator fotoquímico de bancada operando com radiação artificial. Fonte: SOUZA, 2006.

4.2.4 Tratamento UV – H₂O₂

Outro método testado no desenvolvimento deste estudo foi o processo oxidativo avançado UV – H₂O₂. Este foi realizado utilizando reator com capacidade de 200 cm³ de solução. A fonte de radiação é uma lâmpada de mercúrio de 125 watts de potência. Esta é inserida no efluente através de um bulbo de quartzo no interior do reator, por onde circula água, com a finalidade de resfriar a lâmpada, equipado com agitação magnética, conforme Figura 14.



Figura 14 Fotografia do equipamento utilizado para o processo oxidativo UV/H₂O₂.

A concentração de peróxido utilizada foi de 200 mg.dm⁻³, adicionadas na solução inicial e a cada 15 minutos de tratamento até 60 minutos, deixando a solução degradar por mais 30 minutos, completando um tempo máximo de 90 minutos.

O monitoramento do experimento foi estabelecido coletando amostras de 15 em 15 min para análises de espectros e determinação de peróxido residual e ainda, nos tempos 0, 45 e 90 min para análises de TOC (carbono orgânico total).

4.2.4.1 Peróxido de Hidrogênio Residual

Os níveis de peróxido de hidrogênio residual (H₂O₂) foram determinados espectrofotometricamente, através de metodologia modificada a partir de procedimentos descritos por OLIVEIRA et. al. (2001). Neste procedimento, o peróxido de hidrogênio reage com metavanadato de amônio, o que leva a formação do cátion peroxovanádio que absorve fortemente em 446 nm. Curvas analíticas foram elaboradas a partir de soluções de peróxido de hidrogênio, verificando-se uma faixa linear de trabalho compreendida entre 20 a 400 mg.dm⁻³ e desvios padrão típicos da ordem de 2 mg.dm⁻³.

4.2.4.2 Determinação de Carbono Orgânico Total

As determinações de Carbono Orgânico Total foram realizadas em um analisador SHIMADZU TOC – VCPH, fundamentado em oxidação catalítica a elevadas temperaturas

e determinação de CO₂ por espectroscopia no infravermelho. Curvas de calibração foram preparadas a partir de um padrão de biftalato de potássio, cobrindo-se a faixa de 5-500 mg.dm⁻³. Para o carbono inorgânico foi preparada uma curva com um padrão misto de Na₂CO₃ e Na₂HCO₃, na faixa compreendida entre 5 e 500 mg.dm⁻³. O coeficiente médio estabelecido para análise de TOC foi de 2%.

4.2.4.3 Porcentagem de Eficiência

Os espectros de absorção na região do visível (400 nm – 800 nm) para determinação da porcentagem de eficiência do tratamento (decaimento de cor) foram obtidos em espectrofotômetro UV – 160 1PC da Shimadzu, utilizando-se cubetas de 1 cm de caminho ótico. As leituras foram realizadas a 540 nm, comprimento de onda máximo de absorção da solução do corante.

$$\% \text{ eficiência} = \frac{A_i - A_f}{A_i} \times 100$$

Onde:

A_i = absorbância inicial (efluente não tratado)

A_f = absorbância final (efluente tratado)

4.2.4.4 Determinação da Porcentagem de Esgotamento

Foram coletadas amostras dos banhos antes e após o tingimento para a determinação da porcentagem de esgotamento (porcentagem de corante que migrou do banho de tingimento para a fibra). As leituras de absorbância das amostras foram feitas na região do visível (400 nm – 800 nm) por espectrofotometria (UV – 160 1PC da Shimadzu), utilizando-se cubetas de vidro de 1 cm de caminho ótico.

4.2.4.5 Determinação do K/S (intensidade colorística) e do ΔE (diferença de cor residual)

A determinação da intensidade colorística (K/S) a partir da equação de Kubelka e Munke (**equação 8**) e da diferença de cor residual (ΔE) de acordo com **equação 9** dos tecidos tintos foi realizada no espectrofotômetro de remissão da Mathis. Os tecidos tintos analisados

foram os de monocromia com o corante Vermelho Reativo Procion HE-3B em todos os ciclos de tratamento, obedecendo a ordem amostras tintas com 100% de água destilada (padrão), amostra tinta com água tratada com adição de eletrólito (NaCl) conforme receita do fabricante, amostra com ajuste de eletrólito a partir da determinação feita por titulação conforme item 4.1.3.6 e sem adição de eletrólito. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

R = remissão

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta H)^2 + (\Delta C)^2 + (\Delta L)^2} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

ΔH = desvio de tonalidade; ΔC = desvio de pureza; ΔL = desvio de claridade.

4.2.4.6 Determinação do teor de cloreto de sódio

As amostras tratadas foram submetidas a análise para determinação do teor de cloreto que permanecia nas amostras uma vez tendo sido este eletrólito usado na receita dos tingimentos. A determinação de cloreto seguiu técnica de titulometria de precipitação pelo método de Mohr, empregando AgNO_3 0,01 N. Através da equação 1, foi calculado a quantidade do eletrólito em cada ciclo pós tingimento.

$$\text{NaCl (g/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 58.443 \times 1000}{\text{mL da amostra}} \quad (\text{equação 1})$$

onde:

A= mL de AgNO_3 0,01 mol/L gastos na amostra

B= mL de AgNO_3 0,01 mol/L gastos no branco

M= molaridade de AgNO_3

58.443 = peso molecular do NaCl

4.2.4.7 Ensaio de Solidez

Com a finalidade de analisar a resistência dos corantes à remoção do tecido, com relação à manutenção, foram realizados diversos ensaios de solidez. Os tecidos amostras (tintos de algodão) foram cortados e costurados de forma de “sanduíches” com dois tecidos testemunhas de algodão, todos na medida 10 x 4 cm. Os mesmos foram submetidos a uma lavagem com sabão e carbonato de sódio (Na_2CO_3), a 85° C, durante 30 minutos. Seguidamente, seguem uma lavagem com água destilada por 15 minutos e após, enxaguados abundantemente com água corrente.

Este ensaio foi realizado segundo as normas técnicas NBR 13062 para lavagem caseira e industrial e a determinação da alteração da cor é realizada na escala cinza - ESC – 01 e no espectrofotômetro de remissão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE TRATAMENTO

Visando identificar o melhor método no tratamento para a degradação do corante Vermelho Reativo Procion HE-3B, de forma mais eficiente e econômica, foram testados três processos: Redutivo, utilizando Fe metálico, Foto-Fenton e Oxidativo Avançado UV/H₂O₂, sendo este último o processo escolhido para o desenvolvimento do trabalho pela eficiência demonstrada.

5.1.1 Processo Redutivo

O processo Redutivo com Fe metálico foi desenvolvido através de um Planejamento Fatorial, onde determinou-se os pH's e as vazões que o efluente sintético seria submetido, conforme Tabela 1. O ponto central (pH = 6,0 e vazão = 15 cm⁻³.min⁻¹), foi realizado em duplicata.

Tabela 1 Planejamento Fatorial 2² dos experimentos.

Experimento	pH	Vazão/cm ⁻³ .min. ⁻¹
1	4,0	10
2	4,0	20
3	6,0	15
4	6,0	15
5	8,0	10
6	8,0	20

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que as melhores condições entre as testadas, foi o pH= 4,0 e vazão= 20 cm⁻³.min⁻¹. Entretanto conforme Figura 15 verificou-se uma pequena redução na cor do efluente (48,30%), não sendo desta forma adequado para o reuso. Com isso podemos concluir ainda que não houve uma degradação total da molécula do corante pelas bandas de absorção na região ultravioleta e visível.

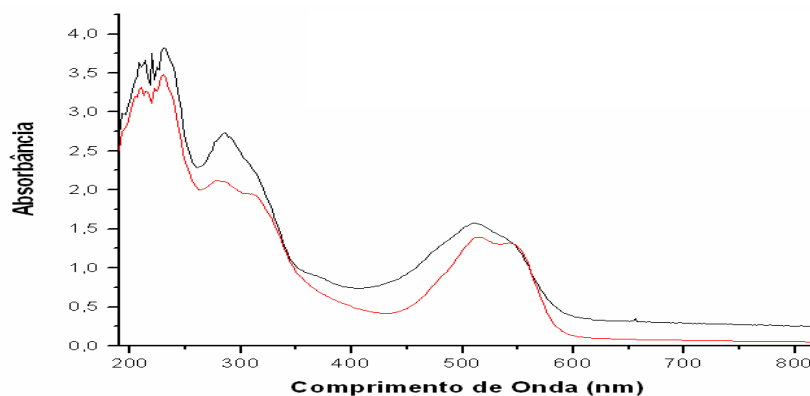


Figura 15 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo processo redutivo realizado nas condições de pH= 4,0 e vazão= 20 cm³.min⁻¹ (— resíduo de efluente sintético inicial ; — efluente sintético tratado em pH 4 vazão 20)

As amostras tratadas foram submetidas a determinação de Fe⁺ⁿ, onde detectou-se que permaneceu no efluente uma quantidade de Fe (conforme Tabela 2), principalmente na forma de Fe²⁺, que interferem no reuso da solução, podendo levar a danos catalíticos no tecido (redução da resistência e formação de furos) além de modificações de tonalidade e perda do brilho do tecido tinto.

Tabela 2 Valores de Fe²⁺ e Fe³⁺ em mg.dm⁻³, determinados para diferentes condições de tratamento.

Amostra		Concentração de Fe ²⁺ / mg.dm ⁻³	Concentração de Fe ³⁺ / mg.dm ⁻³
pH	Vazão (cm ³ /min)		
6	15	0,6602	0,0212
4	10	3,3690	0,0478
4	20	3,2790	0,0570
8	10	0,3500	0,1714
8	20	0,3407	0,1848

Também foi determinado a Demanda Química de Oxigênio (DQO), para cada solução. Analisando os dados da Tabela 3, onde constam os valores após análise, observa-se que o aumento foi de 16,04% na melhor condição do Planejamento Fatorial, que correspondem a pH= 4,0 e vazão 20 mg.dm⁻³. Portanto, o tratamento Redutivo com Fe metálico é inadequado para esse tipo de corante, apesar de redução de DQO na maioria das condições de tratamento.

Tabela 3 Valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO), determinadas para diferentes condições de tratamento.

Amostra		DQO / mg.dm ⁻³ O ₂
pH	Vazão (cm ⁻³ /min)	
6	15	89118,33
4	10	24314,32
4	20	154194,40
8	10	82964,55
8	20	51305,40
DQO Antes do Processo Redutivo		129452,78

5.1.2 Processo Foto-Fenton

No estudo baseado no processo Foto-Fenton, o efluente sintético foi submetido a um tratamento em diferentes tempos (20 e 40 minutos) com radiação artificial. Após o tratamento, verificou-se que o processo apresentou uma significativa redução de 98,7 % da cor e degradação da molécula como podemos analisar no Figura 16, entretanto o residual de corante remanescente não torna o efluente sintético adequado para o reuso.

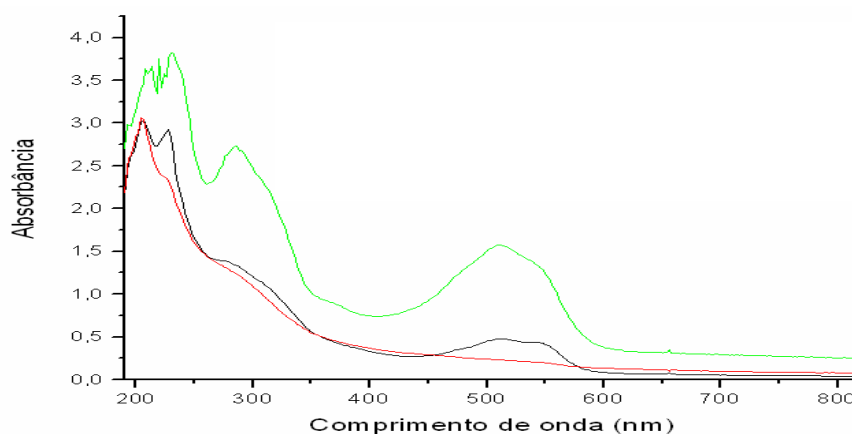


Figura 16 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo Processo Foto-Fenton (— efluente sintético; — 20 minutos de tratamento; — 40 minutos de tratamento).

5.1.3 Tratamento UV/ H₂O₂

Visando o reuso destas soluções e considerando que os resultados não foram satisfatórios nos métodos de tratamento testados, realizou-se um novo tratamento empregando a técnica UV/H₂O₂ (POA's), onde o efluente sintético foi submetido a 60 minutos de tratamento com adição de peróxido a cada 15 minutos, numa concentração de 200 mg.dm⁻³. O pH da solução durante e após o tratamento não diferenciava muito do pH inicial medido no tempo 0 minuto, ficando sempre em torno de 10±1.

O processo UV/H₂O₂ não somente favorece a descoloração, como também favorece um grau de destruição dos anéis aromáticos das moléculas dos corantes (MALIK E SANYAL, 2004).

Analisando a Figura 17 podemos concluir que ocorreu a quebra das ligações do grupo cromóforo, portanto, notou-se a redução da cor do efluente têxtil em aproximadamente 98%. Observando o comprimento de onda de 200 e 300 nm, pode-se notar ainda a presença de grupos aromáticos, apesar da significativa redução destes em relação ao resíduo não tratado.

Como já esperado, houve uma maior redução das absorbâncias nas faixas de maior absorção do efluente (Visível), onde se observa a cor, nos ensaios com e sem peróxido. A redução das absorbâncias na faixa UV, onde se observa os aromáticos, foi menor no mesmo tempo de irradiação em relação à cor, indicando que o processo promove a descoloração do efluente em poucos minutos e que neste mesmo tempo os aromáticos não são totalmente removidos, na concentração de peróxido testada.

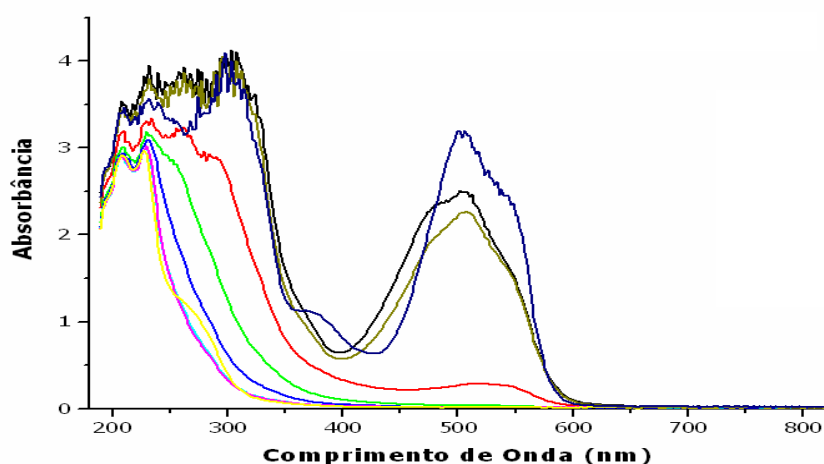


Figura 17 Espectro UV-vis da solução de efluente sintético tratada pelo Processo Oxidativo Avançado UV/H₂O₂, em diferentes condições de tratamento (— efluente sintético; — 15 minutos de tratamento; — 30 minutos de tratamento; — 45 minutos de tratamento; — 60 minutos de tratamento; — 90 minutos de tratamento).

SHU *et al.* (2004) estudaram a descoloração do corante Acid Black 1 pelo processo UV/H₂O₂ e obtiveram 90% de remoção de cor, utilizando um reator com uma lâmpada de 560 W, utilizando 240 mgH₂O₂/dm⁻³ em 10 minutos de irradiação. SHU e CHANG (2005) estudaram a descoloração do corante Direct Blue 199 pelo processo UV/H₂O₂ e obtiveram eficiências de remoção 89,6 e 87,9% utilizando lâmpadas de 560 e 280 W, respectivamente, em 30 minutos de irradiação, e utilizando 4000 mgH₂O₂/dm⁻³, a pH 8,9. Em nosso estudo, o mesmo resultado foi encontrado, utilizando uma concentração de peróxido bem menor e com uma lâmpada de menor potência. Essa diferença provavelmente é em função do tipo de corante utilizado e da concentração inicial do corante na solução, que no nosso caso era baixo em função da diluição.

ALATON *et al.* (2002) estudaram a oxidação avançada (UV/H₂O₂) com efluente sintético diluído 15 vezes nos pHs 3, 7 e 11 utilizando diferentes concentrações de peróxido (170, 340, 680 e 1360 mg.dm⁻³) em uma hora de irradiação UV. A concentração ótima de peróxido encontrada foi de 680 mg.dm⁻³ onde se alcançou a completa remoção da cor com 10 minutos de irradiação, e a remoção quase total da aromaticidade (UV 280nm) depois de uma hora de oxidação, em pH 7. Não houve variação significativa da descoloração após 30 minutos de oxidação, o que coincide com os resultados obtidos neste trabalho.

O uso combinado do peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta mostrou-se efetivo para a remoção da cor em soluções de corantes reativos, indicando que os radicais hidroxilas formados no processo são capazes de oxidar o grupamento azo (N=N), reduzindo a cor e a concentração dos corantes reativos na solução, como também são capazes de romper os anéis aromáticos favorecendo também a redução dos compostos aromáticos.

O resíduo tratado neste trabalho foi submetido a uma análise de Peróxido de Hidrogênio Residual. Baseado nos resultados obtidos e demonstrados na Tabela 4, optou-se por aumentar o tempo de tratamento de 60 minutos para 90 minutos, a fim de reduzir a quantidade de peróxido que permaneceu no efluente. Após os 90 minutos de tratamento a concentração de peróxido residual foi de 0,025 mg.dm⁻³.

Tabela 4 Concentração de H_2O_2 remanescente após diferentes tempos de tratamento com UV/ H_2O_2

Tempo de tratamento (minutos)	Concentração de H_2O_2 ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)
15	180,8055
30	172,824
45	112,5459
60	37,6655
90	0,025

Para comprovação efetiva de que o Processo Oxidativo Avançado com UV/ H_2O_2 foi o mais eficiente para o tratamento do Corante Vermelho Reativo Procion HE – 3B, visando o reuso das soluções tratadas, estas foram ainda submetidas a análise de DQO, onde obteve-se uma redução de 72,25% após 90 minutos de tratamento, como podemos observar na Tabela 5.

Tabela 5 Demanda Química de Oxigênio (DQO) no tratamento UV/ H_2O_2 em diferentes tempos de tratamento.

Tempo de tratamento (min)	DQO / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}\text{O}_2$
Resíduo	4172,713
15	3405,654
30	2445,229
45	2195,299
60	1598,954
90	1157,749

Estudos realizados em efluente de uma indústria de algodão por GEORGIU *et al.* (2002) com o mesmo processo e utilizando $1000 \text{ mg}\cdot\text{H}_2\text{O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$, alcançaram uma remoção de 70% da DQO após duas horas de irradiação. Essa redução foi atribuída à destruição das moléculas de corantes em compostos mais simples que são menos resistentes a oxidação química. Comparando com os dados acima, podemos concluir que obtivemos um excelente resultado na redução da DQO (72,25%) utilizando apenas $200 \text{ mg}\cdot\text{H}_2\text{O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$, em 90 min de tratamento.

5.2 PRIMEIRO CICLO DE REUSO

A solução tratada pelo Processo Oxidativo Avançado UV/H₂O₂ foi submetida ao primeiro ciclo de tratamento, visando avaliar o número de ciclos viáveis de reuso do corante Reativo Procion Vermelho HE-3B através da determinação dos parâmetros tintorias como K/S e ΔE das amostras tintas no reuso.

O cloreto (Cl⁻) é um íon presente na solução residual do tingimento que pode interferir na afinidade do corante pela fibra de algodão. Para determinação da quantidade permanente na água tratada foi aplicado a técnica de titulometria de precipitação (método de Mohr), empregando AgNO₃ 0,01 N (item 4.1.3.6). Para a solução tratada utilizada no preparo do banho de tingimento do primeiro ciclo de reuso determinou-se através da técnica a quantidade de íons Cl⁻, sendo esta 39,32 % da quantidade de cloreto inicial colocada no preparo do primeiro tingimento (produção do resíduo sintético).

Considerando a presença de íons Cl⁻ após o tratamento, as soluções para reuso nos tingimentos foram empregadas de três maneiras: tingimento conforme receita (amostra 1), tingimento com ajuste de eletrólito (NaCl) (amostra 2) e sem adição de eletrólito (amostra 3), todas comparadas com o padrão 100% H₂O destilada. A idéia de se comparar diferentes condições em relação ao eletrólito é visando uma economia na adição de NaCl, considerando que já existe um resíduo do tingimento anterior (1º tingimento – geração do efluente sintético).

A Figura 18 mostra uma elevada diferença de tonalidade no preparo do banho de tingimento da amostra A (H₂O destilada) e da amostra B (H₂O tratada), ambas utilizadas no primeiro ciclo de reuso. Após alguns minutos de repouso, observou-se que a amostra A1 permaneceu na mesma coloração inicial, enquanto que a amostra B1 apresentou uma leve precipitação podendo ser devido a presença do umectante ou o pH inicial após o tingimento.

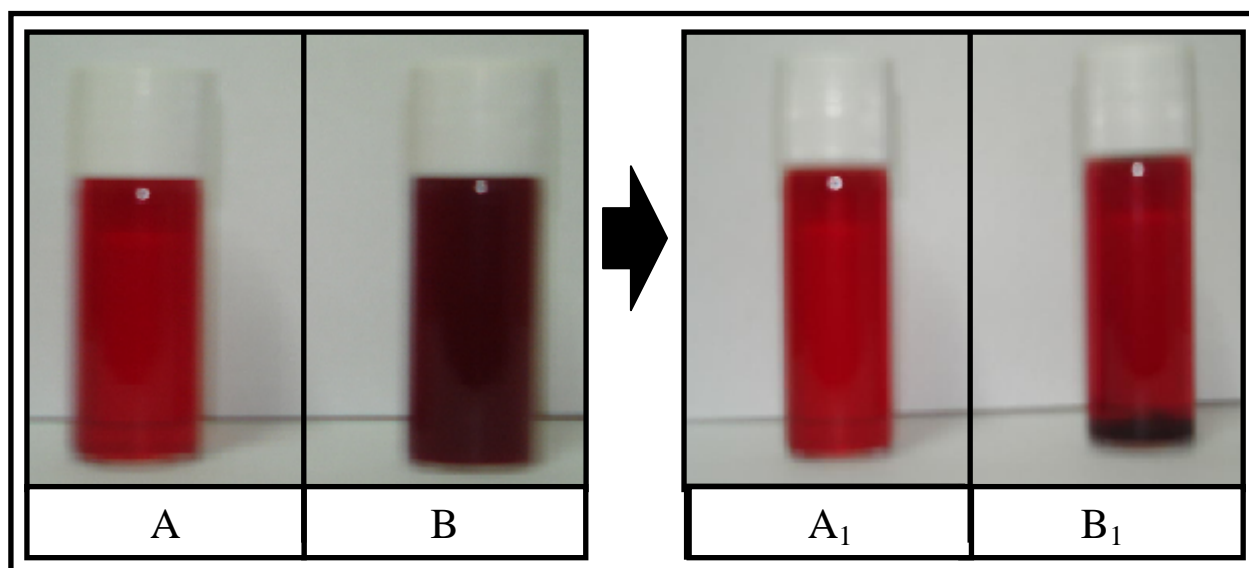


Figura 18 Fotografia das amostras coletadas no primeiro ciclo de reuso (A= solução com água destilada; B= solução com água tratada; A₁=solução com água destilada após repouso e B₁ = solução com água tratada após repouso).

Para determinar os motivos da precipitação ocorrida na amostra B, foram realizados testes verificando a influência do auxiliar têxtil perenin nas características da água tratada para reuso. Foi preparado um banho de tingimento nas mesmas condições feitas com as amostras anteriores, retirando o perenin do processo. Entretanto a única observação constatada foi que a precipitação diminuiu após alguns minutos em repouso, porém a intensidade na diferença da cor permaneceu visível. Outro teste realizado foi o ajuste do pH da água tratada, aproximando-o do pH da água destilada. Mesmo sabendo que o tingimento com corante Reativo deve ser realizado em pH alcalino, verificou-se que com a adição do Na₂CO₃ no banho de tingimento, o pH ficava muito alcalino, favorecendo a precipitação do umectante e de parte do corante, mudando desta forma a intensidade da cor comparada ao padrão. Para isso, as amostras com água tratada foram ajustadas a um pH inicial próximo ao da água destilada (padrão) com Ácido Clorídrico, logo no preparo do banho.

As amostras apresentaram elevada porcentagem de esgotamento (% de corante que migrou do banho para a fibra), todas próximas a 100 % considerado um excelente resultado, conforme pode ser observado na Figura 19. O padrão obteve um esgotamento de 97,66 %, amostra 1: 98,60%, amostra 2: 98,71% e amostra 3: 94,10%.

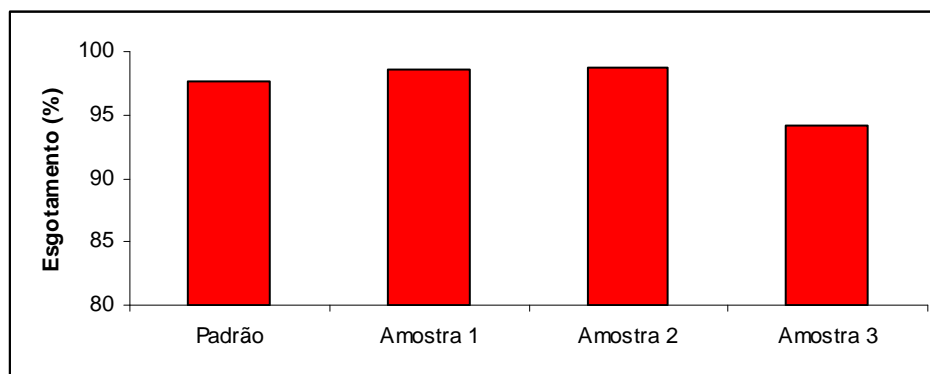


Figura 19 Porcentagem de esgotamento no primeiro ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Os valores da intensidade colorística (K/S) e diferença de cor residual (ΔE), obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão das amostras de tecido de algodão tinto com monocromia empregando água tratada do 1º ciclo (amostra 1, 2 e 3) e água destilada (padrão), estão relacionados na Tabela 6.

De acordo com os dados coletados, o K/S não apresentou excessiva variação, pois os valores ficaram próximos para todos os efluentes sintéticos reutilizados comparados com o padrão, cuja maior variação de porcentagem de esgotamento observada foi para a amostra 3 (sem adição de eletrólito).

Considerando os valores obtidos de ΔE , somente a amostra 3 (sem adição de eletrólito NaCl), não estaria de acordo com os padrões estabelecidos e liberados pela indústria, pois o resultado foi superior a 1,1, mostrando desta forma que a adição de eletrólito faz-se necessário, embora haja uma quantidade de resíduo do 1º tingimento. Normalmente os valores aprovados pela indústria dependem das exigências do cliente, devendo ΔE ser menor que 1,1.

Tabela 6 Intensidade colorística (K/S) das amostras de tecido e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no primeiro ciclo de reuso.

Banho de tingimentos	(K/S) Média ^{desvio-padrão}	(ΔE) Média ^{desvio-padrão}
Padrão	5,57 ^{1,88}	-
Amostra 1	5,16 ^{1,17}	0,65 ^{0,460}
Amostra 2	5,10 ^{0,95}	0,72 ^{0,56}
Amostra 3	4,99 ^{0,88}	1,48 ^{0,66}

5.3 SEGUNDO CICLO DE REUSO

Para avaliar a evolução da degradação da cor utilizando o processo UV/H₂O₂, os efluentes sintéticos provenientes do primeiro ciclo de reuso, foram novamente tratados nas mesmas condições do ciclo anterior. A medida da absorvância foi lida nas faixas UV e Visível em vários comprimentos de onda conforme mostra a Figura 20.

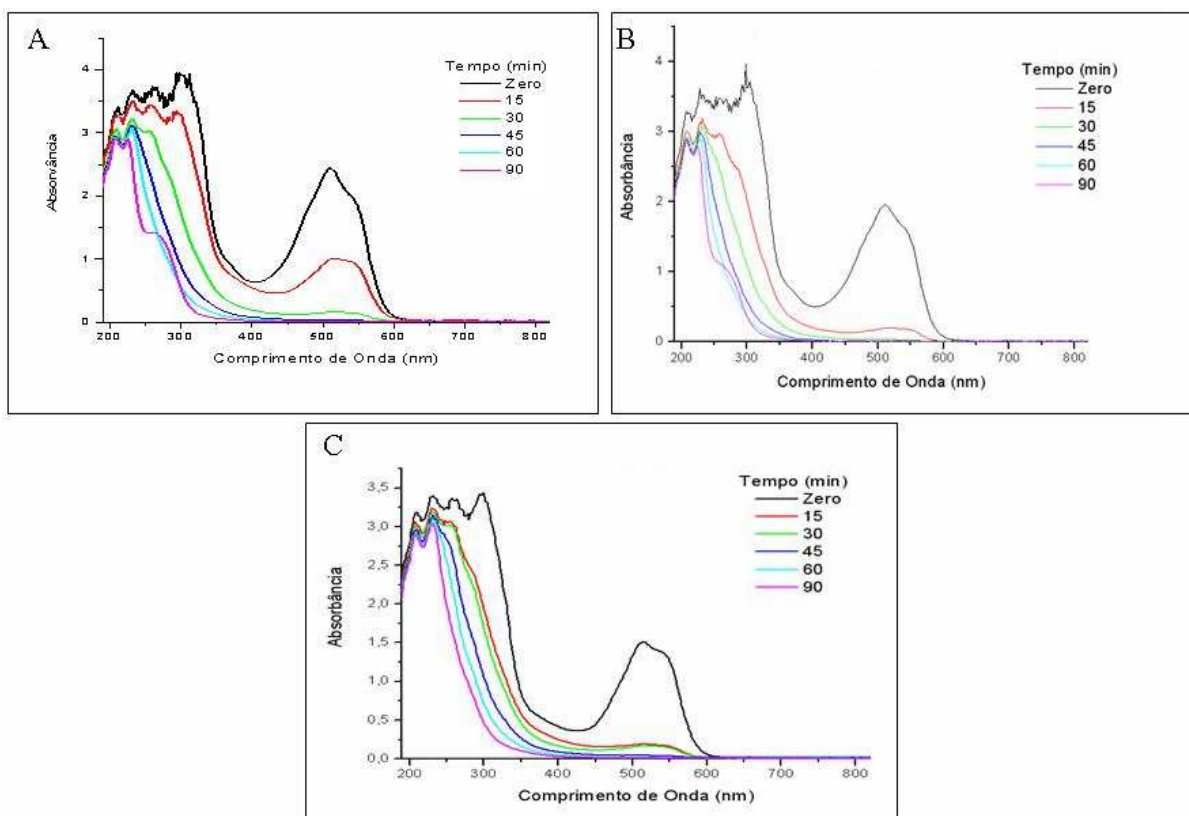


Figura 20 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 2º ciclo tratadas por UV/H₂O₂, em diferentes tempos. (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

Analisando a Figura 20 observa-se para a amostra 1 uma redução na faixa ultravioleta de 74,20% e na faixa visível uma redução de 99,15%. Para a amostra 2 a redução foi de 74,10% na faixa ultravioleta e 99,12% na faixa visível, enquanto que a amostra 3 apresentou uma redução na faixa do ultravioleta e na faixa do visível de 63,99% e 98,12%, respectivamente.

Essa redução demonstra a alta eficiência do processo para o tratamento desse tipo de corante e uma visível redução do grupo cromóforo correspondente a banda em 510 nm. Esta região é a mais preocupante, por ser a de máxima absorção do corante, ou seja, a responsável

pela cor característica deste corante. O fato de se ter uma redução das bandas máximas de absorção em toda faixa espectral (UV a vis) (Figura 21) é muito importante, pois é um indicativo que a água tratada a princípio está apta tanto para descarte quanto para reuso.

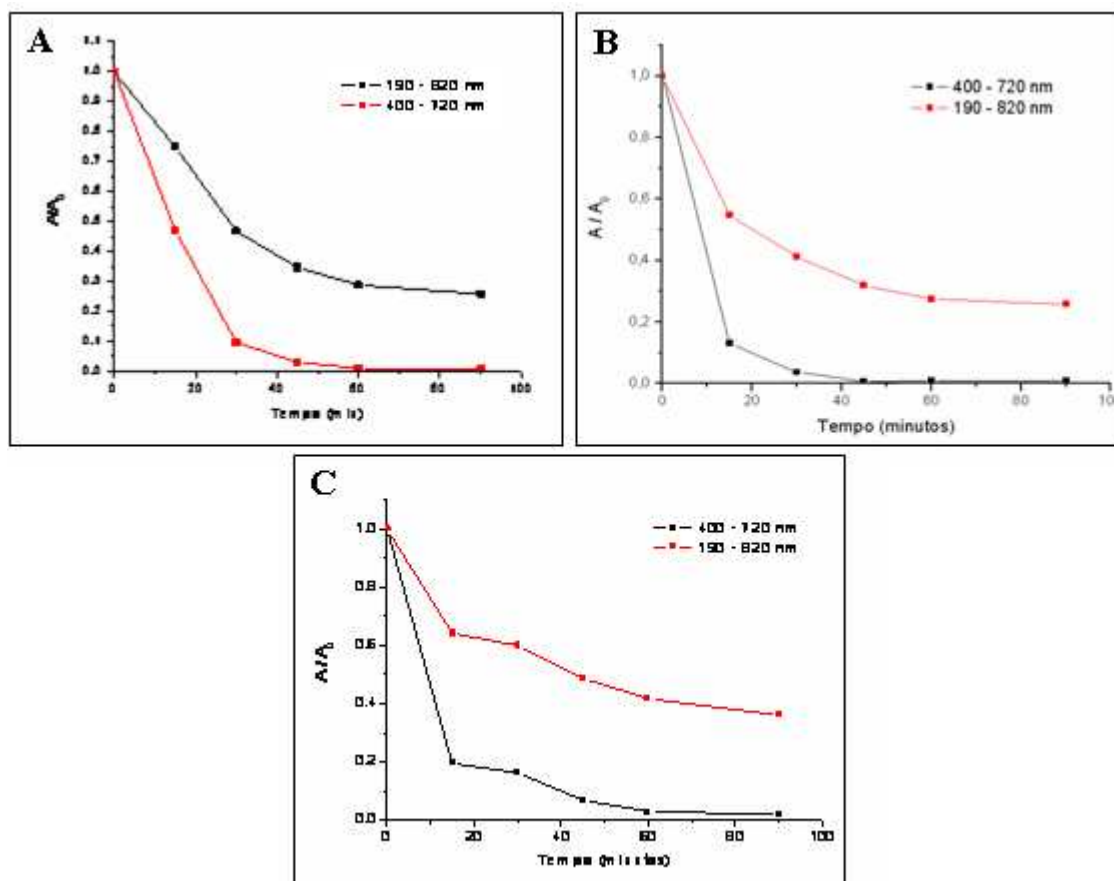


Figura 21 Redução da Área Espectral após processo UV-H₂O₂ em pH 10,7 (área espectral final/ área espectral inicial) da amostras tratadas do 2º ciclo (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

Ao comparar a eficiência do segundo ciclo com o primeiro ciclo, pode-se observar que no segundo ciclo a redução da cor em aproximadamente 99,15% é observada em um tempo maior de tratamento, 45 minutos. Enquanto que no primeiro ciclo esta redução foi observada com apenas 30 minutos de tratamento.

5.3.1 Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual

Curvas analíticas foram elaboradas a partir de soluções de peróxido de hidrogênio, verificando-se uma faixa linear de trabalho compreendida entre 20 a 400 mg.dm⁻³ e desvios padrão típicos da ordem de 2 mg.dm⁻³, segundo a equação $A = 0,5648$ e $B = 0,0035$ [H₂O₂].

As amostras de 0 e de 15 minutos ainda apresentavam coloração, o que interferiu na determinação de peróxido através da técnica de metavanadato de amônio, como pode ser observado na Tabela 7, acima de 45 minutos não detecta-se mais H₂O₂ residual na amostra 1, considerando-se então a melhor amostra tratada.

Tabela 7 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Tempos de tratamento (min)	Concentração de H ₂ O ₂ / mg.dm ⁻³		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
15	136,20	161,09	184,62
30	7,23	104,18	132,25
45	0	94,93	106,39
60	0	27,15	84,62
90	0	0,432	58,25

Quanto a determinação de peróxido da amostra sem adição de eletrólito, verificou-se que no final do tratamento, permaneceu na amostra uma grande quantidade que não foi degradada, podendo interferir no reuso da solução para novos tingimentos.

5.3.2 Reuso da Solução do 2º Ciclo de Tratamento

Para a preparação do banho de tingimento da amostra 2 (ajuste de eletrólito), foi determinado a quantidade de cloreto que permaneceu no resíduo após tratamento, verificando que para este segundo ciclo o ajuste teria que ser de 47,30% da quantidade utilizada para amostra 1 (conforme receita), pois permaneceu no resíduo uma porcentagem de 52,70% da

quantidade inicial.

As amostras, após o tingimento, tiveram uma ótima porcentagem de esgotamento, todas próximas a 100 % (Figura 22) considerado um excelente resultado. O padrão obteve um esgotamento de 91,11 %, amostra 1: 97,54 %, amostra 2: 97,35 % e amostra 3: 90,07 %.

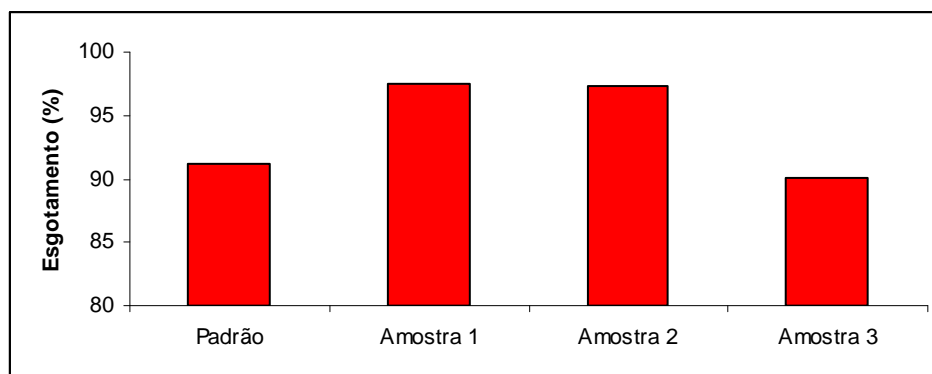


Figura 22 Porcentagem de esgotamento no segundo ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

A Tabela 8 mostra os valores de K/S e ΔE obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão das amostras de tecido de algodão tinto com monocromia empregando água tratada (amostra 1, 2 e 3) e água destilada (padrão).

De acordo com os dados coletados, a intensidade colorística (K/S) apresentou pequena variação dos efluentes reutilizados comparados com o padrão, sendo a maior diferença para a solução sem adição de eletrólito (amostra 3), como já foi observado para o 1º ciclo de reuso.

Considerando os valores obtidos de ΔE , somente a amostra 3 (sem adição de eletrólito NaCl) continuava não passando pelos padrões estabelecidos e liberados pela indústria, pois novamente neste ciclo de reuso o resultado foi superior a 1,1. Analisando a Tabela 6 e comparando com a Tabela 8, observa-se a tendência ao aumento de ΔE com o aumento do ciclo de reuso.

Tabela 8 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no segundo ciclo de reuso. (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banho de tingimentos	(K/S) Média^{desvio-padrão}	(ΔE) Média^{desvio-padrão}
Padrão	6,06 ^{0,16}	-
Amostra 1	5,02 ^{0,10}	0,78 ^{0,33}
Amostra 2	5,00 ^{0,09}	0,92 ^{0,51}
Amostra 3	4,96 ^{0,22}	1,83 ^{0,38}

5.4 TERCEIRO CICLO DE REUSO

Os efluentes sintéticos provenientes do segundo ciclo de reuso foram novamente tratados, mantendo as mesmas condições anteriores, a fim de avaliar a evolução dos ciclos de reuso. Analisando a Figura 23 dos espectros de absorbâncias, conclui-se que o efluente sintético ainda está em condições de reuso, pois obteve em todas as amostras uma redução variando de 80 a 95%.

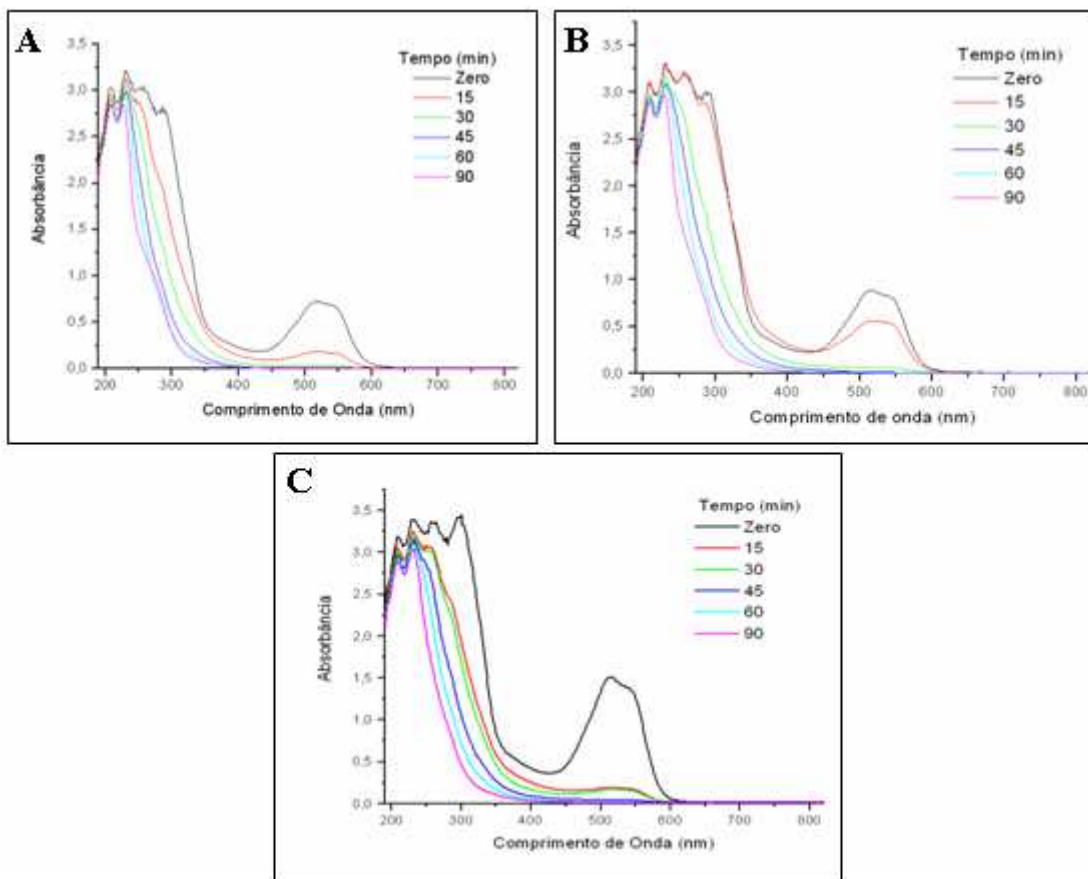


Figura 23 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 3º ciclo tratadas por UV/H₂O₂, em diferentes tempos. (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

Expressando-se os resultados na forma de área espectral integrada (Figura 24), a capacidade degradativa fica mais evidente. Observa-se que entre 400-720 nm, região em que absorvem todos os grupos cromóforos, todas as amostras foram descoloridas de maneira praticamente completa. Adicionalmente, monitorando a área 190-820 nm, verificou-se que o tempo 90 minutos é suficiente para promover uma eficiência na degradação das espécies químicas.

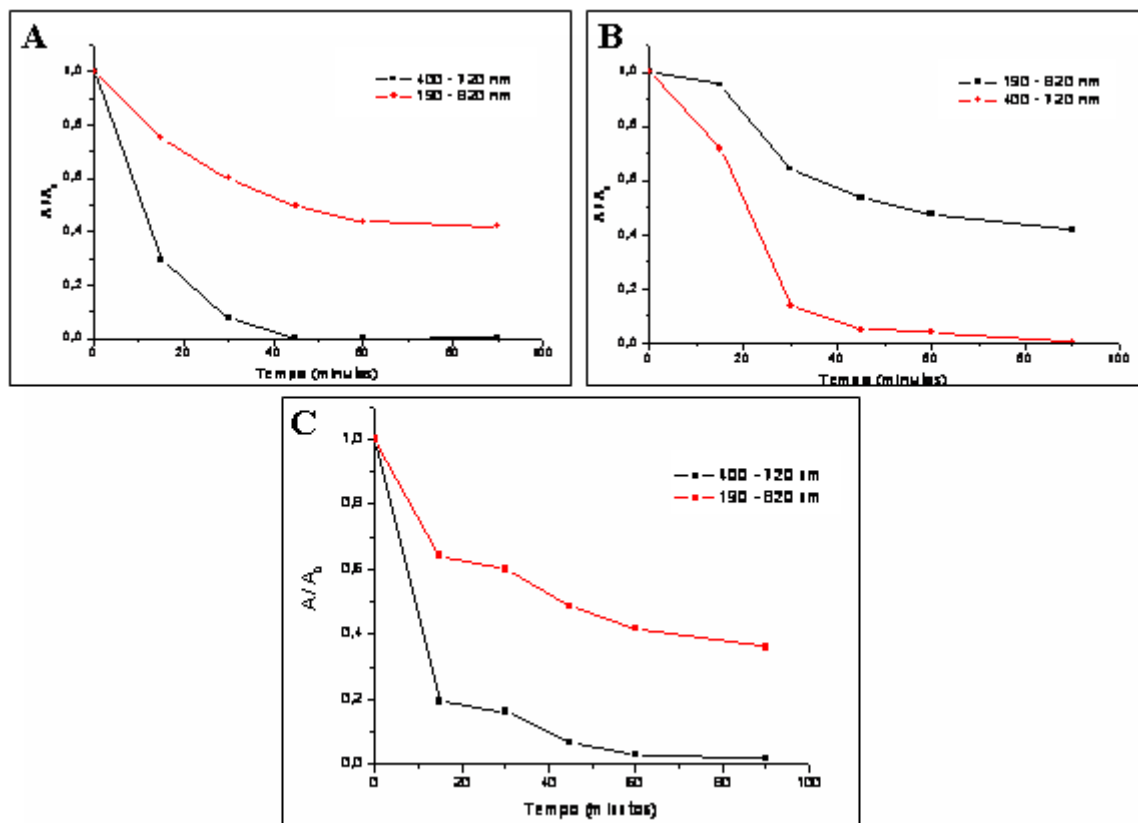


Figura 24 Redução da Área Espectral após processo UV- H_2O_2 em pH 10,3 (área espectral final/ área espectral inicial) das amostras tratadas do 3º ciclo (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

5.4.1 Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual do 3º Ciclo de Tratamento

Quanto a determinação de peróxido residual (Tabela 9), verifica-se que no final do tratamento do terceiro ciclo, permaneceu nas amostras quantidade de peróxido não degradada, o que pode interferir no reuso da solução para novos tingimentos. Essa observação começa a ser detectada com maior intensidade na amostra 3, já no segundo ciclo de tratamento.

Tabela 9 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual do Terceiro Ciclo de Tratamento (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Tempos de tratamento (min)	Concentração de H ₂ O ₂ / mg.dm ⁻³		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
15	183,58	195,15	168,91
30	156,49	146,54	132,26
45	87,30	136,09	125,76
60	52,61	85,96	87,64
90	3,52	26,35	59,63

5.4.2 Reuso da Solução do Terceiro Ciclo de Tratamento

Para a preparação do banho de tingimento do terceiro ciclo de reuso, determinou-se através de titulometria a quantidade de íons cloretos que permaneceu neste tratamento, para o ajuste feito para a amostra 2. Permaneceu, portanto no resíduo uma porcentagem de 46,10 % da quantidade inicial, o que faz necessário um ajuste de 53,90% da quantidade inicial. Observa-se que no decorrer dos ciclos as amostras têm menor perda de cloreto, permanecendo uma maior quantidade na amostra tratada.

As amostras tiveram uma ótima porcentagem de esgotamento, todas próximas a 100 % considerado um ótimo resultado, conforme Figura 25. Para o padrão obteve-se um esgotamento de 89,73 %, amostra 1: 98,54 %, amostra 2: 96,35 % e amostra 3: 87,22 %.

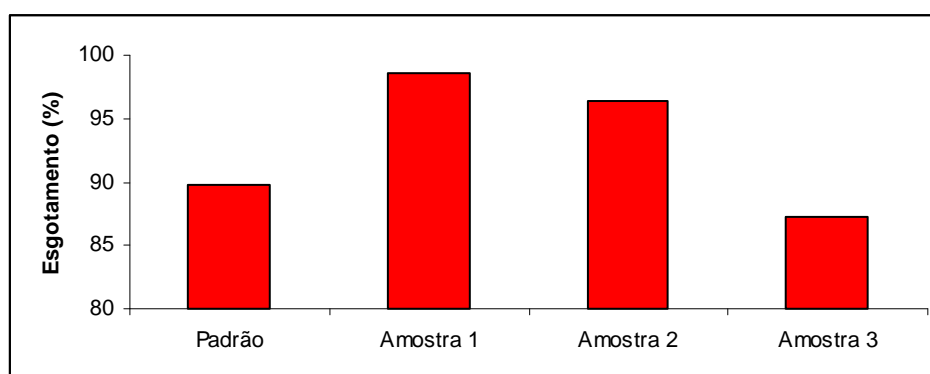


Figura 25 Gráfico da porcentagem de esgotamento no terceiro ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

A tabela 10 mostra os valores de K/S e ΔE , obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão, onde a intensidade colorística das amostras, apresentaram resultados muito próximos ao padrão, tendo uma diferença maior somente a amostra sem adição de eletrólito (amostra 3).

Entretanto neste terceiro ciclo de reuso, verifica-se que somente a amostra 3, não passa pelos limites estabelecidos industrialmente ($\Delta E < 1,1$), confirmando o mesmo comportamento verificado nos ciclos anteriores.

Tabela 10 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no terceiro ciclo de reuso. (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banho de tingimentos	(K/S) Média^{desvio-padrão}	(ΔE) Média^{desvio-padrão}
Padrão	7,44 ^{0,56}	-
Amostra 1	8,01 ^{0,98}	0,95 ^{0,48}
Amostra 2	8,12 ^{1,02}	1,02 ^{0,63}
Amostra 3	8,78 ^{0,45}	1,93 ^{0,56}

5.5 QUARTO CICLO DE REUSO

A fim de detectarmos o número de ciclos prováveis de reuso do corante Reativo Vermelho HE-3B, e considerando um excelente resultado até o terceiro ciclo, as soluções foram submetidas a um novo tratamento UV/H₂O₂, sob as mesmas condições expostas anteriormente e posteriormente aplicadas num quarto ciclo de reuso.

Conforme a Figura, 26 conclui-se que novamente o tratamento foi eficiente na descoloração do corante e degradação da molécula, pois as absorbâncias das soluções tratadas foram superiores a 90% na região visível, além de uma excelente descoloração após tratamento, o que é um indicativo de que a água tratada a princípio está apta para reuso. Entretanto, a descoloração das soluções nos primeiros ciclos era visível nos primeiros minutos

de tratamento, o que no quarto ciclo observa-se que o resíduo começa a ter uma descoloração considerável a partir dos 30 minutos de tratamento.

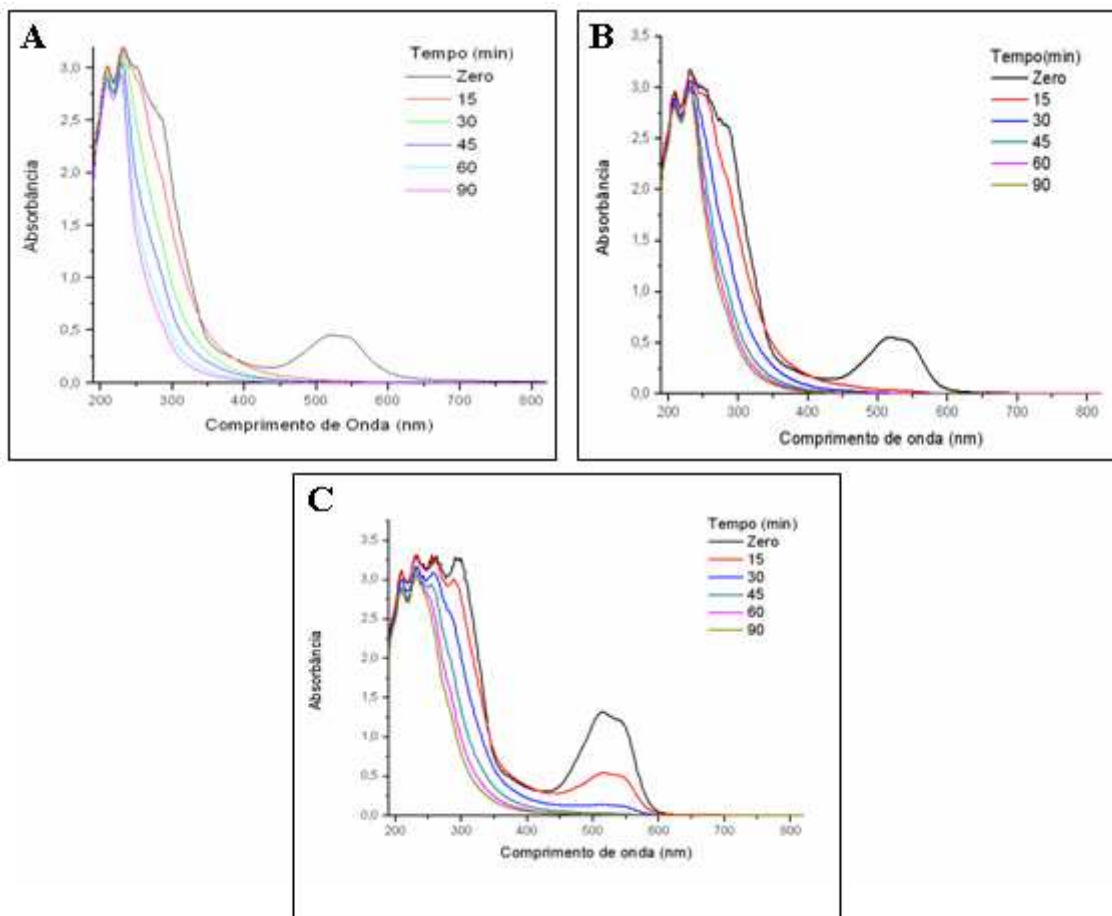


Figura 26 Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 4º ciclo tratadas por UV/H₂O₂, em diferentes tempos. (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

Essa redução pode ser observada com maior evidência na área espectral conforme mostra Figura 27. Porém essa redução não teve um comportamento instável no decorrer dos ciclos, o que pudésemos concluir que aumentaria ou diminuiria durante os tratamentos. Todos os ciclos de tratamento apresentaram comportamento similar, mas características diferentes. Isso pode ser ocasionado pela porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimentos, que indica a quantidade de corante que migrou para a fibra e não permaneceu no resíduo.

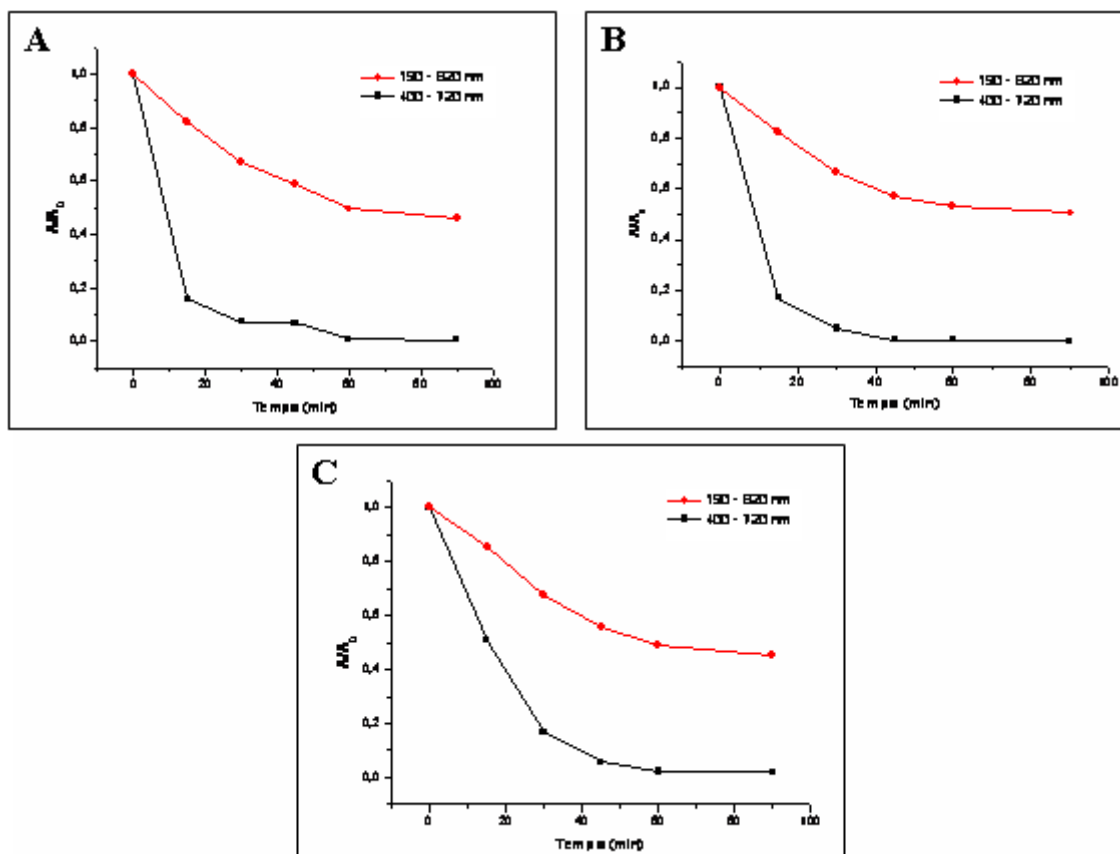


Figura 27 - Redução da Área Espectral após processo UV-H₂O₂ em pH 10,8 (área espectral final/ área espectral inicial) das amostras tratadas do 4º ciclo (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

5.5.1 Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual para o Quarto Ciclo de Reuso

A determinação de Peróxido de Hidrogênio Residual demonstrou novamente neste ciclo uma maior quantidade não degradada (Tabela 11), o que comprava que com o aumento de ciclos o peróxido acaba não tendo uma total degradação e permanece no efluente. Isso poderia ser resolvido com um aumento do tempo de tratamento na medida em que aumenta os ciclos, sem adição Peróxido após os 60 minutos (condição estabelecida em todos os ciclos).

Tabela 11 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual para o Quarto ciclo de Reuso (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Tempos de tratamento (min)	Concentração de H ₂ O ₂ / mg.dm ⁻³		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
15	149,86	150,81	182,99
30	133,39	138,45	156,63
45	105,26	134,90	129,17
60	83,39	99,29	112,24
90	37,85	52,4	95,68

5.5.2 Reuso da Solução do Quarto ciclo de Tratamento

As soluções tratadas foram submetidas a um quarto ciclo de reuso, obedecendo todas as condições e metodologias dos ciclos anteriores. Para a preparação do banho de tingimento da amostra 2 (ajuste de eletrólito), foi determinado a quantidade de cloreto que permaneceu no resíduo após tratamento, verificando que para este ciclo o ajuste teria que ser de 69,30 % da quantidade utilizada para amostra 1 (conforme receita).

As porcentagens de esgotamento foram satisfatórias também para este ciclo de reuso, ficando com valores aproximados ao padrão (100% água destilada), conforme Figura 28. O padrão obteve um esgotamento de 87,95 %, amostra 1: 92,36 %, amostra 2: 95,75 % e amostra 3: 83,47 %.

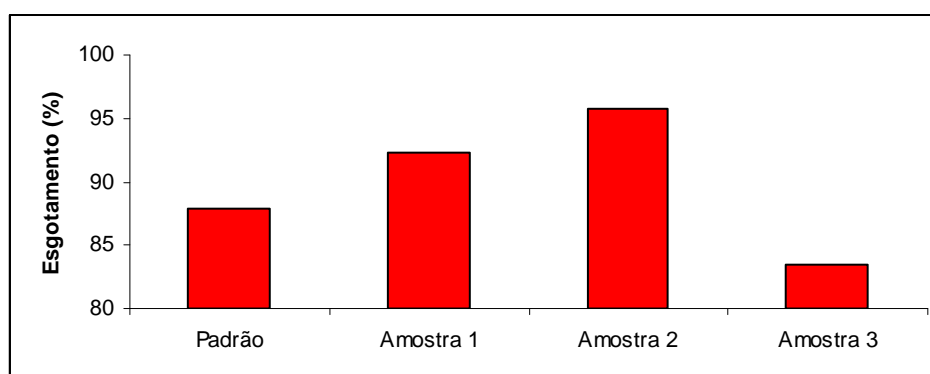


Figura 28 Gráfico da porcentagem de esgotamento no quarto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

De acordo com os dados coletados, a intensidade colorística K/S, apresentou pequena variação dos efluentes reutilizados comparados com o padrão, considerando um bom resultado (Tabela 12). No entanto, observando os valores obtidos de ΔE , nenhuma das amostras estariam liberadas pela indústria, considerando os padrões estabelecidos, pois todas apresentaram um valor superior a 1,1, comprovando novamente o aumento de ΔE no decorrer dos ciclos de reuso.

Tabela 12 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no quarto ciclo de reuso. (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banho de tingimentos	(K/S) Média^{desvio-padrão}	(ΔE) Média^{desvio-padrão}
Padrão	8,53 ^{1,56}	-
Amostra 1	10,19 ^{1,05}	1,47 ^{0,33}
Amostra 2	9,12 ^{0,67}	1,97 ^{0,51}
Amostra 3	8,99 ^{0,29}	2,04 ^{0,42}

5.6 QUINTO CICLO DE REUSO

Para comprovar que o resíduo sintético do corante Reativo Vermelho HE-3B, não ultrapassaria três ciclos de reuso nas condições estabelecidas neste trabalho, foi realizado um quinto ciclo de reuso. A medida da absorbância foi lida nas faixas UV e Visível em vários comprimentos de onda conforme mostra a Figura 29.

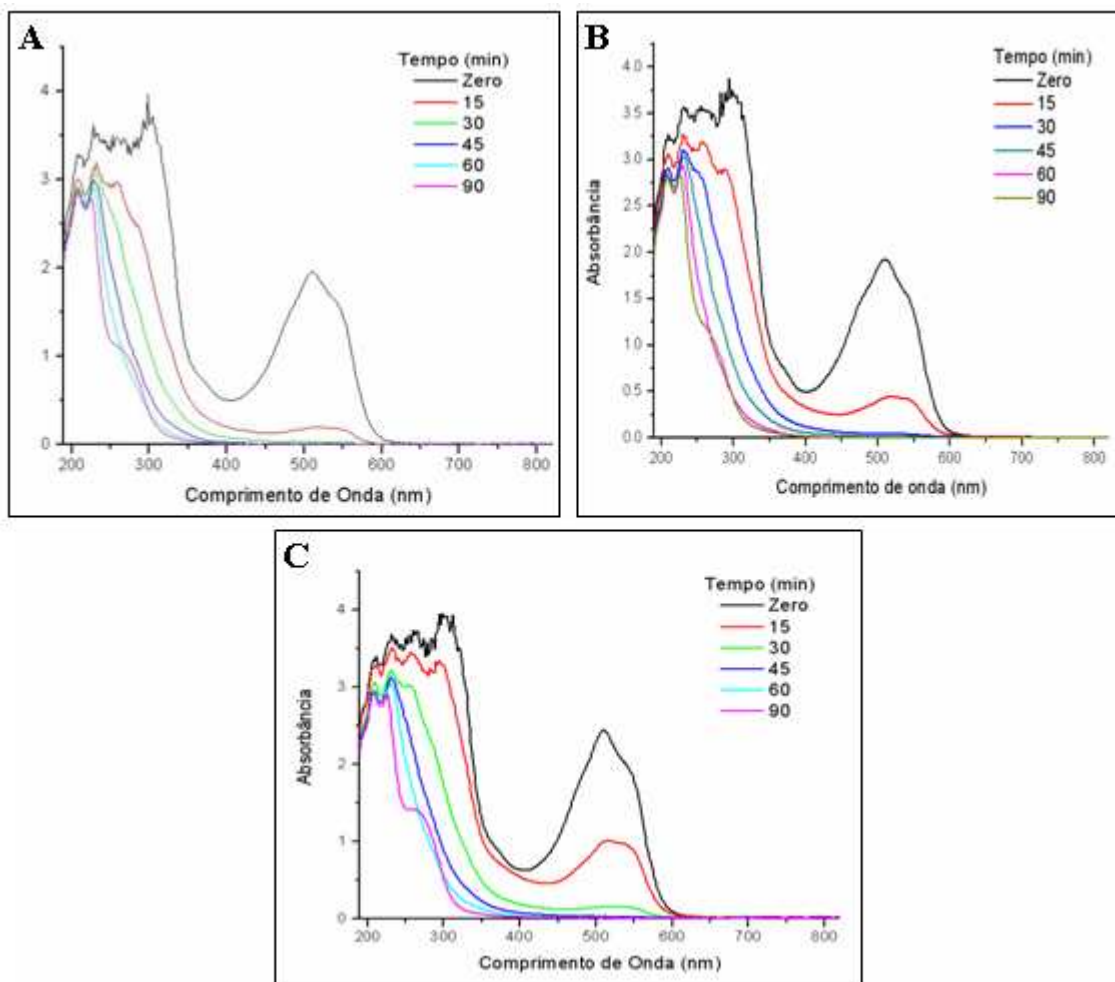


Figura 29 Gráfico dos Espectros UV-vis das soluções de efluente sintético do 4º ciclo tratadas por UV/H₂O₂, em diferentes tempos. (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

Analisando a Figura 29 dos espectros de absorbância e a Figura 30 da redução espectral, observa-se uma redução variando entre 80 a 90 % em todas as soluções. Essa redução demonstra a alta eficiência do processo para o tratamento desse tipo de corante, mesmo com o aumento de ciclos de reuso.

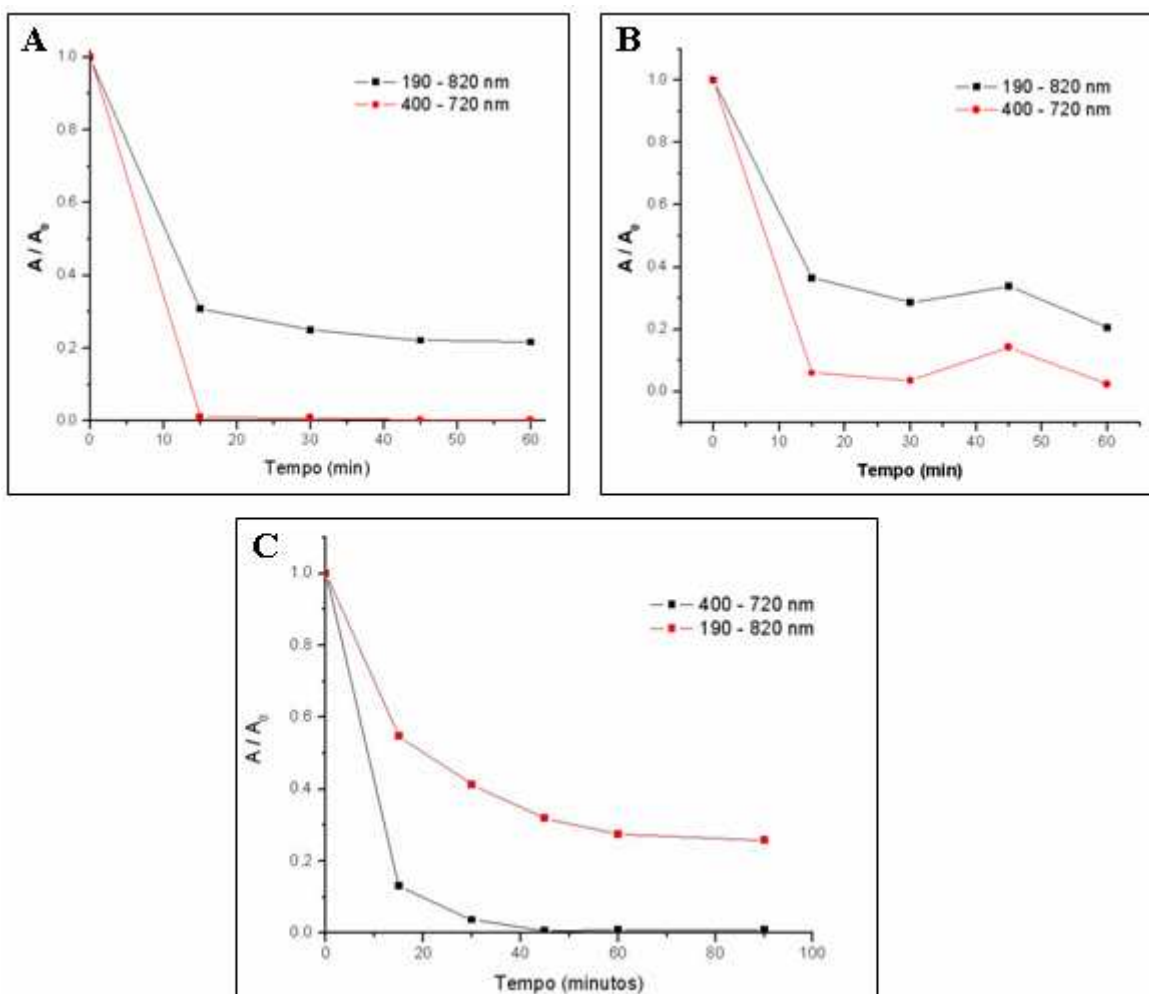


Figura 30 Redução da Área Espectral após processo UV-H₂O₂ em pH 10,8 (área espectral final/ área espectral inicial) das amostras tratadas do 4º ciclo (A = amostra 1, conforme receita fabricante; B = amostra 2, ajuste de eletrólito e C = amostra 3, sem adição de eletrólito).

5.6.1 Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual

Conforme Tabela 13 nota-se que todas as amostras não obtiveram uma degradação total da quantidade de peróxido, permanecendo nas mesmas uma quantidade significativa de peróxido residual, podendo interferir no reuso da solução.

Tabela 13. Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Tempos de tratamento (min)	Concentração de H ₂ O ₂ / mg.dm ⁻³		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
15	186,49	192,37	199,02
30	157,36	152,40	196,30
45	146,35	138,90	189,63
60	137,85	126,35	182,99
90	98,06	108,59	150,20

5.6.2 Carbono Orgânico Total (TOC)

Devido a produtos intermediários de alguns compostos orgânicos apresentarem mais tóxicos e/ou não biodegradáveis do que o composto original, a completa destruição de alguns compostos (mineralização) deve ser considerada. A tabela abaixo, mostra a evolução do TOC durante o processo oxidativo na concentração de H₂O₂ utilizada.

Conforme os resultados obtidos (Tabela 14) podemos analisar que as amostras não obtiveram uma redução significativa, onde esta baixa remoção de TOC pode ser associada a oxidação incompleta dos compostos orgânicos, ou seja, o processo não atinge o grau de mineralização desejado.

Tabela 14 Determinação de Carbono Orgânico Total no quinto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Tempos de tratamento (min)	Concentração de Carbono Orgânico Total / mg.dm ⁻³		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0	724,5	601,5	937,5
45	348,0	357,7	568,0
90	93,55	289,25	421,7

De acordo com BALI *et al.* (2004), em estudos de mineralização de três corantes com o processo UV/H₂O₂, a taxa de remoção do TOC cresceu com o aumento da concentração

inicial do peróxido, em pH 7. Já RAJ e QUEN (2005), observaram em seus estudos que o aumento do pH (faixa alcalina) favorece a redução do TOC, no processo UV/H₂O₂. Foi observado também pelos autores que a taxa de descoloração foi mais rápida do que a de remoção do TOC, como também observado em nosso estudo.

5.6.3 Reuso da solução do Quinto Ciclo de tratamento

Conforme os espectros de absorvância, as soluções tratadas a princípio estariam aptas para reuso, portanto foram submetidas a um quinto ciclo de reuso.

Para o ajuste de eletrólito da amostra 3, foi determinado a quantidade de cloreto que permaneceu no resíduo após tratamento, verificando que para este quinto ciclo o ajuste teria que ser de 47,30%.

As amostras tiveram uma ótima porcentagem de esgotamento, todas próximas a 100 % considerado um ótimo resultado, conforme Figura 31. O padrão obteve um esgotamento de 92,04 %, amostra 1: 99,02 %, amostra 2: 98,86 % e amostra 3: 94,75 %.

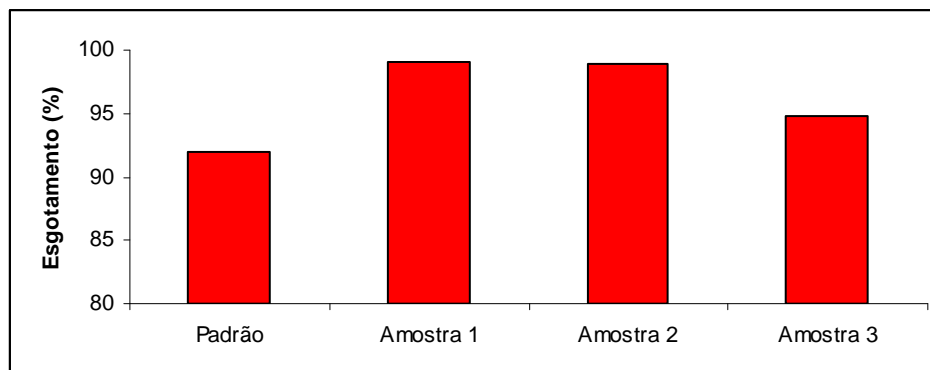


Figura 31 Gráfico da porcentagem de esgotamento no quinto ciclo de reuso dos efluentes sintéticos tratados (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

A Tabela 15 mostra os valores de K/S e ΔE , obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão, o que confirma a reprovação deste ciclo de reuso devido as amostras apresentarem uma grande variação da intensidade colorística e sobretudo valores de ΔE superiores ao liberado industrialmente ($\Delta E < 1,1$).

Tabela 15 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no quinto ciclo de reuso. (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banho de tingimentos	(K/S) Média^{desvio-padrão}	(ΔE) Média^{desvio-padrão}
Padrão	9,06 ^{1,65}	-
Amostra 1	11,96 ^{1,15}	1,76 ^{0,33}
Amostra 2	10,90 ^{0,90}	2,01 ^{0,15}
Amostra 3	9,78 ^{0,27}	2,44 ^{0,38}

5.7 TRATAMENTO DO EFLUENTE A SER DESCARTADO

O resíduo proveniente do quinto ciclo de reuso, foi tratado pelo processo UV – H₂O₂, com o objetivo de determinar se o mesmo estaria em condições favoráveis para descarte, já que este não mostrou mais possibilidade de ser reutilizado. Portanto foi coletado amostras no decorrer do tratamento de remoção da cor, para análise de TOC e determinação de peróxido residual.

Após tratamento, verificou-se que a eficiência do tratamento na quebra do grupo cromóforo e conseqüentemente na remoção da cor em aproximadamente 98%, conforme Figura 32.

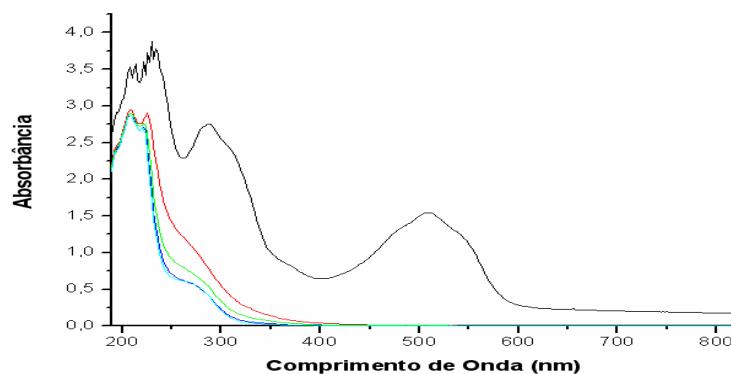


Figura 32 Gráfico dos Espectros UV-vis da solução de efluente sintético tratado por UV/H₂O₂, em diferentes tempos para descarte (— resíduo sintético; — 15 minutos; — 30 minutos; — 60 minutos; — 90 minutos)

5.7.1 Determinação do Peróxido de Hidrogênio Residual

Conforme os resultados obtidos (Tabela 16), observa-se no resíduo final uma quantidade mínima de 25,93 mg.dm⁻³ de peróxido residual, após 90 minutos de tratamento. O peróxido é um produto químico, com forte poder oxidante, que pode causar contaminação dos cursos de água, porém quando em grande concentração, tornando imprópria para uso. Como o resíduo apresentou baixa concentração de H₂O₂, que em condições normais pode se decompor em H₂O e O₂ este se encontra em condições favoráveis ao descarte.

Tabela 16 Dados coletados na análise de Peróxido de Hidrogênio Residual do efluente sintético final dos ciclos com destino de descarte.

Tempo (min)	Concentração (mg.dm ⁻³)
15	183,24
30	159,63
45	133,85
60	96,54
90	25,93

5.8 SOLIDEZ A LAVAGEM

5.8.1 Tingimento com Soluções de Monocromia Tratadas

Conforme tabelas abaixo (18, 19, 20, 21 e 22.), observa-se que os ensaios da determinação da solidez de cor à ação de lavagem para os tecidos de algodão tintos e não-tintos mostraram bons resultados, considerando que os valores das notas da escala cinza foram superiores a 4,0 e o de desvio-padrão máximo obtido foi de 0,33 para os três primeiros ciclos. Um excelente resultado obtido também no teste de solidez foi que nos melhores ciclos de tingimento (1º ao 3º ciclo) verificou-se que as amostras com água tratada ficaram muito próximas ao da água destilada, tendo somente uma diferença com o tecido testemunha de algodão, também para os ensaios de solidez não observa-se resultados satisfatórios a partir do quarto ciclos de reuso (menor que 4,0).

Tabela 18 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 1º ciclo de reuso.

	cor	Nota de escala Cinza normal sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		média	Desvio padrao	média	Desvio padrão
Amostra de tecido de algodão	Amostra 1	4,5	0,15	4,7	0,21
	Amostra 2			4,7	0,21
	Amostra 3			4,8	-----
Tecido Testemunha	Amostra 1	4,6	-----	4,4	0,14
	Amostra 2			4,5	0,17
	Amostra 3			4,5	0,12
Tecido testemunha de algodão	Amostra 1	3,8	0,21	3,3	0,15
	Amostra 2			3,7	0,18
	Amostra 3			3,6	0,15

Tabela 19 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 2º ciclo de reuso.

	cor	Nota de escala Cinza normal sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		média	Desvio padrao	média	Desvio padrão
Amostra de tecido de algodão	Amostra 1	4,4	0,09	4,9	0,25
	Amostra 2			4,8	0,19
	Amostra 3			4,7	0,23
Tecido testemunha	Amostra 1	4,3	0,03	4,1	0,17
	Amostra 2			4,1	0,19
	Amostra 3			4,3	0,07
Tecido testemunha de algodao	Amostra 1	3,5	0,16	3,4	0,08
	Amostra 2			3,6	0,11
	Amostra 3			3,6	0,06

Tabela 20 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 3º ciclo de reuso.

	cor	Nota de escala Cinza normal sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		média	Desvio padrao	média	Desvio padrão
Amostra de tecido de algodão	Amostra 1	4,2	0,15	4,5	0,11
	Amostra 2			4,3	0,25
	Amostra 3			4,4	0,28
Tecido testemunha	Amostra 1	4,3	0,09	4,1	0,04
	Amostra 2			4,2	0,03
	Amostra 3			4,0	0,10
Tecido testemunha de algodao	Amostra 1	3,2	0,09	3,2	0,12
	Amostra 2			2,9	0,12
	Amostra 3			3,6	0,04

Tabela 21 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 4º ciclo de reuso.

	cor	Nota de escala Cinza normal sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		média	Desvio padrao	média	Desvio padrão
Amostra de tecido de algodão	Amostra 1	3,9	1,09	4,2	-----
	Amostra 2			4,1	0,25
	Amostra 3			4,1	0,18
Tecido testemunha	Amostra 1	4,2	0,04	3,8	1,02
	Amostra 2			4,1	0,99
	Amostra 3			4,0	1,02
Tecido testemunha de algodao	Amostra 1	3,2	0,04	2,4	0,99
	Amostra 2			2,2	1,05
	Amostra 3			2,9	1,10

Tabela 22 Determinação da solidez de cor à ação de lavagem tintos com solução de corante reativo vermelho procion HE- 3B tratada e água destilada do 5º ciclo de reuso.

	cor	Nota de escala Cinza normal sandoz (1983)			
		Água destilada		Água tratada	
		média	Desvio padrao	média	Desvio padrão
Amostra de tecido de algodão	Amostra 1	3,8	0,17	4,0	0,31
	Amostra 2			3,9	0,28
	Amostra 3			3,7	-----
Tecido testemunha	Amostra 1	4,1	-----	3,9	0,19
	Amostra 2			3,5	0,34
	Amostra 3			3,2	0,69
Tecido testemunha de algodao	Amostra 1	2,1	1,18	3,1	-----
	Amostra 2			3,9	0,28
	Amostra 3			3,7	0,18

5.8 APRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DOS RESULTADOS OBTIDOS

A tabela 17 mostra os valores obtidos através das leituras no espectrofotômetro de remissão (Mathis) do K/S e do ΔE das amostras de tecido algodão tinto com o corante vermelho Reativo Procion HE-3B, empregando água tratada e água destilada.

Tabela 17 Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, de todos os ciclos de reuso (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banho de tingimentos	1º ciclo		2º ciclo		3º ciclo		4º ciclo		5º ciclo	
	(K/S) Média ^{dp}	(ΔE) Média ^{dp}	(K/S) Média ^{dp}	(ΔE) Média ^{dp}	(K/S) Média ^{dp}	(ΔE) Média ^{dp}	(K/S) Média ^{dp}	(ΔE) Média ^{dp}	(K/S) Média ^{dp}	(ΔE) Média ^{dp}
Padrão	5,57 ^{1,88}	-	6,06 ^{0,16}	-	7,44 ^{0,56}	-	8,53 ^{1,56}	-	9,06 ^{1,65}	-
Amostra 1	5,16 ^{1,17}	0,65 ^{0,460}	5,02 ^{0,10}	0,78 ^{0,33}	8,01 ^{0,98}	0,95 ^{0,48}	10,19 ^{1,05}	1,47 ^{0,33}	11,96 ^{1,15}	1,76 ^{0,33}
Amostra 2	5,10 ^{0,95}	0,72 ^{0,56}	5,00 ^{0,09}	0,92 ^{0,51}	8,12 ^{1,02}	1,02 ^{0,63}	9,12 ^{0,67}	1,97 ^{0,51}	10,90 ^{0,90}	2,01 ^{0,15}
Amostra 3	4,99 ^{0,88}	1,48 ^{0,66}	4,96 ^{0,22}	1,83 ^{0,38}	8,78 ^{0,45}	1,93 ^{0,56}	8,99 ^{0,29}	2,04 ^{0,42}	9,78 ^{0,27}	2,44 ^{0,38}

Os valores obtidos de K/S demonstraram que até o segundo ciclo de tratamento os tecidos tintos com água destilada (padrão) ficavam com cor mais intensa, quando comparados com os tintos com água tratada (amostras 1, 2 e 3), porém com intensidades muito próximas, considerando um excelente resultado. À partir do terceiro ciclo, as amostras passaram a ter uma maior intensidade de cor do que com água destilada (padrão), mas ainda não obtendo uma grande variação.

Considerando os valores obtidos de acordo com o ΔE , a amostra 1 e amostra 2 estariam liberados pela indústria, até o terceiro ciclo de tratamento, pois os resultados foram inferiores a 1,1, o que não ocorreu no quarto e quinto ciclo de tratamento. Já as amostras 3 apresentaram nestes ciclos, $\Delta E > 1,1$, não sendo estas, liberadas industrialmente.

A Tabela 18 mostra os valores das porcentagens de esgotamento em todos os ciclos de tingimentos. Percebe-se que os valores ficaram muito próximos a 100%, maiores que o padrão, considerando um resultado bom, pois quanto maior a porcentagem de esgotamento, maior a quantidade de corante que migrou para a fibra.

Tabela 18 Porcentagem de esgotamento dos banhos de tingimento de todos os ciclos de reuso (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Esgotamento (%)	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo
Padrão	97,66	91,11	89,73	87,95	92,04
Amostra 1	98,60	97,54	98,54	92,36	99,02
Amostra 2	98,71	97,35	96,35	95,75	98,86
Amostra 3	94,10	90,07	87,22	83,47	94,75

O Peróxido de Hidrogênio Residual teve um aumento significativo no decorrer dos ciclos conforme tabela 19, verificando uma maior concentração a partir do quarto ciclo de tratamento. Verificou-se ainda que na amostra sem adição de eletrólito (amostra 3), a não degradação foi detectada a partir do segundo ciclo, o que pode ter influenciado no reuso da solução dos novos tingimentos.

Tabela 19 Resumo das concentrações de Peróxido de Hidrogênio Residual obtidos em todos os ciclos de tingimento (amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

	1º ciclo de tratamento	2º ciclo de tratamento			3º ciclo de tratamento		
Tempos de tratamento (min)	Concentração de H₂O₂ / mg.dm⁻³						
	Resíduo Sintético	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
15	180,8055	136,20	161,09	184,62	183,58	195,15	168,91
30	172,824	7,23	104,18	132,25	156,49	146,54	132,26
45	112,5459	0	94,93	106,39	87,30	136,09	125,76
60	37,6655	0	27,15	84,62	52,61	85,96	87,64
90	0,025	0	0,432	58,25	3,52	26,35	59,63
	4º ciclo de tratamento			5º ciclo de tratamento			Resíduo Descartado
Tempos de tratamento (min)	Concentração de H₂O₂ / mg.dm⁻³						
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Resíduo
15	149,86	150,81	182,99	186,49	192,37	199,02	183,24
30	133,39	138,45	156,63	157,36	152,40	196,30	159,63
45	105,26	134,90	129,17	146,35	138,90	189,63	133,85
60	83,39	99,29	112,24	137,85	126,35	182,99	96,54
90	37,85	52,4	95,68	98,06	108,59	150,20	25,93

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos durante este trabalho, conclui-se que para a degradação da cor e a quebra da molécula orgânica do Corante Vermelho Reativo Procion HE – 3B, o processo Oxidativo Avançado (POA's) com UV/ H₂O₂, utilizando 200 mg.dm⁻³ de H₂O₂, apresentou uma eficiência de aproximadamente 90%, sendo por esse motivo adotado neste estudo.

A descoloração das soluções está associada ao rompimento das ligações azo (N=N). Para verificar se a degradação da cor poderia estar gerando carga orgânica foram realizadas análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), tendo uma redução significativa de aproximadamente 72%, comprovando que além da ruptura do grupamento cromóforo, o tratamento é capaz de reduzir corantes reativos em substâncias intermediárias como CO₂, H₂O e sais inorgânicos.

Em geral os valores de porcentagem de esgotamento dos tingimentos foram bons em todas as condições citadas neste trabalho. Quanto as propriedades tintoriais do tecido (K/S e ΔE), que estão diretamente relacionadas a quantidade de corante efetivamente fixada na fibra, os valores foram satisfatórios para a amostra 1 (conforme receita do fabricante) e amostra 2 (ajuste de eletrólito), até o terceiro ciclo de reuso, não sendo conveniente para a amostra 3 (sem adição de eletrólito) em nenhum dos ciclos testados. Os valores de K/S permaneceram até o terceiro ciclo, muito próximos aos valores obtidos com a amostra padrão. Quanto ao ΔE, as amostras 1 e amostra 2 obtiveram valores variando entre 0,65 e 1,02 nos três primeiros ciclos, sendo aceitáveis pela indústria. Já a amostra 3, apresentou no primeiro ciclo de reuso, ΔE de 1,48. O reuso da água tratada só não foi conveniente para os banhos de tingimento feitos sem adição do eletrólito (amostra 3). Levando em consideração à estimativa dos desvios padrões de K/S e ΔE (conforme tabela 17), os resultados são estatisticamente similares.

Quanto à determinação de Peróxido Residual, observou-se que com o aumento de ciclos de reuso o peróxido passa a não degradar totalmente permanecendo um residual no efluente. A partir do terceiro ciclo de reuso, o que pode ter interferido no reuso da solução dos ciclos seguintes.

Conclui-se também que no tratamento utilizado não há uma completa destruição dos íons cloretos, o que para a amostra 2 (ajuste de eletrólito) fez-se necessário a determinação do

cloreto residual, para posterior ajuste na receita do tingimento. O teor de íons cloretos residuais, foram aumentando gradativamente no decorrer dos ciclos.

Em relação aos ensaios de solidez, consideram-se em geral todos satisfatórios, para a maioria dos resultados, os valores foram superiores a 4,0.

Contudo, mesmo diante da alta eficiência do tratamento observou-se que as condições de reuso foram de três ciclos, com utilização total do efluente, sem diluições. Sugere-se então que para o aumento de ciclos de reuso sejam feitas diluições com água não reciclada no efluente tratado, o que ainda significaria uma economia de água para a indústria. Sugere-se ainda, que sejam utilizados os efluentes gerados nos processos de lavagens do tecido tinto, pois este apresenta uma menor coloração quando comparados com o primeiro efluente, além do mais nas etapas de lavagens são consumidos volumes muito elevados de água.

Ressaltando que na literatura os trabalhos estão mais voltados a degradação da molécula e a um único ciclo de reuso, o processo UV/ H₂O₂ mostrou-se promissor para a remoção da cor e da estrutura da molécula para o efluente sintético estudado.

Enfatizando um exemplo de uma empresa têxtil de Blumenau/SC que gasta 75 litros de água/kg de fio, tingindo aproximadamente 7000 kg/dia, a empresa consome diariamente 525000 litros de água. Aplicando nosso trabalho, três ciclos de reuso, chegaríamos a uma economia aproximada de 37 %, equivalente a mais de 1/3 deste volume, levando em consideração uma perda de 20 % de efluente a cada ciclo de tingimento e 10 % de perda a cada ciclo de tratamento.

BIBLIOGRAFIA

- ABRAHÃO, A.J., **Influência de alguns contaminantes na toxicidade aguda de efluentes da indústria têxtil**. São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Coordenadoria de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo.
- ALATON, I. A., BALCIOGLU, I. A. E BAHNEMANN, D. W. Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. **Water Research**. N 36, p.1143-1154, 2002.
- ALEBOYEH, A., ALEBOYEH, H. E MOUSSA, Y. Critical effect of hydrogen peroxide in photochemical oxidative decolorization of dyes: Acid orange 8, Acid Blue 74 and Methyl Orange. **Dyes and Pigments**. N°57, p.67-75, 2003.
- ALMEIDA, E., ASSALIN, M. R., ROSA, M. A., DURÁN, N. - Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**. São Paulo, v. 27 n.5, 2004.
- APHA- **Standart Methods for tehe examination of water na wastewater**, 19th edição, 5220, 1995.
- ARAUJO, R. N., **Degradação do corante Azul Reativo 19 usando UV/H₂O₂; Fenton e Foto-Fenton. Aplicação em efluentes têxteis**. Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Coordenadoria de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Campinas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13062**: Materiais Têxteis – determinação da solidez de cor à ação de lavagem – ensaio n° 3. Rio de Janeiro, 1994.
- ATKINS, P.W., **Physical Chemistry**. 6^a edição. Oxford University Press, 2001.
- BALDISSARELLI, V. Z. ; Debacher, N. A. ; MACHADO, C. **Caracterização da adsorção de corante reativo em carvão ativado**. In: 29 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2006, Águas de Lindóia - SP. Livro de Resumos, 2006
- BATTISTI, A. M.; SPENGLER, G.; BARCELLOS, I. O. **Estudo da isoterma de adsorção do corante ácido amarelo RXL, em blendas de náilon 6.6/quitosana**. Anais Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia, 2006.
- BENATTI, C.T.; TAVARES, C.R.G.; GUEDES, T.A.; **Optimization of Fenton's oxidation of chemical laboratory wastewaters the response surface methodology**. J. Environ.Manage.1-9, 2005.
- BITENCOURT, M. P., **Reaproveitamento do Lodo Gerado no Processo de Tratamento dos Efluentes de Lavanderia (Tingimento e Lavagem)**. Maringá, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá.
- BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J.E.W.A., **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. CETESB, 1993.

CANTELLI, D.L., **Reuso de água de processo industrial: uma proposta para o setor têxtil**. Campinas, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Coordenadoria de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Campinas.

CARREIRA, M. F., **Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis – uma análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na península Ibérica**. Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

CERQUEIRA, A. A., **Utilização de argilas na remoção de íons cromo presentes em efluentes industriais**. 53f. Rio de Janeiro 2000. Monografia (Especialização em Química Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

CHEN, J.L., AL-ABED, S.R., RYAN, J.A., LI, Z., **Effects of pH dechlorination of trichloroethylene by zero-valent iron**. Journal of Hazardous Materials B83, 243-254, 2001.

CHOE, S., LILJESTRAND, H.M., KHIM, J., **Nitrate reduction by zero-valent iron under different pH regimes**. Applied Geochemistry 19, 335-342, 2004.

CIARDELLI, G., CORSI, L., MARCUCCI, M., **Membrane Separation for Wastewater Reuse in the Textile Industry**. Resources, Conservation and Recycling, V. 31, 189-197, 2001.

CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A.G.; LITTER M. I.; **Chemosphere**. 2002 ,48.393.

CLARKE, E. A. e ANLIKER, R.; **Organic Dyes and Pigments**; O. Hutzinger (Ed.) in Handbook of Environmental chemistry, Vol. 3A, Springer Berlin, 2000.

Clarke, E. A. e Steinle, D.; **J. Soc. Dyes Colour** 25, 5, 1995.

Colour Index Industrial, CD-Rom, Third Edition, Society of Dyes and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists, 1971-1996.

CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. J., Characterisation of Textile Wastewaters – A Review, School of Water Sciences, Cranfield University, United Kingdom, July 1994, **Environmental Technology**, vol. 15, p. 917-929, 1994.

DENG, N., LUO, F., WU, F., XIAO, M., WU, X. **Discoloration of aqueous reactive dye solutions in the UV/Fe⁰ system**, Water Research 34, 2408-2411, 2000.

DOONG, R., CHANG, W., **Photodegradation of parathion in aqueous titanium dioxide and zero-valent iron solutions in the presence of hydrogen peroxide**. Journal of Photochemistry and Photobiology a: Chemistry 116, 221-228, 1998.

DURÁN, N.; ESPÓSITO, E.; **Potential applications of oxidative enzymes and phenoxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review.** *Appl. Catal. B: Environ*, 28, 2000, 83-89.

ESPLUGAS, S., GIMÉNEZ, J., CONTRERAS, S., PASCUAL, E., RODRIGUEZ, M. **Comparison of different advanced oxidation process for phenol degradation.** *Water Res.* **36**, 1034-1042, 2002.

FELIZATTO, M.R. ETE CAGIL: **Projeto integrado de Tratamento Avançado e Reuso de Águas Residuais.** Anais do 21º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, p.1-17, 2001.

FENG, W., NANSHENG, D., HELIN, H., **Degradation mechanism of azo dye CI reactivive red 2 by iron powder reduction and photo oxidation in aqueous solutions.** *Chemosphere* 41, 1233-1238, 2000.

FONSECA, F. V. de, **Estudo da degradação de corantes reativos por oxidação com peróxido de hidrogenio fotoativado com radiação ultravioleta.** Rio de Janeiro, 2003. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FREIRE, R. S. et al. **Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais Contendo Espécies Organocloradas.** *Química Nova* v. 23 n.4 , 2000.

FREIRE, D. D. C., SANTANA JR, G. L.,, **A proposed method modification for the determination of COD in saline water.** *Environmental Thechnology* 19, 1243-1247, 1998.

FREITAS, K.R., **Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil.** Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado de Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina.

GEORGIU, D., MELIDIS, P., AIVASIDIS, K. e GIMOUHOPOULOS, K. Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. **Dyes and Pigments.** n.52, p.69-78, 2002.

GOI .A., TRAPIDO, M. **Hydrogen peroxide photolysis, Fenton reagent and photo-Fenton for the degradation of nitrophenols: a comparative study.** *Chemosphere* **46**, 913-922,2002.

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

HASSEMER, M.E.N., **Oxidação fotoquímica – UV/H₂O₂ – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil.** Florianópolis, 2006. Dissertação (Doutorado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uam indústria têxtil por processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, n.1 e n.2, v. 7, p.30, jan/mar e abr/jun 2002.

HERRERA F., LOPEZ A., KIWI J. **Photochemically activated degradation of reactive dyes: statistical modeling of the reactor performance.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 135, p. 45-51, 1997.

HSUEH C.L., HUANG, .H., WANG, C.C., CHEN, C. Y. **Degradation of azo dyes by low iron concentration of Fenton and Fenton-like system.** Chemosphere 58, 1409-1414, 2005.

JUNG, R.; *Food Chem. Toxicol.* 1992. 30, 635.

KANG, S. F, LIAO, C. H., PO, S. T., **Decolorization of textile wastewater by photofenton oxidation technology.** Chemosphere 41, 1287-1294, 2000.

KIMURA, IRENE Y, et al. Efeito do ph e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros**, set.1999, v.9, n.3, p.51-57. ISSN 0104-1428

KOSITZI, M.; ANTONIADIS, A.; POULIOS I.; MALATO,S. **Solar photocatalytic treatment of simulated dyestuff effluents.** Solar Energy 77, 591-600, 2004.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G., DURÁN, N.; **Química Nova**, 2002, p.25, 78.

LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A.M.;. **Photochemical process for water treatment.** Chem. Rev. 93, 671.

LEOPOLDO, P.R., HERRERA, O. M., **Perdas de água tratado no sistema de abastecimento público de Botucatu.** Energia na Agricultura., V. 12, p. 26-44, 1997.

LIN, SH.; PENG, C.F. **Treatment of textile wastewater by Fenton´s reagent.** J. Environ Sci Health A. **30**, 89-101.

LUCAS, M., **Reuso de Soluções de Corantes Básicos, Pós-tratamento Fotoeletroquímico, para tingimentos de fibras acrílicas.** Blumenau, 2006. Dissertação (Mestrado de Química). Departamento de Química. Universidade Regional de Blumenau – FURB.

MALATO, J. **Photocatalytic Treatment of Diuron by Solar Photocatalysis: Evaluation of Main Intermediates and Toxicity,** Environ. Sci. Technol., **37** (11), 2516 -2524, 2003

MELO, A. R.; SOUZA, GUELLI U. SOUZA, S. M. A.; ULSON DE SOUZA, A. A., **Estratégias de Otimização do Reuso de Água na Indústria Têxtil,** XII Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM, Universidade Federal do Paraná, setembro de 2004.

OLIVERIA, M.C.; NOGUEIRA, R.F.P.; NETO, J.A.G.; JARDIM, W.F.; ROHWEDDER, J.J.R. **Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas.** Quím. Nova 24, 188-192, 2001.

PIGNATELLO, J. (1992). **Dark and photoassisted Fe₃₊ catalysed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide.** *Environ.Sci.Technol.* 26, 944-951, 1992.

PINHEIRO, H. M.; TOURAUD, E.; THOMAS, O. - Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. **Dyes and Pigments.** v.61, p.121-139, 2004

POTTER, F.J., ROTH, J.A. **Oxidation of Chlorinated phenols using Fenton's reagent.** *Hazard Waste Mater.* 10, 151-159, 1993.

PURKAIT, M. K., DASGUPTA, S. e DE, S. Removal of dye from wastewater using micellar-enhanced ultrafiltration and recovery of surfactant. **Separation and Purification Technology**, v.37, p.81-92, 2004.

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

TANAKA, S.; YUZAKI, K.; ITO, S.; UETSUDA, H.; KAMEOKA, S.; KUNIMORI, K., Mechanism of N₂O decomposition over a Rh black catalyst studied by a tracer method: the reaction of N₂O with 18 O. **Catal. Today**, v.63, 413-418, 2000.

TAUCHERT, E.; PERALTA-ZAMORA, P. Avaliação de Processos Fotoeletroquímicos no Tratamento de Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 9, n. 3, p. 197, jul/set, 2004.

TOLEDO, R. A. S. 3R-Reduzir, Reciclar, Rproveitar. **Revista Química Têxtil.** Nº 74, p.8-14, 2004.

TORRADES, F., MONTAÑO, J.C., HORTAL, J.A.C., DOMENÈCH, X. PERAL, J. Decolorization and mineralization of commercial reactive dyes under solar light assisted photo-Fenton conditions. **Solar Energy** 77, p.573-581. 2004

SALEM, V., **Tingimento Têxtil.** Apostila de Curso de Tingimento Têxtil, Goldem Química do Brasil. Módulo 1 e 2, novembro,2000.

SANTOS, A. B., CERVANTES, F. J. e VAN LIER, J. B. **A review on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology.** *Bioresource Technology*, v.Accepted for publication. 2006c.

SARAVA, J., ROCHE, N. P., ORMAD, M. P., GIMENO, E., PUIG, A. E OVELLEIRO, J. Treatment of a Wastewater Resulting from Dyes Manufacturing with Ozone and Chemical Coagulation. **Water Research.** v.32, n 9, p.2721-2727, 1998.

SCHRANK S.G., JOSÉ, H.J.; MOREIRA, R.F.P.M.; SCHODER, H.Fr. **Applicability of Fenton and H₂O₂/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters.** *Chemosphere* 60, 644-655, 2005.

SEDLAK, D.L., ANDREN, A.W. **Oxidation of chlorobenzene with Fenton's reagent.** *Environ. Sci. Health A.* 34, 935-50, 1999.

SILVA, A.C., **Degradação de corante em meio salino por ozonização**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Doutorado de Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, Cristiano Pochmann da, MARMITT, Sandro, HAETINGER, Claus *et al.* Assessment of red dye degradation through photochemical process. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.13, n.1, p.73-77 Jan./Mar. 2008. ISSN 1413-4152.

SOUZA, C. R .L. **Degradação de Corantes Reativos e Remediação de Efluentes Têxteis por Processos Avançados envolvendo Ferro Metálico**. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado de Química Analítica). Departamento de Química. Universidade Federal do Paraná – UFPR.

TALARPOSHTI, A. M.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K., **Colour Removal From a Simulated Dye Wastewater Using a Twophase Anaerobic Packed Bed Reactor**. *Water Research*, 35, p. 425-432, 2001.

TWARDOKUS, R.G., **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina.

UEDA, A. C. **Aplicação de micelas reversas na remoção de corantes têxteis catiônicos**. 83f. Florianópolis 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos-Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

VANDEVIVERE, P. C., BIANCHI, R. e VERSTRAETE, W. **Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies**. *J. Cem. Technol. Biotechnol.* n72, p.289-302, 1998.

WESTHERHOFF, P., JAMES, J., **Nitrate Removal in zero-valent iron packed columns**. *Water Research* 37, 1818-1830, 2003.

YINDE, Xie. , FENG Chen., JIANJUN He., JINCAI Zhao., HUI Wang. **Photoassisted degradation of dyes in the presence of Fe³⁺ e H₂O₂ under visible irradiation**. *J.Photochem. Photobiol. A: Chem* **136**, 235-240, 2000.

ZAMORA, P., KUNZ, A. P.; MORAES, S.G.; DURAN, N., **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. **Química Nova**, v.25, p.78 – 82. 2002.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A., FURLAN, M.; DUARTE, E. S.; GUARATINI, C. C. I.; FOGG, A.G. **Determination of the vinylsulphoneazo dye, remazol brilliant orange 3R, by cathodic stripping voltammetry**. *Anal. Chim. Acta* 385-392, 1999.

ZANONI, M.V.B.; CARNEIRO, P. A., **O descarte dos corantes têxteis**. *Ciência Hoje*. v.29, p.62-63. 2001.

ANEXOS

TRABALHOS APRESENTADOS EM EVENTOS CIENTÍFICOS PROVENIENTES DESSES ESTUDOS:

- BALBINOT, E.B.; HENNING, F.G.; SANTOS, A.B.; BARCELLOS, I.O.; ZAMORA, P.P.; Otimização do Método de Tratamento de Soluções de Corante Reativo Procion Vermelho HE-3B e Reutilização em novos tingimentos. **15º Encontro de Química da Região Sul, Ponta Grossa, PR, 2007.**
- BALBINOT, E.B.; HENNING, F.G.; SANTOS, A.B.; BARCELLOS, I.O.; ZAMORA, P.P.; Avaliação dos ciclos de reuso de soluções de corante reativo procion Vermelho He-3B tratadas por H₂O₂/UV em tingimento de tecidos de algodão. **31º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia, SP, 2008.**



OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE TRATAMENTO DE SOLUÇÕES DE CORANTE REATIVO PROCION VERMELHO HE-3B E REUTILIZAÇÃO EM NOVOS TINGIMENTOS



Elaine Teresinha Balbinot (PG)¹, Fernanda Gabriela Henning (C)², Arlene Bispo dos Santos (C)², Ivonete Oliveira Barcellos* (PQ)¹, Patrício Peralta-Zanora (PQ)² *ivz@furb.br*

1-Fundação Universidade Regional de Blumenau - Blumenau, 140 - Victor Konder - Blumenau - 89010-500

2- Universidade Federal do Paraná, 81531-990, Curitiba - PR.

1. INTRODUÇÃO

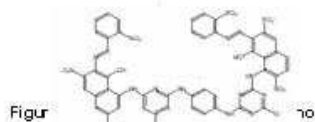
Os corantes empregados nas atividades têxteis, representam um grande problema ao meio ambiente, pois causam grandes impactos ambientais. Tratamentos eficazes com o máximo de eliminação destes corantes, e que possam levar a melhoria das condições físico-químicas da água, levando a uma possível reutilização da mesma, é de grande interesse industrial e ambiental. Dentre estes, os processos fundamentados no sistema H_2O_2/UV tem aparecido como uma excelente alternativa para degradação de resíduos (figura2). O mecanismo caracteriza-se pela clivagem homolítica de uma molécula de peróxido de hidrogênio, na presença de radiação ultravioleta (254nm), com formação de dois radicais hidroxila $H_2O_2 + hv (254\text{ nm}) \rightarrow 2 \cdot OH$

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é otimizar o tratamento de efluentes sintéticos produzidos em laboratório com o corante reativo Procion Vermelho HE-3B, utilizando-se do método $UV-H_2O_2$, para possibilitar reuso destas soluções em tingimentos de tecidos de algodão.

3. METODOLOGIA

1. Produção dos rejeitos de tingimento do Corante Reativo Procion Vermelho HE-3B (Figura 1), em tecidos 100% algodão (máquina tubo test).



2. Tratamento das soluções de corante através do método $UV-H_2O_2$ (fotoquímico): reator 250 mL, bulbo de quartzo com concentração de H_2O_2 : 200 mg.L⁻¹ (quantidade correspondente acrescentada a cada 15 minutos), durante 1 h (1º tratamento) e durante 1 h 30 min (2º tratamento), conforme Figura2.

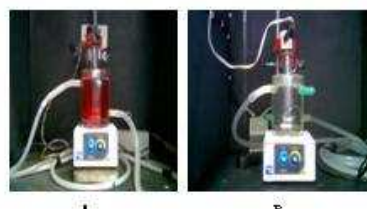


Figura 2: Aparato para tratamento fotoquímico $UV-H_2O_2$ com solução residual de tingimento (A) e solução após tratamento (B).

3. Preparo do banho de tingimento utilizando água tratada com adição de eletrólito (amostra1), diluída em 10% com H_2O destilada (amostra2) e sem adição de eletrólito (amostra3), todas comparadas com o padrão(a) (100% H_2O destilada), realizadas em triplicata. Em um segundo tingimento, foi utilizada água tratada (pH 10,64) ajustando o pH inicial com Ácido Acético (7,02 - amostra 4), ajuste com Ácido Clorídrico (7,01 - amostra 5) comparadas com o padrão(b) (100% H_2O destilada, pH 5,77), realizadas em duplicata. A receita do tingimento seguiu proposta do fabricante do corante.

4. Espectroscopia UV-VISÍVEL: determinação da porcentagem de Eficiência e da porcentagem de Esgotamento dos banhos de tingimento.

5. Espectrofotometria de Remissão (Mathis): Determinação da Intensidade Colorística (K/S) e da Diferença de Cor Residual (ΔE).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo fotoquímico ilustrado a seguir (figura 3 e gráfico 1) mostrou-se adequado para a degradação do corante reativo, resultando em uma eficiência média de 99,7%.

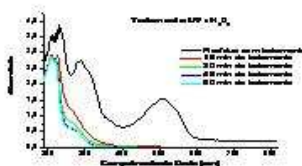


Figura 3: Espectro UV-visível das soluções de corante antes e após o tratamento em diferentes tempos.

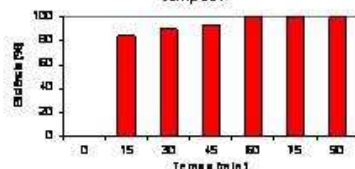


Gráfico 1: Determinação da % de eficiência do tratamento em diferentes tempos de monitoramento.

Observa-se que os valores de porcentagem de esgotamento (gráfico 2) dos tingimentos com H_2O tratada e H_2O destilada, onde se percebe que o esgotamento dos tingimentos foi próximo de 100%, maiores que o padrão, considerando um resultado bom. Pois quanto maior a porcentagem de esgotamento, maior a quantidade de corante que migrou para a fibra.

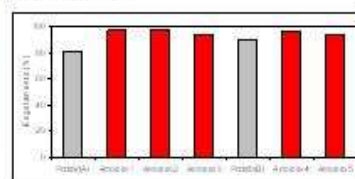


Gráfico 2: Porcentagem de esgotamento das soluções de corante tratadas comparadas ao padrão.

Tabela 1: Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, no primeiro ciclo de reuso.

Banho de tingimento	(K/S) Média \pm desvio-padrão	(ΔE) Média \pm desvio-padrão
Padrão(A)	7,760,07	-
Amostra 1	7,969,74	2,740,07
Amostra 2	7,789,00	2,871,04
Amostra 3	6,819,03	3,740,07
Padrão(B)	6,409,056	-
Amostra 4 Ác. acético	5,389,007	3,189,005
Amostra 5 Ác. Clorídrico	6,479,37	0,6059,34

Considerando os resultados da tabela 1 verificou-se que empregando até 90% de água tratada no tingimento não resultou em reprodutibilidade, comparando com água não reciclada. Observou-se que o pH da solução após o tratamento era muito alcalino (pH 10,64), portanto foram realizados ajustes de pH aproximando-se ao da água destilada, utilizada nos tingimentos. O tingimento demonstrou bons resultados, principalmente na amostra onde o ajuste foi realizado com HCl, pois o valor de $\Delta E < 1$.

5. CONCLUSÃO

Apesar da eficiência do tratamento, fundamentado no método $UV-H_2O_2$ na remoção da cor ter sido elevada (aproximadamente 100%), os resultados dos tingimentos quanto a diferença de cor entre amostra tinta com água tratada comparada a água destilada não foram satisfatórios, sendo assim ainda existe a possibilidade de diluir a água antes de reutilizar, pois 50 % de água reciclada significaria muita economia. As diferenças de tonalidades na solução preparada para o tingimento, na solução residual e nos tecidos analisados ($\Delta E > 1,0$), teve uma melhora significativa quando ajustado o pH inicial das soluções de água tratada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gutiérrez M. C., Crespi M., et al; Química Têxtil, 87, 39-50, 2007.
2. Quím. Nova, Vol. 29, No. 1, 11-14, 2006

7. AGRADECIMENTOS

PPGQ - FURB; TECNOPAR - UFPR



AVALIAÇÃO DOS CICLOS DE REUSO DE SOLUÇÕES DE CORANTE REATIVO PROCION VERMELHO HE-3B TRATADAS POR H₂O₂/UV EM TINGIMENTO DE TECIDOS DE ALGODÃO



Elares Teresinha Balbinot (PG)¹, Fernanda Gabriela Henning (IC)², Arlene Bispo dos Santos (IC)², Ivonete Oliveira Barcellos* (PQ)¹, Patricio Peralta-Zamora(PQ)² *job@furb.br*
 1Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB): Rua Antônio da Veiga, 140 - Victor Konder – Blumenau - 89010-500
 2 Universidade Federal do Paraná, 81531-990, Curitiba - PR.

1. INTRODUÇÃO

Os corantes empregados nas atividades têxteis, representam um grande problema ao meio ambiente, pois causam grandes impactos ambientais. Tratamentos eficazes com o máximo de eliminação destes corantes, e que possam levar a melhoria das condições físico-químicas da água, levando a uma possível reutilização da mesma, é de grande interesse industrial e ambiental. Dentre estes, os processos fundamentados no sistema H₂O₂/UV tem aparecido como uma excelente alternativa para degradação de resíduos (figura 1). O mecanismo caracteriza-se pela clivagem homolítica de uma molécula de peróxido de hidrogênio, na presença de radiação ultravioleta (254nm), com formação de dois radicais hidroxila

$$H_2O_2 + hv (254\text{ nm}) \rightarrow 2 \cdot OH$$

A eficiência do processo de geração do radical hidroxila é dependente do pH e da concentração do substrato a ser tratado. Em geral, um excesso de peróxido favorece a recombinação radical-radical, produzindo novamente peróxido de hidrogênio o que reduz a eficiência da reação.

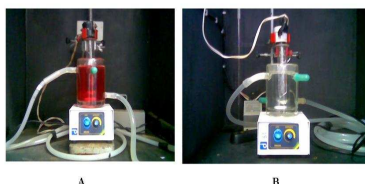
$$\cdot OH + \cdot OH \rightarrow H_2O_2$$


Figura 1: Aparato para tratamento fotoquímico UV- H₂O₂ com solução residual de tingimento (A) e solução após tratamento (B).

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo otimizar o tratamento de efluentes sintéticos produzidos em laboratório através de tingimentos de tecidos de algodão com o corante Reativo Vermelho Procion HE -3B, para possibilitar reuso destas soluções em outros tingimentos.

3. METODOLOGIA

A figura 2, demonstra a composição química do corante Reativo Vermelho Procion HE-3B, utilizado durante este trabalho.

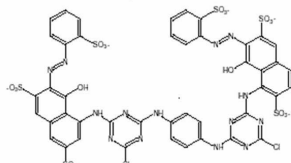


Figura 2: Estrutura química do corante.

A metodologia de trabalho foi estabelecida através de um fluxograma (figura 3) de trabalho.

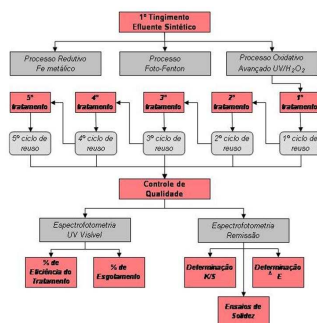


Figura 3. Fluxograma simplificado da metodologia de trabalho

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tratamento de um efluente sintético de corante Reativo Procion Vermelho HE-3B, com UV- H₂O₂ (lâmpada de mercúrio de 125 W, acoplada a um bulbo de quartzo, 200 mg.L-1 de H₂O₂ adicionadas a cada 15 min, durante 1 h 30 min de tratamento), teve uma eficiência de 99,70% (figura 4 e gráfico 1), no primeiro ciclo de tratamento, determinada a partir de dados do espectrofotômetro UV-Visível Shimadzu. Essa redução demonstra a alta eficiência do tratamento desse tipo de corante. Observa-se ainda, uma redução na região do UV, bem como do grupo cromóforo na banda 510 nm.

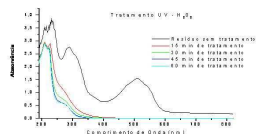


Figura 3: Espectro UV-visível das soluções de corante antes e após o tratamento em diferentes tempos.

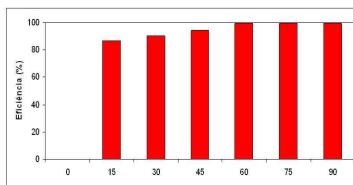


Gráfico 1: Determinação da % de eficiência do tratamento em diferentes tempos no 1º ciclo de tratamento.

Observa-se que os valores de porcentagem de esgotamento (tabela 1) dos tingimentos com H₂O tratada e H₂O destilada, onde se percebe que o esgotamento dos tingimentos foi próximo de 100%, maiores que o padrão, considerando um resultado bom, pois quanto maior a porcentagem de esgotamento, maior a quantidade de corante que migrou para a fibra.

Tabela 1: Porcentagem de esgotamento das soluções de corante tratadas comparadas ao padrão em todos os ciclos de reuso.

Esgotamento (%)	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo
Padrão	97,66	91,11	89,73	87,95	92,04
Amostra 1	98,60	97,54	98,54	92,36	99,02
Amostra 2	98,71	97,35	96,35	95,75	98,86
Amostra 3	94,10	90,07	87,22	83,47	94,75

As soluções tratadas foram reutilizadas para novos tingimento em triplicatas, com adição de eletrólito, segundo a receita (amostra 1), ajuste de eletrólito (amostra 2) e sem adição de eletrólito (amostra 3), todas comparadas com o padrão (100% H₂O destilada). O pH da água tratada foi ajustado com HCl aproximando-se do pH da água destilada usada nos tingimentos. Foram realizados cinco ciclos (tratamento/reuso), conforme tabela 1, onde mostra os resultados das propriedades tintoriais K/S e ΔE das amostras tintas e padrão, obtidos no Espectrofotômetro de Remissão (Mathis).

Tabela 1: Intensidade colorística (K/S) das amostras e diferença de cor residual (ΔE) comparados com o padrão, de todos os ciclos de reuso (padrão = 100% água destilada, amostra 1 = conforme receita fabricante; amostra 2 = ajuste de eletrólito e amostra 3 = sem adição de eletrólito).

Banco de tingimentos	1º ciclo		2º ciclo		3º ciclo		4º ciclo		5º ciclo	
	(K/S) Med*†	(ΔE) Med*†	(K/S) Med*†	(ΔE) Med*†	(K/S) Med*†	(ΔE) Med*†	(K/S) Med*†	(ΔE) Med*†	(K/S) Med*†	(ΔE) Med*†
Padrão	5,57188	-	6,06144	-	7,44458	-	8,83378	-	9,96148	-
Amostra 1	5,16117	0,95149	5,02269	0,76169	8,20198	0,26144	10,13978	1,47248	11,36119	1,76143
Amostra 2	5,10098	0,72188	5,00108	0,92181	8,12247	1,02188	9,12247	1,03188	10,30188	2,03188
Amostra 3	4,99108	1,48188	4,96102	1,03188	8,78848	1,03188	8,99848	2,04188	9,78848	2,44188

Considerando os valores obtidos de acordo com o ΔE, a amostra 1 e amostra 2 estariam liberados pela indústria, até o terceiro ciclo de tratamento, pois os resultados foram inferiores a 1,1, o que não ocorreu no quarto e quinto ciclo de tratamento. Já as amostras 3 apresentaram nestes ciclos, ΔE > 1,1, não sendo estas, liberadas industrialmente.

5. CONCLUSÃO

O tratamento fundamentado no método UV- H₂O₂ mostrou-se eficiente em todos os ciclos de tratamento. Os resultados dos tingimentos quanto ao ΔE entre amostra tinta com água tratada (amostra 1 e amostra 2) comparada a água destilada foram satisfatórios até o terceiro ciclo, tendo sempre um ΔE dentro dos limites aceitáveis industrialmente (ΔE ≤ 1,1), não sendo eficaz para a mostra sem adição de eletrólito (amostra 3).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gutiérrez M. C., Crespi M., et al; Química Têxtil, 87, 39-50, 2007. .
- Quim. Nova, Vol. 29, No. 1, 11-14, 2006

7. AGRADECIMENTOS

PPGQ – FURB; TECNOPAR – UFPR

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)