

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

ALEX BARBOSA CAMPOS SILVA
RICARDO MAURICIO DE FREITAS ANDRADE

**REMOÇÃO DE COR DE UMA SOLUÇÃO COM CORANTE TÊXTIL
POR ADSORÇÃO E OXIDAÇÃO POR PROCESSO FENTON**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

ALEX BARBOSA CAMPOS SILVA
RICARDO MAURICIO DE FREITAS ANDRADE

**REMOÇÃO DE COR DE UMA SOLUÇÃO COM CORANTE TÊXTIL
POR ADSORÇÃO E OXIDAÇÃO POR PROCESSO FENTON**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire
Co-orientador: Prof. Dr. André Nagalli

**CURITBA
2013**

FOLHA DE APROVAÇÃO

REMOÇÃO DE COR DE UMA SOLUÇÃO AQUOSA COM CORANTE TÊXTIL POR ADSORÇÃO E PROCESSO FENTON

Por

ALEX BARBOSA CAMPOS SILVA

RICARDO MAURICIO DE FREITAS ANDRADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 09 de abril de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Flávio Bentes Freire, Dr.
UTFPR

Prof. André Nagalli, Dr.
UTFPR

Profa. Karina Querne de Carvalho Passig, Dra.
UTFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

RESUMO

ANDRADE, Ricardo Mauricio de Freitas. SILVA, Alex Barbosa Campos. **Remoção de Cor de uma Solução com Corante Têxtil por Adsorção e Oxidação por Processo Fenton**. 65 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A indústria têxtil e de confecções no Brasil, obteve um faturamento de US\$ 67 bilhões em 2011, sendo o 5º maior produtor têxtil do mundo. Tais indústrias geram no final de seus processos, efluentes com elevada carga orgânica, cor e substâncias tóxicas. Na etapa de remoção de cor do efluente gerado utilizam-se de processos químicos e físicos, como a adsorção e a microfiltração, sendo o carvão ativado o principal material utilizado. Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de cor de uma solução com corante têxtil através do uso de materiais alternativos nos processos de adsorção e no (POA) processo oxidativo avançado, denominado Fenton. Buscou-se averiguar as contribuições destes materiais na remoção de cor da solução, por experimentos laboratoriais utilizando o equipamento “Jartest”. Os ensaios de adsorção objetivaram especular a influência da granulometria e da quantidade de massa necessária para remoção de cor satisfatória, com duração de 4 a 5 horas, tendo alíquotas retiradas a cada 1 hora. As combinações de granulometrias foram de pó a 1,2mm, de 1,21mm a 2,4mm e de 2,41mm a 4,8 e as massas foram de 200g, 250g e 300g adicionados a 1L de solução aquosa de corante têxtil direto na cor marinho, na concentração 5g/L, totalizando nove ensaios. Na reação Fenton utilizou-se de massas de resíduo de ferro de 200, 250 e 300 gramas para 1L de solução aquosa de corante têxtil direto na cor marinho, na concentração 5g/L. A efetivação da reação foi concluída com o acréscimo 10 ml de peróxido de hidrogênio 40 volumes, sendo realizados 3 ensaios simultâneos com duração de 2 horas e com retiradas de alíquotas a cada 1 hora. Em testes iniciais com o gesso, apesar do potencial adsorvente, constatou-se uma inviabilidade de utilização em função de sua reidratação, que dificultaria a separação do adsorvente do efluente gerado no final da adsorção. Nos ensaios com cerâmica com massa de 250g, obteve-se eficiência média de 97,3 % na remoção de cor. Na reação Fenton com massa de 250g de resíduo de serralheria, obteve-se eficiência média de 99,99%. Alcançou-se, portanto, resultados satisfatórios em ambos os processos, abrindo precedente para utilização de cerâmica e resíduo de ferro na remoção de cor.

Palavras-chave: Adsorção, Adsorventes Alternativos, Efluentes Têxteis, Fenton, Remoção de Cor, Resíduo da Construção Civil.

ABSTRACT

ANDRADE, Ricardo Mauricio de Freitas. SILVA, Alex Barbosa Campos.. **Removal Color Solution with a textile dye by adsorption and Oxidation Process for Fenton.** 65 pages. Work of Course Completion (Bachelor of Civil Engineering Production) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2013.

The textile and apparel in Brazil, achieved sales of \$ 67 billion in 2011 and is the 5th largest textile producer in the world. These industries generate at the end of their processes, wastewater with high organic content, color and toxic substances. In the color removal stage of the generated effluent, chemical and physical processes such as microfiltration and adsorption are used, with activated carbon being the main material. This study aimed to evaluate the color removal of textile dye solution through the use of alternative materials in adsorption processes and advanced oxidation process (AOP), called Fenton Process. We sought to determine the contributions of these materials on color removal from solution by laboratory experiments using equipment "Jartest". The adsorption experiments aimed to speculate the influence of the particle size and the amount of mass needed for a satisfactory color removal, lasting 4 to 5 hours, with samples taken every 1 hour. The combination of powder particle sizes were 1.2 mm, 1.21 mm and 2.4 mm of 2.41 to 4.8 mm and the masses were 200g, 250g and 300g added to 1 L of aqueous solution of dye based on direct color navy blue, concentration 5g / L, in a total of nine experiments. In the Fenton reaction mass used was iron residue 200, 250, and 300 grams to 1 L of aqueous solution of dye based color direct navy blue, at the concentration 5 g / L. The completion of the reaction was made by adding 10 ml of hydrogen peroxide 40 volumes, made three simultaneous experiments lasting two hours and removed samples every 1 hour. In initial tests with gypsum, despite the potential adsorbent evidenced, was observed an unfeasible of use due to its rehydration, which would hinder the separation of the effluent from the adsorbent at the end of adsorption. In the tests with the ceramic mass 250g was obtained an average efficiency of 97.3% on color removal. In the Fenton reaction with mass 250g sawmill residue, obtained average efficiency of 99.99%. In conclusion, satisfactory results were reached in both cases, opening precedent for the use of ceramic and iron residue on color removal.

Keywords: Adsorption, Alternative Adsorbents, Textile Effluent, Fenton, Color Removal, Construction Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Simplificação da Cadeia Têxtil	19
Figura 2 - Visão do corpo Receptor dos efluentes	29
Figura 3 - Detalhe do lançamento de efluentes.....	29
Figura 4 - Organograma das classes de tratamento de efluentes.....	33
Figura 5 – Estação de Tratamento EMBASA IBEROSTAR, sistema tipo híbrido associado DAFA.....	34
Figura 6 – Floculador Tipo Turbina Axial.....	36
Figura 7 – Reator Eletroquímico Piloto (1000L) Modelo SEACOLOR.....	36
Figura 8 – Carvão Ativado adsorvente mais usado na remoção de cor.....	38
Figura 9 - Espectro de absorção das espécies de ferro em solução aquosa.....	39
Figura 10 - Fluxograma típico do tratamento de efluentes com oxidação Fenton.....	40
Figura 11 - Fluxograma do planejamento experimental	42
Figura 12 - Corante direto na cor verde na concentração 1 g/L.....	43
Figura 13 - Resíduo de gesso depositado no pátio de uma empresa de forros, sancas e divisórias em gesso, em Colombo-PR.....	44
Figura 14 - Cerâmica de Argila nas Granulometrias: (A) pó a 1,2 mm; (B) 1,21 mm a 2,4 mm e (C) 2,41 a 4,8 mm.....	45
Figura 15 - <i>Jartest</i> marca Policontrol modelo Floc Control II.....	46
Figura 16 - Resíduo de aço em pó.....	47
Figura 17 - Determinação do melhor comprimento de onda para o corante direto marinho.....	49
Figura 18 - Água com corante na concentração de 5 mg/L.....	50
Figura 19 - Remoção de cor através da adsorção utilizando cerâmica de argila com diâmetros entre 4,8 e 2,41 mm.....	51
Figura 20 - Remoção de cor através de adsorção utilizando cerâmica de argila com diâmetros entre 2,4 e 1,21 mm.....	53
Figura 21 - Variação temporal da absorbância para partículas menores que 1,2 mm.....	54
Figura 22 - Variação temporal da absorbância para partículas menores que 4,8 mm.....	55
Figura 23 - Gesso reidratado e solução de corante direto marinho 5 mg/L (esquerda) e solução de corante direto marinho 5 g/L.....	56
Figura 24 - Comparação entre a solução inicial, a solução após o processo de reação Fenton e água potável da SANEPAR.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de estabelecimentos na indústria do Vestuário, do Têxtil e do Couro no Paraná por Mesorregião.	17
Tabela 2 - Número de trabalhadores na indústria do Vestuário, Têxtil e Couro no Paraná por Mesorregião.	18
Tabela 3 - Entradas e saídas considerando as características dos corantes.	30
Tabela 3 - Entradas e saídas considerando as características dos corantes.	31
Tabela 4 – Classificação dos Sistemas de Processos Oxidativos Avançados.	36
Tabela 5 - Características da Adsorção Física e Adsorção Química.	37
Tabela 6 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção, utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria de Ø 4,8 mm - Ø 2,4 mm.	51
Tabela 7 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção, utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 e granulometria de Ø 2,4 mm - Ø 1,2 mm.	52
Tabela 8 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria de menores que Ø 1,2 mm.	53
Tabela 9 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria menor que Ø 4,8 mm.	55
Tabela 10 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Processos de Fiação	20
Quadro 2 - Principais Processos de Beneficiamento	21
Quadro 3 - Principais Processos de Enobrecimento	23
Quadro 4 - Relação de cargas orgânicas específicas	27
Quadro 5 - Corantes, sua fixação típica e os Poluentes a eles associados	28
Quadro 6 – Massas e granulometrias dos materiais adsorventes.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABTI - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
SINDUSCON-SP - Sindicato da Construção de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DAFA - Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente
DBO – Demanda Biológica de Oxigênio
EPI - Equipamentos de proteção individual
FIEP - Federação de Indústrias do Paraná
POAs- Processos Oxidativos Avançados
TEXBRASIL – Programa de importação da indústria brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	JUSTIFICATIVAS.....	13
3	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
4.1	AS INDÚSTRIAS TÊXTEIS NO BRASIL.....	15
4.2	AS INDÚSTRIAS TÊXTEIS NO PARANÁ	16
4.3	PROCESSOS TÍPICOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL	19
4.3.1	FIAÇÃO.....	20
4.3.2	BENEFICIAMENTO	21
4.3.3	TECIMENTO	22
4.3.4	ENOBRECIMENTO	22
4.3.5	CORANTES TÍPICOS UTILIZADOS NA CADEIA TÊXTIL	23
4.4	OS EFLUENTES GERADOS.....	27
4.5	AS FORMAS DE TRATAMENTO MAIS FREQUENTEMENTE NO SETOR TÊXTIL	33
4.6	ADSORÇÃO.....	37
4.7	FENTON.....	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
5.1	ÁGUA RESIDUÁRIA SINTÉTICA	43
5.2	CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS ADSORVENTES	44
5.3	ENSAIOS DE ADSORÇÃO	46
5.4	REAÇÃO FENTON	47
5.5	ESTIMATIVA DA REMOÇÃO DE COR DO EFLUENTE SINTÉTICO	48
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
6.1	COMPRIMENTO DE ONDA IDEAL	49
6.2	DESEMPENHO DAS UNIDADES DE ADSORÇÃO COM CERÂMICA DE ARGILA	50
6.3	DESEMPENHO DAS UNIDADES DE ADSORÇÃO COM GESSO	56
6.4	REAÇÃO FENTON	57
7	CONCLUSÕES.....	59
7.1	UNIDADES DE ADSORÇÃO COM CERÂMICA DE ARGILA.....	59
7.2	REAÇÃO FENTON	60
7.3	UNIDADES DE ADSORÇÃO COM GESSO	60
7.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas envolvendo a reutilização de resíduos industriais são de fundamental importância para redução do uso de recursos naturais esgotáveis.

O setor têxtil tem um papel importante nesse contexto, com influências efetivas na economia mundial, no uso de recursos naturais (como o consumo de água, por exemplo), na emissão de efluentes e na geração de tecnologia.

Alguns processos têxteis demandam aproximadamente 80 litros de água para produzir cerca 1 kg de tecido, sendo que 12% dessa água evapora durante o processo produtivo e o restante é descartado na natureza em forma de efluente (IMMICH, 2006). Vale ressaltar que a superfície da Terra é constituída de aproximadamente 75% de água e apenas 2,5% dessa água não é salina

Segundo Gomes (2009), os tratamentos de efluentes têxteis podem ser divididos em três grandes áreas os: biológicos, químicos e físicos.

De acordo com Moraes (1999), o setor têxtil é conhecido por apresentar potencial poluente elevado, abrangendo cinco campos distintos: efluentes líquidos, emissões particuladas e gasosas, resíduos sólidos, odores e ruídos. Nas etapas da cadeia têxtil, o tingimento e posterior lavagem geram poluentes de difícil administração e tratamento ao efluente, principalmente com relação aos fragmentos de corante.

Há diversas pesquisas na área, propondo novos tratamentos a estes efluentes por processos biológicos, principalmente anaeróbios, processos químicos e operações físicas, como a adsorção e a microfiltração. Nos processos de adsorção, há quase unanimidade do uso de carvão ativado.

O carvão é um agente da degradação ambiental, enquanto o carvão vegetal gera poluentes pela queima da madeira, o carvão mineral é uma fonte natural esgotável.

Torna-se importante, portanto, a pesquisa de materiais que tenham menor impacto ambiental para serem utilizados no tratamento de efluentes têxteis; tal como Conceição *et al.*, (2013), que utilizaram a cerâmica de argila como um adsorvente potencial para remoção de cor e obteve resultados satisfatórios.

Visando encontrar materiais alternativos para remoção de cor, além da adsorção, este trabalho investigou o processo de oxidação avançada (POA),

denominado Fenton. Esse processo emprega como reagentes fontes de ferro e peróxido de hidrogênio nas reações químicas. Porém, neste trabalho, foram utilizadas como fonte ferro resíduos de serralheria.

2 JUSTIFICATIVAS

Segundo o SINDUSCON-SP (2005) a atividade da construção civil gera a parcela predominante da massa total dos resíduos sólidos urbanos produzidos nas cidades. Cerca de 20% dos tijolos cerâmicos de uma obra de construção civil são desperdiçados (HOLANDA, 2011), gerando um resíduo sólido de alto impacto ambiental. O que justifica o uso de cerâmica de argila como um possível adsorvente no tratamento de efluente.

O gesso teve sua classificação alterada e passou a ser considerado reciclável (CONAMA nº 431/11). Todavia, unidades de processamento de resíduos de gesso ainda são raras no Brasil. Abre-se, portanto, campo para pesquisas no âmbito do uso deste material. De acordo com Sá *et al.*, 2009 o desperdício do gesso pode chegar a 30% em determinadas obras, deixando claro porque além da cerâmica de argila foi utilizado também o gesso como adsorvente experimental.

Para Souza (2007) o adsorvente de maior eficiência na remoção de cor é o carvão ativado. O carvão ativado é um recurso natural proveniente de um impacto ambiental danoso na sua produção, o que torna clara a necessidade de se pesquisar novos adsorventes.

Alguns impactos ambientais altamente danosos provenientes da produção de carvão são: emissão de poluentes no ar (queima e o fino que sobra como resíduo), retirada de mata nativa, falta de EPI armazenamento inadequado dos resíduos de carvão e uso de tecnologia obsoleta (LIMA *et al.*, 2009).

Além do processo físico de adsorção, também foi testado nos laboratórios da UTFPR, o processo químico conhecido como Fenton, onde é usado o ferro como catalisador e parte da reação para a produção da hidroxila na remoção de cor de efluentes.

Este trabalho justifica-se também na busca pela consolidação de pesquisas na área de saneamento e meio ambiente na UTFPR, valendo-se dos investimentos recentes no laboratório da área e assim estimular pesquisas futuras na universidade nesta área.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho consiste em avaliar a eficiência da adsorção e do processo Fenton no tratamento (especificamente a remoção de cor) de uma solução com corante têxtil.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Constituem-se objetivos específicos deste trabalho:

- Na adsorção, avaliar o desempenho de dois adsorventes alternativos: cerâmica de argila e gesso;
- Avaliar a influência do tipo, tamanho (granulometria) e da concentração do adsorvente, bem como do tempo de ensaio e da intensidade da agitação;
- Avaliar o desempenho da fonte impura de Fe^{2+} proveniente do corte de chapas metálicas, produto atuante na reação química juntamente com o peróxido de hidrogênio no processo Fenton.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 AS INDÚSTRIAS TÊXTEIS NO BRASIL

Historicamente o setor têxtil teve importante papel no desenvolvimento industrial dos países. Nas origens dos processos de industrialização, a exemplo da Revolução Industrial inglesa nos séculos XVIII e XIX, este setor já absorvia grande parte da mão-de-obra. No Brasil, apesar de ter sido dada ênfase à industrialização de base na década de 50 e à introdução da indústria automobilística na década de 60, a indústria têxtil contribuiu para o desenvolvimento industrial (CAMPOS, 2004).

Até década de 50 o setor têxtil vinha crescendo inclusive por todo o período da Segunda Guerra Mundial. No início da década de 1940, o país era o segundo maior produtor mundial de tecidos, sendo o principal abastecedor do mercado latino-americano (GARCIA, 1994 *apud* CAMPOS, 2004).

Para Campos (2004), no início do século XX, com a chegada principalmente da indústria automobilística, que trazia novidades em termos produtivos e maior poder de articulação econômica, a importância da indústria têxtil teve sua participação na economia reduzida. Mesmo assim a indústria têxtil sempre exerceu um papel importante na economia e na geração de empregos. A participação do setor têxtil no total do PIB caiu de 3,7% em 1970 para 1,7% em 1994 enquanto que a participação deste mesmo setor caiu de 12,6% em 1970 para 7,3% em 1994 quando comparado com a produção da indústria de transformação (Michellon ,1999 *apud* Campos, 2004).

A indústria têxtil do Brasil, a partir da década de 1990 apresentou um crescimento reduzido, quando comparado à evolução histórica, causado em grande parte pela abertura das importações. O acirramento da concorrência gerou um movimento generalizado das empresas em busca de eficiência e competitividade, de modo a assegurar espaço num mercado em que as exigências de consumo se tornaram mais sofisticado (KON, 1998).

De acordo com a Associação Brasileira de Indústria Têxtil (ABIT, 2011), o mercado interno, apesar da balança comercial negativa, garante a representatividade da indústria têxtil no Brasil, já que é responsável por 92% do consumo da produção nacional. Em 2011 as exportações foram da ordem de US\$ 3

bilhões e as importações por US\$ 6,5 bilhões. Mesmo assim a indústria têxtil brasileira apresentou um aumento de 30,4% nas exportações em relação a 2010, com seus US\$ 2.3 bilhões. Enquanto as importações tiveram crescimento semelhante da ordem de 30% em relação a 2010, com seus US\$ 5 bilhões. As mais de 30 mil empresas brasileiras no ramo fecharam o ano de 2011 com faturamento de US\$ \$ 63 bilhões. Ainda em 2011, o setor investiu US\$ 500 milhões, sendo que os investimentos nos últimos 10 anos são da ordem de US\$ 13 bilhões, tornando a indústria têxtil responsável por 17,5% do Produto Interno Bruto (PIB) de toda a indústria de transformação e cerca de 5% do PIB total brasileiro.

Segundo a TEXBRASIL (2011), o Brasil é o 5º maior produtor têxtil do mundo, o 4º maior produtor de confeccionados do mundo, é o 2º maior produtor e 3º maior consumidor de denim do mundo, tecido utilizado em artigos jeans produzindo 9,5 bilhões de peças por ano. Representa 10,6% dos empregos da indústria de transformação, embora só tenha criados 2148 empregos diretos em 2011, é o 2º maior empregador da indústria de transformação brasileira, emprega diretamente 1,7 milhões de empregados diretos, dos quais 75% são mão-de-obra feminina.

Os processos de beneficiamento da indústria têxtil possuem um consumo de água elevado. De acordo com o SINDITÊXTIL-SP (2009), o consumo de água para se produzir uma tonelada do produto final pode chegar a 630 m³ de água. Segundo Immich (2006) cerca 12% evapora se e o restante é descartado como efluente na natureza após tratamento

4.2 AS INDÚSTRIAS TÊXTEIS NO PARANÁ

Aproximadamente 15,47% da produção industrial total no Estado do Paraná estão creditadas ao setor têxtil e de confecção. Segundo a FIEP em torno de 15% de um total de 30.000 indústrias são do segmento têxtil e confecção.

A região Norte do Estado concentra o segundo maior polo confeccionista do país, ficando atrás apenas de São Paulo. Com uma produção de 4 milhões de peças/mês e um capital de vendas em torno dos R\$ 120 milhões. Gerando uma produção de mais de 60 milhões de peças/ano e negócios da ordem de R\$ 1,4 bilhão (AEN, 2008 *apud* SHIMMEL, 2008).

Em 2009, no Paraná, haviam 5.588 indústrias ligadas ao setor têxtil e do vestuário, sendo a maioria delas micro e pequenas empresas. O setor é o segundo maior empregador da área industrial no Paraná, responsável por 15,36% do total de trabalhadores da indústria. Estas indústrias empregam mais de 90 mil trabalhadores, o que representa perto de 6,74% de todos os empregados do setor no País (FIEP, 2012 *apud* Paraná *Business Colection*, 2012).

Ainda de acordo com a FIEP (2012) *apud* Paraná *Business Colection* (2012), há indústrias do vestuário em todas as regiões do Estado. Em 2009, o setor têxtil e do vestuário exportou R\$ 119,5 milhões e importou R\$ 101,7 milhões. A região Norte concentra 2.342 indústrias, que representam 42% do total do Estado. A região Noroeste é também um importante polo do setor respondendo por 19,1% das unidades industriais do setor. A terceira região é a grande Curitiba, onde estão concentradas 15,17% das indústrias. As Tabelas 1 e 2 mostram dados das Mesorregiões do Paraná, de 2006 a 2008, com relação ao número de estabelecimentos na indústria e de trabalhadores do vestuário, do têxtil e do Couro no Paraná.

Tabela 1 - Número de estabelecimentos na indústria do Vestuário, do Têxtil e do Couro no Paraná por Mesorregião.

Meregiões do Paraná	Principais Cidades	2006	2007	2008
Noroeste	Umuarama, Paranavaí, Cianorte.	953	1.017	1.068
Centro Ocidental	Campo Mourão, Goioerê.	161	167	217
Norte Central	Londrina, Maringá, Apucarana, Cambé, Arapongas.	2.209	2.281	2.342
Norte Pioneiro	Cornélio Procópio, Santo Antônio da Platina, Jacarezinho, Bandeirantes.	188	210	233
Centro Oriental	Ponta Grossa, Castro, Telêmaco Borba.	97	99	109
Oeste	Foz do Iguaçu, Cascavel, Toledo, Mal. Când. Rondon	486	531	571
Sudoeste	Francisco Beltrão, Pato Branco, Dois Vizinhos.	250	261	294
Centro-Sul	Guarapuava, Pitanga, Palmas.	71	79	96
Sudeste	Irati, União da Vitória, Prudentópolis.	76	76	84
Metropolitana de Curitiba	Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Paranaguá, Pinhais.	695	714	848
Total (Paraná)		5.186	5.435	5.862

Fonte: FIEP (2012) *apud* Paraná *Business Collection* (2012).

Tabela 2 - Número de trabalhadores na indústria do Vestuário, Têxtil e Couro no Paraná por Mesorregião.

Mesorregiões do Paraná	Principais Cidades	2008	2009
Noroeste	Umuarama, Paranavaí, Cianorte.	17.835	17.867
Centro Ocidental	Campo Mourão, Goioerê.	3.139	2.840
Norte Central	Londrina, Maringá, Apucarana, Cambé, Araçongas.	35.977	35.425
Norte Pioneiro	Cornélio Procópio, Santo Antônio da Platina, Jacarezinho, Bandeirantes.	5.244	5.447
Centro Oriental	Ponta Grossa, Castro, Telêmaco Borba.	1.429	1.464
Oeste	Foz do Iguaçu, Cascavel, Toledo, Mal. Cândido Rondon.	8.801	9.100
Sudoeste	Francisco Beltrão, Pato Branco, Dois Vizinhos.	7.150	7.142
Centro-Sul	Guarapuava, Pitanga, Palmas.	1.062	1.207
Sudeste	Irati, União da Vitória, Prudentópolis.	1.438	1.555
Metropolitana de Curitiba	Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Paranaguá, Pinhais.	7.504	7.739
Total (Paraná)		89.579	89.786

Fonte: FIEP (2012) *apud* Paraná Business Collection (2012).

4.3 PROCESSOS TÍPICOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL

O processo têxtil basicamente é dividido em fiação, tecelagem e beneficiamento, exemplificados no diagrama da Figura 1. No processo de fiação a matéria-prima (algodão) é processada nos abridores, batedores, cardas, passadores, maçarqueiras, filatórios, retorcedeiras e conicaleiras (FERRARI, 2007).

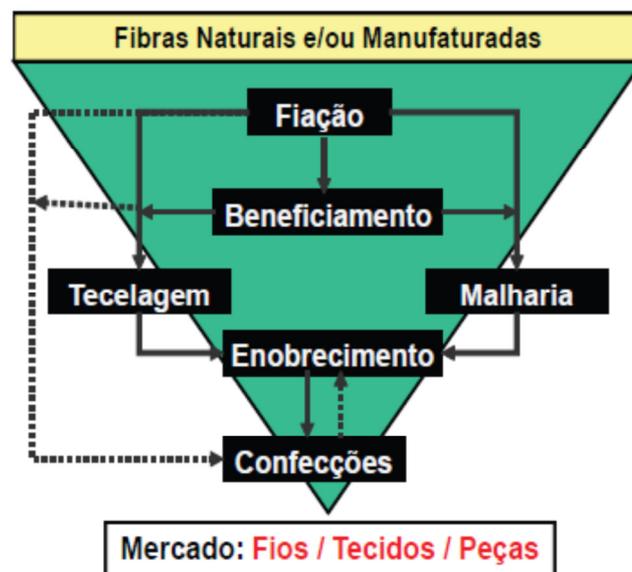


Figura 1 - Simplificação da Cadeia Têxtil
Fonte: CETESB (2009).

De acordo com a CETESB (2009), as principais etapas do processo têxtil são: fiação, beneficiamento, tecelagem, malharia, enobrecimento e confecção.

4.3.1 FIAÇÃO

A fiação é a etapa para obtenção do fio a partir das fibras têxteis que pode ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias. No Quadro 1, são listados os principais processos da fiação e suas finalidades.

Principais Processos		Finalidade básica dos Processos
Fibras Naturais		Remover impurezas da fibra; Separar fibras de menor tamanho; Paralelizar, estirar e torcer as fibras para confeccionar o fio; Unir fios para a formação de fios retorcidos; Enrolar os fios (mudança na forma de acondicionamento); Fixar o fio, por meio de calor.
- abertura; - carda; - passadeira; - reunideira; - penteadeira;	- maçarqueira; - filatório; - conicaleira; - retorcedeira; - vaporizador;	
Principais Processos		Finalidade básica dos Processos
Fibras Sintéticas / Artificiais		Elaboração dos fios; Estirar, torcer e unir os fios; Enrolar os fios (mudança na forma de acondicionamento); Fixar o fio, por meio de calor.
- chips - extrusão - bobinagem	- estiragem - enrolamento - texturização	

Quadro 1 - Principais processos de fiação.

Fonte: adaptado de CETESB (2009).

4.3.2 BENEFICIAMENTO

O Beneficiamento é etapa em que os fios podem estar preparados para seu uso final, envolvendo os processos listados no Quadro 2 (CETESB, 2009). Nesta etapa é iniciado o tingimento do material têxtil, processo de interesse deste trabalho, pois é a etapa em que ocorre o tingimento, sendo que a fiação e a tecelagem são processos a seco.

Principais Processos		Processos Finalidade Básica dos Processos
1.	Chamuscagem	Eliminar fibrilas da superfície do material têxtil, por meio de queima.
2.	Purga / Limpeza	Remover materiais oleosos (graxos ou não) e impurezas através de reações de saponificação, emulsão e solvência para proporcionar hidrofiliabilidade ao substrato. <i>Nota:</i> As lavanderias utilizam este processo para remoção das impurezas, dependendo do grau de sujidade do material, outros produtos químicos poderão ser adicionados: agentes oxidantes, enzimas, ácidos, etc.
3.	Alveamento	Remover coloração amarelada (natural) do material têxtil.
4.	Mercerização e Caustificação (operações individuais)	Tratamento alcalino do material têxtil com objetivo de melhorar propriedades físico-químicas da fibra (brilho, aumento da afinidade por corante, estabilidade dimensional etc.). <i>Nota:</i> a diferença básica entre a mercerização e caustificação é que a primeira trabalha com maior concentração de álcali, sobtensão e em equipamento específico (mercerizadeira).
5.	Tingimento	Conferir coloração ao material têxtil.
6.	Estamparia	Conferir coloração ao material têxtil de forma localizada.
7.	Secagem	Retirar umidade do material, através de energia térmica.
8.	Compactação	Proporcionar encolhimento do material (através de ação física), a fim de evitar encolhimento posterior da peça confeccionada, quando submetida à lavagem.
9.	Calandragem	Eliminar vincos e conferir brilho (mais utilizada em tecido de malha).
10.	Felpagem	Conferir aspecto de felpa à superfície do material podendo atuar como isolante térmico (utilizado em moletons, malhas soft etc.) ou apenas alterar o aspecto (felpado).
11.	Amaciamento	Conferir toque agradável ao material.

Quadro 2 - Principais Processos de Beneficiamento

Fonte: Adaptado de CETEB (2009).

A tecnologia moderna no tingimento consiste de várias etapas que são escolhidas de acordo com a natureza da fibra têxtil e as características dos corantes e pigmentos como: estrutura química, classificação, disponibilidade comercial, propriedades de fixação compatíveis com o destino do material a ser tingido,

considerações econômicas e muitas outras. Independente das características do(s) corante(s) escolhido(s), todo processo de tintura envolve como operação final uma etapa de lavagem em banhos correntes para retirada do excesso do corante original (FERRAZ, 2011 *apud* GUARATINI *et al.*, 2000).

4.3.3 TECIMENTO

O processo de tecimento, tecelagem ou malharia é etapa de elaboração de tecido plano, tecidos de malha circular ou retilínea, a partir dos fios têxteis. De acordo com a CETESB (2009), os principais processos nesta etapa são:

- Urdimento: Dispor fios de urdume, provenientes de cones, em rolos de urdume;
- Engomagem: Aplicar película de goma (natural ou sintética) nos fios de urdume, para posterior tecimento;
- Tecimento: Confeccionar tecido plano em teares de pinça, de ar, de água ou outro. Em malhas através de teares circulares.

4.3.4 ENOBRECIMENTO

O Enobrecimento é a etapa de preparação, tingimento, estamparia e acabamento de tecidos, malhas ou deixando-os prontos para serem confeccionados (CETESB, 2009). Nesta etapa alguns processos realizados no beneficiamento são feitos ao material têxtil em sua nova forma, conforme Quadro 3.

(Continua)

Principais Processos		Processos Finalidade básica dos Processos
1.	Chamuscagem	Eliminar fibrilas da superfície do material têxtil, por meio de queima.
2.	Desengomagem (tecidos planos)	Remover a "goma" aplicada ao fio de urdume durante o processo de engomagem de fios (aplicado para favorecer o tecimento).
3.	Purga / Limpeza	Remover materiais oleosos (graxos ou não) e impurezas através de reações de saponificação, emulsão e solvência para proporcionar hidrofiliabilidade ao substrato. <i>Nota:</i> As lavanderias utilizam este processo para remoção das impurezas, dependendo do grau de sujidade do material, outros produtos químicos poderão ser adicionados: agentes oxidantes, enzimas, ácidos, etc.

(Conclusão)

4.	Alvejamento	Remover coloração amarelada (natural) do material têxtil.
5.	Mercerização e Caustificação (operações individuais)	Tratamento alcalino do material têxtil com objetivo de melhorar propriedades físico-químicas da fibra (brilho, aumento da afinidade por corante, estabilidade dimensional etc.). <i>Nota:</i> a diferença básica entre a mercerização e caustificação é que a primeira trabalha com maior concentração de álcali, sob tensão e em equipamento específico (mercerizadeira).
6.	Efeito “seda”	Tratamento alcalino do material têxtil de poliéster com objetivo de conferir toque sedoso.
7.	Tingimento	Conferir coloração ao material têxtil.
8.	Estamparia	Conferir coloração ao material têxtil de forma localizada.
9.	Secagem	Retirar umidade do material, através de energia térmica.
10.	Sanforização	Proporcionar encolhimento do material (através de ação física), a fim de evitar encolhimento posterior da peça confeccionada, quando submetida à lavagem.
11.	Calandragem	Eliminar vincos e conferir brilho (mais utilizada em tecido de malha).
12.	Felpagem	Conferir aspecto de felpa à superfície do material podendo atuar como isolante térmico (utilizado em moletons, malhas soft etc.) ou apenas alterar o aspecto (felpado).
13.	Navalhagem	Cortar / Aparar pelos.
14.	Esmerilhagem	Espécie de “lixamento” da superfície do material, a fim de melhorar o toque, tirando o brilho.
15.	Amaciamento	Conferir toque agradável ao material.
16.	Repelência água/ óleo	Conferir repelência à água e às sujidades.
17.	Acabamento anti-ruga	Evitar amarrotamento.
18.	Encorpamento	Conferir toque volumoso ou encorpado ao material.
19.	Acabamento anti-chama	Evitar propagação de chama.

Quadro 3 - Principais Processos de Enobrecimento

Fonte: Adaptado de CETEB (2009)

4.3.5 CORANTES TÍPICOS UTILIZADOS NA CADEIA TÊXTIL

O tingimento de tecidos é desenvolvido a milhares de anos, com o uso de corantes naturais. Em razão da grande demanda nos últimos 100 anos vários compostos químicos são empregados em corantes sintéticos. Cada tipo de fibra requer um corante com características bem definidas para que o corante possa se fixar melhor a fibra (GUARATINI *et al.*, 2000).

A indústria têxtil utiliza diversos tipos de corantes ou anilinas, auxiliares químicos que ao serem processados geram um efluente líquido com características específicas, necessitando tratamento específico para atender a legislação ambiental.

Partículas de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento geram efluentes têxteis altamente coloridos (ARAÚJO *et al.*, 1984).

Durante o processo de tingimento três etapas são consideradas importantes: a montagem, a fixação e o tratamento final. Segundo Guaratini *et al.*, (2000), a tecnologia moderna no tingimento consiste de várias etapas que são escolhidas de acordo com a natureza da fibra têxtil, características estruturais, classificação e disponibilidade do corante para aplicação, propriedades de fixação compatíveis com o destino do material a ser tingido, considerações econômicas e muitas outras.

[...] a fixação do corante à fibra é feita através de reações químicas, da simples insolubilização do corante ou de derivados gerados e ocorre usualmente em diferentes etapas durante a fase de montagem e fixação. Entretanto, todo processo de tintura envolve como operação final uma etapa de lavagem em banhos correntes para retirada do excesso de corante original ou corante hidrolisado não fixado à fibra nas etapas precedentes, Guaratini *et al.*, (2000).

De acordo com Guaratini *et al.*, (2000), os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química ou pelo método de fixação à fibra têxtil. Os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação são:

- **Corantes reativos:** contém um grupo eletrofílico (reativo) com capacidade de realizar uma ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas. Os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos.

- **Corantes diretos:** são compostos solúveis em água adequados a fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de Van der Waals. A afinidade do corante é aumentada pelo uso de eletrólitos, pela planaridade na configuração da molécula do corante ou a dupla ligação conjugada que aumenta a adsorção do corante sobre a fibra. Geralmente possuem mais de um grupo azo (diazó, triazo, etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos. A grande vantagem desta classe de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüentemente diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeito.

- **Corantes azóicos:** são compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento (e.g. naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra e produz um corante insolúvel em água.

- **Corantes ácidos:** grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes grupos substituintes ionizáveis tornam o corante solúvel em água, e têm fundamental importância no método de aplicação do corante em fibras proteicas (lã, seda) e em fibras de poliamida sintética. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação.

- **Corantes à cuba:** são baseado nos índigos, digóides e antraquinóides. Eles são aplicados praticamente insolúveis em água, porém durante o processo de tintura eles são reduzidos com ditionito, em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel (forma leuco). Posteriormente, a subsequente oxidação pelo ar, peróxido de hidrogênio, etc., regenera a forma original do corante sobre a fibra.

- **Corantes de enxofre:** se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são altamente insolúveis em água. Em princípio são aplicados após pré-redução em banho de ditionito de sódio que lhes confere a forma solúvel, são reoxidados subsequentemente sobre a fibra pelo contato com ar. Estes compostos têm sido utilizados principalmente na tintura de fibras celulósicas, conferindo cores: preto, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação, estes corantes usualmente apresentam resíduos altamente tóxicos.

- **Corantes dispersivos:** constitui uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão (partículas entre 1 a 4 micra). Durante o processo de tintura, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finalmente dividido) sobre o acetado de celulose. O grau de solubilidade de corante deve ser pequeno e bem definido o que influencia diretamente no processo e a qualidade da tintura. Usualmente o processo de tintura ocorre na presença de

agentes dispersantes com longas cadeias que normalmente estabilizam a suspensão do corante facilitando o contato entre o corante e a fibra hidrofóbica. Esta classe de corantes tem sido utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas, tais como: acetato celuloses, *nylon*, poliéster e poliacrilonitrila.

- **Corantes pré-metalizados:** são úteis principalmente para tintura de fibras proteicas e pliamida. Os corantes são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição *ortho* em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. Neste tipo de tintura explora-se a capacidade de interação entre o metal e os agrupamentos funcional portadores de pares de elétrons livres, como aqueles presentes nas fibras protéicas. Exemplos mais comuns deste grupo são os complexos estáveis de cromo: corante (1:1) ou (1:2). A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito.

- **Corantes branqueadores:** as fibras têxteis no estado têxteis no estado bruto por serem compostas primeiramente de materiais orgânicos, apresentam como característica uma aparência amarelada por absorver luz particularmente na faixa de baixo comprimento de onda. A diminuição dessa tonalidade tem sido diminuída na indústria ou na lavanderia pela oxidação da fibra com alvejantes químicos ou utilizando os corantes brancos também denominados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes. Estes corantes apresentam grupos carboxílicos, azometino (-N=CH-) ou etilênicos (-CH=CH-) aliados a sistemas Benzênicos, naftalênicos, pirênicos e anéis aromáticos que proporcionam reflexão por fluorescência na região de 430 a 440 nm quando excitados por luz ultra-violeta.

- **Corantes naturais:** são corantes obtidos a partir de substâncias vegetais ou animais, com pouco ou nenhum processamento químico, são principalmente, do tipo mordente, embora existam alguns do tipo à tina, solventes, pigmentos, diretos e ácidos.

4.4 OS EFLUENTES GERADOS

A composição dos efluentes têxteis varia de acordo com as diversas características dos processos produtivos, dificultando a consolidação de dados gerais. Aproximadamente 10.000 diferentes corantes e pigmentos são usados na indústria. Os corantes sintéticos são extensivamente utilizados na indústria têxtil, gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo (GUARATINI *et al.*, 2000).

De acordo com a CETESB (2009), os processos produtivos envolvidos na cadeia têxtil geram efluentes com grandes concentrações de carga orgânica por matéria-prima ou produto, conforme o Quadro 4:

Atividade / Processo	*Carga orgânica / MP ou produto
Algodão	155 kg DBO _{5,20} /t.produto
Algodão acabado com tingimento	35 a 325 kg DBO _{5,20} /t.produto
Alvejamento de algodão	7,2 kg DBO _{5,20} /t.matéria-prima
Tingimento de algodão	0,5 a 294 kg DBO _{5,20} /t.produto
Desengomagem de algodão	11,3 kg DBO _{5,20} /t.matéria-prima
Lã com limpeza (branqueamento)	314 kg DBO _{5,20} /t.produto
Lã sem limpeza	87 kg DBO _{5,20} /t.produto
Limpeza do algodão	1,6 kg DBO _{5,20} /t.matéria-prima
Maceração de algodão	6,9 kg DBO _{5,20} /t.matéria-prima
Mercerização de algodão	8,3 kg DBO _{5,20} /t.matéria-prima
Poliâmida	45 kg DBO _{5,20} /t.produto
Poliéster	185 kg DBO _{5,20} /t.produto
Raion	30 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento à cuba	17,95 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento básico	31,1 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento de anilina preta	6,75 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento direto	6,25 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento enxofre	133,25 kg DBO _{5,20} /t.produto
Tingimento índigo	4,95 kg DBO _{5,20} /t.produto
Obs: Cargas orgânicas específicas – kg DBO _{5,20} / matéria-prima ou produto) para as principais atividades industriais têxteis. * Valores podem apresentar de emissão diferentes dos que foram mencionadas, conforme a tecnologia e matérias utilizados.	

Quadro 4 - Relação de cargas orgânicas específicas

Fonte: Adaptado de CETESB (2009).

A indústria têxtil utiliza diversos tipos de corantes ou anilinas, auxiliares químicos que ao serem processados geram um efluente líquido com características específicas, necessitando tratamento específico para atender a legislação ambiental (CETESB, 2009).

No Quadro 5, verifica-se as características dos corantes associados na etapa de tingimento no cadeia têxtil, caracterizando sua fixação típica no tecido e os poluentes gerados:

Classe Corantes	Descrição	Tipo de fibras	Fixação Típica(%)	Poluentes associados
Ácidos	Compostos aniônicos solúveis em água.	Lã e Poliamida	80 – 93	Cor, ácidos orgânicos e corantes não fixados.
Catiônicos ou Básicos	Compostos catiônicos, solúveis em água, aplicáveis em banho fracamente ácido.	Acrílico e alguns tipos de poliéster	97 – 98	Fixação quase que total na fibra. Sal, ácidos orgânicos, retardantes, dispersantes, etc.
Diretos	Solúveis em água, compostos aniônicos. Podem ser aplicados diretamente na celulose sem mordente (ou metais como cromo e cobre).	Algodão, Raion e demais fibras celulósicas	70 – 95	Cor, sal, corante não fixado, fixadores; agentes catiônicos surfactantes, antiespumante, agentes retardantes e igualizantes, etc.
Dispersos	Insolúveis em água, compostos não iônicos.	Poliéster, Acetato e outras fibras sintéticas	80 – 90	Cor, ácidos orgânicos, agentes de igualização, fosfatos, antiespumantes, lubrificantes, dispersantes, etc.
Reativos	Solúveis em água, compostos aniônicos, classe mais importante de corantes.	Algodão, Lã e outras fibras celulósicas.	60 – 90	Cor, sal, álcalis, corantes hidrolisados, surfactantes, antiredutores orgânicos, antiespumantes, etc.
Sulfurosos (Enxofre)	Mercaptocorantes. Compostos orgânicos contendo enxofre e polisulfetos.	Algodão e outras fibras celulósicas	60 – 70	Cor, álcalis, agentes oxidantes, agentes redutores, etc.
Cuba ou Tina	Corante tipo Redox, insolúveis em água. A “mais nobre” classe de corantes.	Algodão e outras fibras celulósicas	80 – 95	Cor, álcalis, agentes oxidantes, agentes redutores, etc.

Quadro 5 - Corantes, sua fixação típica e os Poluentes a eles associados

Fonte: CETESB (2009).

Historicamente o desenvolvimento urbano e industrial ocorreu ao longo dos rios devido à disponibilidade de água para abastecimento e a possibilidade de utilizar o rio como corpo receptor dos dejetos. Os efluentes líquidos ao serem despejados com os seus poluentes característicos causam a alteração de qualidade nos corpos receptores e conseqüentemente a sua degradação.

De acordo com Giordano (1999):

Os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reuso dos efluentes tratados.

Silva (2005) descreve o dano ambiental incontestável causado pelo beneficiamento do jeans, principalmente na confecção que é considerado a última etapa da cadeia têxtil. No nordeste, especificamente no agreste de Pernambuco, existe um pólo de confecção de jeans nacional. O município de Toritama, produtor de cerca de 20% da etapa de confecção nacional, se configura um potencial poluidor ambiental. Essa etapa de beneficiamento ocorre nas conhecidas lavanderias industriais, em que o consumo de água pode chegar a cerca de 40 lt/peça lavada, gerando um efluente com elevada carga poluidora conforme observado nas Figuras 2 e 3. Nas figuras é possível observar um flagrante de lançamento sem tratamento no Rio Capibaribe.



Figura 2 - Visão do corpo Receptor dos efluentes

Fonte: Silva (2005).



Figura 3 - Detalhe do lançamento de efluentes.

Fonte: Silva (2005).

Segundo Twardokus (2004), 700.000 toneladas de corantes têxteis são produzidas anualmente, das quais 12% dos corantes sintéticos são perdidos entre

processos de fabricação e tingimento, neste último processo (tingimento) 20% da cor resultante é disposta no ambiente conferindo cor aos efluentes têxteis. Dos corantes fabricados, cerca de 50% são compostos azo (-N=N-), considerados especialmente perigosos, pois seu comportamento ambiental é ainda desconhecido.

Para Guaratini *et al.*, (2000):

[...] devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em baixas concentrações. Este comportamento apresenta vantagens e desvantagens, pois uma pequena quantidade lançada em efluentes aquáticos pode causar uma acentuada mudança de coloração dos rios, mas pode também ser facilmente detectada pelo público e autoridades que controlam os assuntos ambientais.

Os processos de tingimento, de acordo com o tipo de corante, os insumos ou entradas (água, formas de energia e produtos químicos), após o processo de tingimento, geram poluentes ou saídas (gases, particulados, vapores, efluente líquido, resíduo sólido, calor, ruído e vibração) (CETESB, 2009). A Tabela 3 identifica os aspectos ambientais das atividades envolvidas nos processos produtivos.

Tabela 3 - Entradas e saídas considerando as características dos corantes.

(Continua)

Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
-Formaldeído (fixação do corante), corante direto, sais (cloreto de sódio, sulfato de sódio, carbonato de sódio, em alguns casos), tensoativo, resina catiônica (condensação de sais de dicianodiamida/amônia ou formaldeído utilizados na fixação do corante), agentes complexantes (EDTA, DTPA, DTPMP), igualizantes (aminasgraxas etoxiladas), etc;- energia elétrica;	Tingimento com corante direto	✓ Poluição do Ar:- emissões atmosféricas (calor através da troca de calor). ✓ Poluição da Água:- geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos).

Tabela 3 - Entradas e saídas considerando as características dos corantes.

(Continua)

Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
- corante reativo, sais (cloreto de sódio, sulfato de sódio), álcalis (carbonato de sódio, bicarbonato de sódio, silicato de sódio, trifosfato de sódio), uréia, tensoativo, agentes complexantes (EDTA, DTPA, DTPMP), etc; energia elétrica; - vapor; - água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos); ar comprimido (cilindros espremedores)	Tingimento com Corante reativo	✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor: através da troca de calor). ✓ Poluição da Água: - geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos). ✓ Poluição do Solo: - geração de resíduos (embalagens)
Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
- álcalis, oxidantes (peróxido de hidrogênio, sais halogenados, etc.) redutores (sulfeto de sódio, glucose, hidrossulfito de sódio), corante sulfuroso, sais (sulfato de sódio, cloreto de sódio), tensoativos, energia elétrica; vapor; água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos); ar comprimido (cilindros espremedores).	Tingimento com corante sulfuroso	✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor: através da troca de calor). ✓ Poluição da Água: - geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos). ✓ Poluição do Solo: - geração de resíduos.
Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
- álcalis, oxidantes (peróxido de hidrogênio) redutores (hidrossulfito de sódio), corante à tina, sais (sulfato de sódio), tensoativo, igualizantes (polivinilpirrolidona); - energia elétrica; vapor; água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos); ar comprimido (cilindros espremedores).	Tingimento com corante à tina.	✓ Poluição do Ar: emissões atmosféricas (calor: através da troca de calor). ✓ Poluição da Água: geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos). ✓ Poluição do Solo: - geração de resíduos.

Tabela 3 - Entradas e saídas considerando as características dos corantes.

(Conclusão)

Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
-ácido; corante catiônico, tensoativo, sal (sulfato de sódio), retardante (amina quaternária), dispersante, etc; energia elétrica; vapor; água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos); ar comprimido (cilindros espremedores).	Tingimento com Corante catiônico	✓ Poluição do Ar: emissões atmosféricas (calor: - através da troca de calor). ✓ Poluição da Água: geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos)
Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
- "carrier" (N-alkilftalamida, derivados de metilnaftaleno, o-fenil-fenol); - corante disperso, tensoativo, dispersante (co-polímero ácido acrílico e maléico), redutores, etc; energia elétrica; vapor;- água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos);-ar comprimido (cilindros espremedores).	Tingimento com Corante disperso	✓ Poluição do Ar: emissões atmosféricas (calor: através da troca de calor) ✓ Poluição da Água:- geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos). ✓ Poluição do Solo:- geração de resíduos (embalagens).
Entrada no sistema	Processo	Saída no sistema
- ácido; - corante ácido e complexo metálico, tensoativo, igualizantes, fixadores, etc; - energia elétrica; - vapor; - água (operações de tingimento, lavagem do material têxtil e de equipamentos); - ar comprimido (cilindros espremedores).	Tingimento com corante ácido/ complexo metálico	✓ Poluição do Ar: emissões atmosféricas (calor - através da troca de calor). ✓ Poluição da Água:- geração de efluentes líquidos (banho residual de tingimento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos). ✓ Poluição do Solo: geração de resíduos

Fonte: Adaptado de CETESB, (2009).

4.5 AS FORMAS DE TRATAMENTO MAIS FREQUENTEMENTE NO SETOR TÊXTIL

O tratamento de um efluente industrial pode ser dividido em 3 áreas: biológica, física e química, conforme se observa na Figura 4:

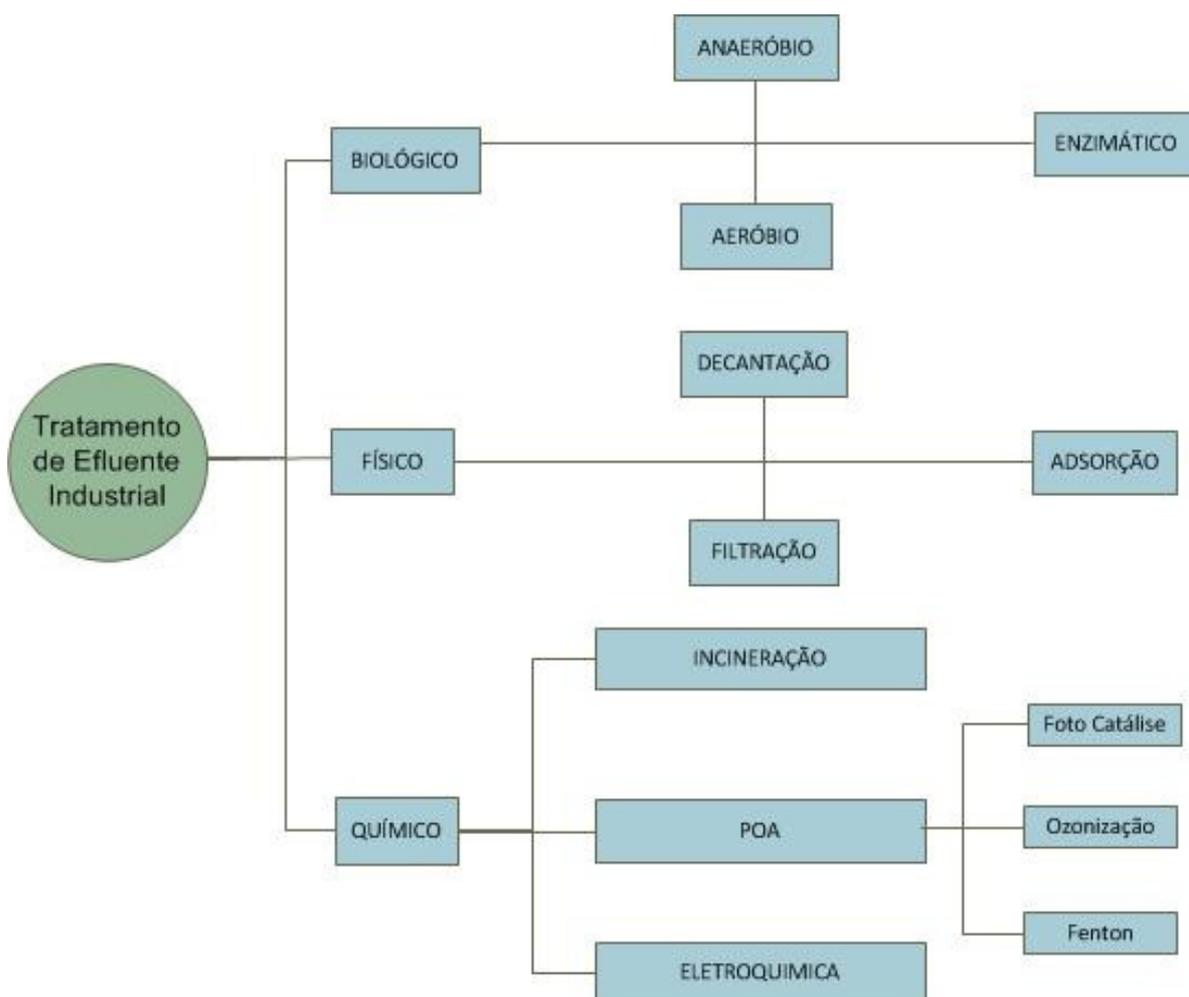


Figura 4 - Organograma das classes de tratamento de efluentes
Fonte: adaptado de (GOMES, 2009).

Sabendo que o efluente industrial é altamente tóxico, é comum haver inúmeras complicações em estações de tratamento que tratam efluentes têxteis (HASSEMER *et al.*, 2002).

Pela quantidade e complexidade dos diferentes componentes do efluente têxtil (ARAÚJO *et al.*, 2009), o mesmo passa por diferentes etapas e formas de tratamentos.

No processo biológico que pode ser dividido em: lodos ativados, lagoas/esterilização e filtros biológicos basicamente fundamentam-se na atividade de microrganismos e bactérias, e que podem ocorrer com ou sem a presença de oxigênio denominado aeróbio ou anaeróbio (BERNI, 2003 *apud* GOMES, 2009).

A Figura 5 mostra um exemplo de processo biológico que associa um reator aeróbio juntamente com fluxo ascendente.



Figura 5 – Estação de Tratamento EMBASA IBEROSTAR, sistema tipo híbrido associado DAFA. Fonte: FH Engenharia (2012).

A eficiência do tratamento biológico é posta em “xeque”, devido aos efluentes têxteis possuírem elevadas quantidade de corantes, surfactantes e aditivos, material esse que é de complexa e difícil biodegradação. Como essa deficiência é clara, há estudos de novos microrganismos como um fundo de decomposição branca *Phanerochetechryso sporium*, que possui alta capacidade de mineralizar uma série de componentes orgânicos de difícil degradação (GOMES, 2009).

Processos físicos como coagulação/floculação não apresentam uma eficiência desejada na remoção de cor de efluentes têxteis (ARAÚJO *et al.*, 2006).

As técnicas de tratamento físico químicas como coagulação/floculação e sedimentação apresentam elevada eficiência na remoção de partículas não dissolvidas (KUNZE *et al.*, 2001), porém na remoção de cor não corroboram sua eficiência tendo que o corante é material dissolvido necessitando de processos químicos e biológicos para ser removido.

Em suma, para a remoção de partículas suspensas ou não dissolvidas os processos físicos são altamente eficientes. Temos um exemplo na Figura 6 de um equipamento para remoção de partículas através de processo físico um flocculador tipo turbina axial.

A oxidação química é comumente utilizado na remoção de cor do efluente industrial, esse processo tem como base o cloro ou o ozônio, e o segundo é efetivamente mais satisfatório que o primeiro sendo que o cloro pode produzir substâncias organocloradas e não é eficaz na destruição de alguns tipos de corantes como os diretos conhecidos como aniônicos e os dispersos compostos orgânicos não iônicos (GOMES, 2009).

De acordo com Hassemer e Sens (2002), a oxidação utilizando ozônio mostrou se mais eficiente na remoção da turbidez sem a adição de polímeros.

Pesquisas com tratamento foto eletroquímico estão sendo abundantemente estudadas para a remoção de cor (ARAÚJO *et al.*, 2009), porém o gasto de energia que demanda esse tipo de tratamento o torna inviável para grandes quantidades de efluentes (GOMES, 2009)

Diversas pesquisas apontam que o processo químico é um tratamento de elevada eficiência para a remoção de cor (ARAÚJO *et al.*, 2009). Na Figura 7 observa-se um exemplo de um reator eletroquímico comumente usado para tal finalidade.

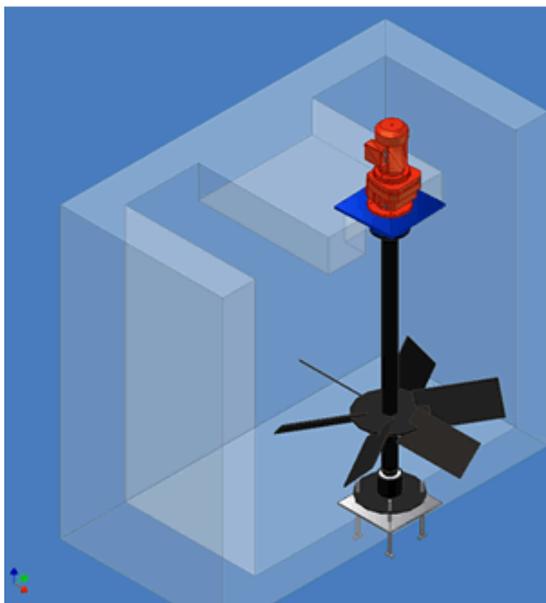


Figura 6 – Flocculador Tipo Turbina Axial.
Fonte: Yete Tratamento de Água.



Figura 7 – Reator Eletroquímico Piloto (1000L) Modelo SEACOLOR.
Fonte: Ronaldo Pellegrini (2010).

Processos Oxidativos Avançados (POAs) despontam como uma alternativa favorável para a redução de cor de efluentes têxteis e são considerados recalcitrantes. POA's são tecnologias que utilizam um agente oxidante (geralmente o radical hidroxila) podendo estar aliado à catalisadores com ou sem de fonte de irradiação (ARAÚJO *et al.*, 2009). São classificados como homogêneos ou heterogêneos e ainda a formação da hidroxila pode ocorrer com ou sem radiação UV, como exposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos Sistemas de Processos Oxidativos Avançados.

Sistemas	Sem Irradiação	Com Irradiação
Homogêneos	<ul style="list-style-type: none"> • O₃/H₂O₂ • O₃/OH⁻ • H₂O₂/Fe²⁺ (Fenton) 	<ul style="list-style-type: none"> • O₃/UV • H₂O₂/UV • Feixe de elétrons • H₂O₂/US • UV/US
Heterogêneos	<ul style="list-style-type: none"> • Eletro-Fenton 	<ul style="list-style-type: none"> • TiO₂/O₂/UV • TiO₂/H₂O₂/UV

Fonte: HUANG, 1993 *apud* FRANCO, 2012.

4.6 ADSORÇÃO

O carvão ativado é o material adsorvente mais utilizado no tratamento de efluentes industriais por ter uma alta taxa de remoção, porém o seu custo ainda é elevado (TREVISAN, 2009).

De acordo com Oliveira (2003), a adsorção possui uma boa remoção de corantes, porém o material de adsorção deve ser regenerado ou recolhido.

O fato da molécula de corante ser de difícil biodegradação, mantém assim a capacidade de ser eliminada por adsorção (SILVA, 2006)

Devido as diferentes ligações das moléculas do efluente a ser adsorvido e do meio adsorvente, o processo de adsorção pode ser diferenciado em 2 formas física (*fisissorção*) e química (*quimissorção*). O fenômeno adsorção pode ocorrer somente em uma única camada ou em diversas camadas (CIOLA, 1981 *apud* CARVALHO, 2010). A Tabela 5 descreve a diferenciação entre adsorção física e a adsorção química, quanto a suas características.

Tabela 5 - Características da Adsorção Física e Adsorção Química.

Adsorção Física	Adsorção Química
<ul style="list-style-type: none"> • Baixo calor de adsorção (1,0 a 1,5 vezes o calor latente de evaporação); • Não específica; • Monocamada ou multicamada; • Não há dissociação de espécies adsorvidas; • Rápida, não ativada reversível; • Não há transferência de elétrons, embora possa ocorrer polarização do adsorbato; 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado calor de adsorção (1,5 vezes o calor latente de evaporação); • Altamente específica; • Somente monocamada; • Pode envolver dissociação; • Ativada, pode ser lenta irreversível; • Há transferência de elétrons, conduzindo à formação de ligação entre o adsorbato e a superfície;

Fonte: Adaptado de Ruthven, 2008 *apud* Carvalho, 2010.

A adsorção ativada é aquele meio termo entre a adsorção física e a química, normalmente observada em processos com mudanças de temperatura (ORTIZ, 2000 *apud* CARVALHO, 2010). O carvão ativado é um material carbonáceo, caracterizado por possuir uma área superficial e porosidade altamente desenvolvidas, o que lhe confere a capacidade de adsorver moléculas tanto em fase líquida como gasosa (BASAL, 1988 *apud* BORGES *et al.*, 2003). Na Figura 8 a micrografia da partícula de carvão ativado retrata o tamanho dos poros do material.

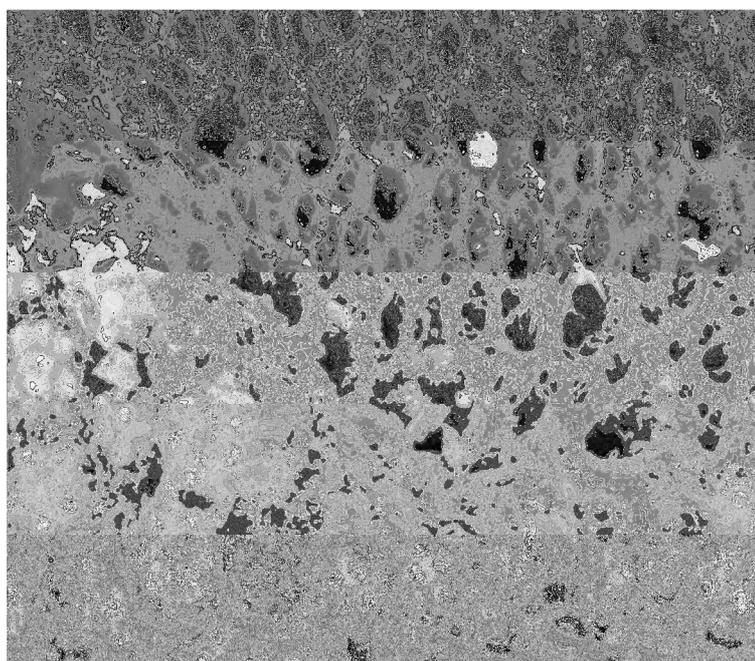


Figura 8 – Carvão Ativado adsorvente mais usado na remoção de cor.
Fonte: Freire, (2005).

A adsorção de uma solução gasosa é mais simples que o processo numa solução líquida, pois o solvente está imerso no líquido, sendo que em uma solução com 2 ou mais componentes tanto o solvente quanto o soluto terão gradientes diferentes de adsorção (YANG, 2003 *apud* CARVALHO, 2010).

4.7 FENTON

Método de remoção de cor que tem como base a oxidação química, é comumente chamado de reagentes de Fenton (peróxido de hidrogênio + Fe(II)) (OLIVEIRA, 2010).

Na reação de Fenton (1894) os agentes oxidantes são radicais de hidroxila, nesse processo independentemente da quantidade de fótons no meio. Os radicais são gerados pela degradação do peróxido de hidrogênio através da ação do ferro. Na Equação 1 têm-se o equacionamento da degradação do peróxido de hidrogênio oxidando Fe(II) à Fe(III). Em seguida o Fe(III) sobre redução química para Fe(II) , porém de forma mais lenta processo dado pela Equação 2 (PIGNATELLO *et al.*, 2006)

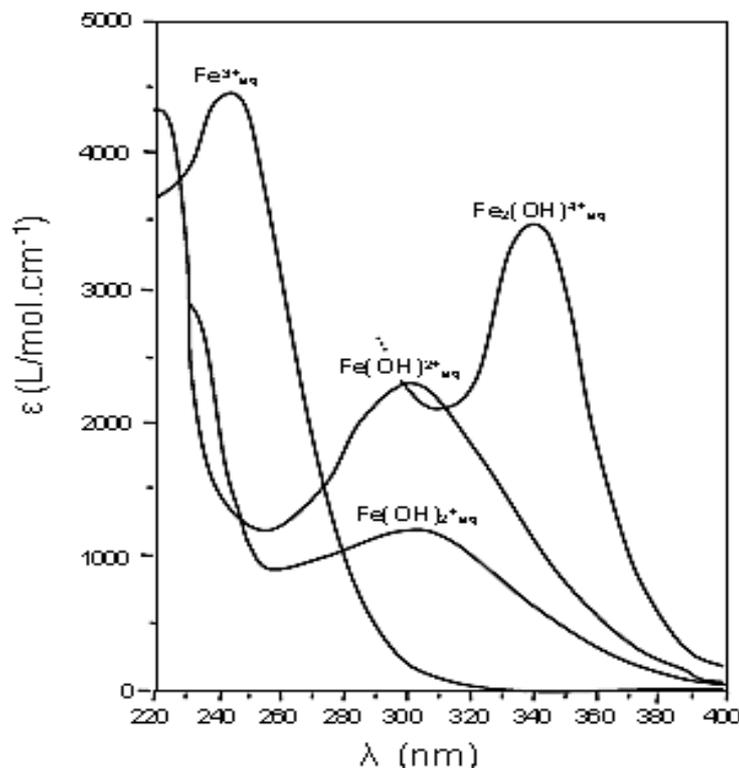
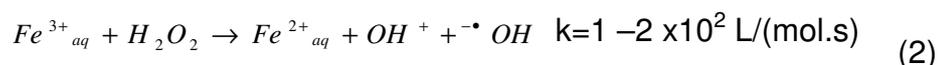
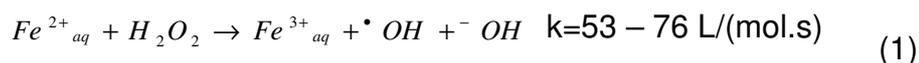


Figura 9 - Espectro de absorção das espécies de ferro em solução aquosa.

Fonte: GÖB, (2001) *apud* SANTANA, (2010).

Em termos gerais, o tratamento utilizando a oxidação Fenton deve atender uma sequência de procedimentos padronizados apresentados na Figura 10. A primeira etapa ocorre no tanque de oxidação onde são misturados à água residual bruta, o peróxido de hidrogênio (agente oxidante), o sulfato ferroso heptaidratado e o agente de ajuste de pH (ácido sulfúrico). Posteriormente é realizada a neutralização através da adição do agente alcalino hidróxido de sódio, ocorrendo à degradação do peróxido de hidrogênio residual. “Finalmente são desenvolvidas as etapas de floculação e decantação obtendo-se a água residual tratada (BAUTISTA *et al.*, 2008).”

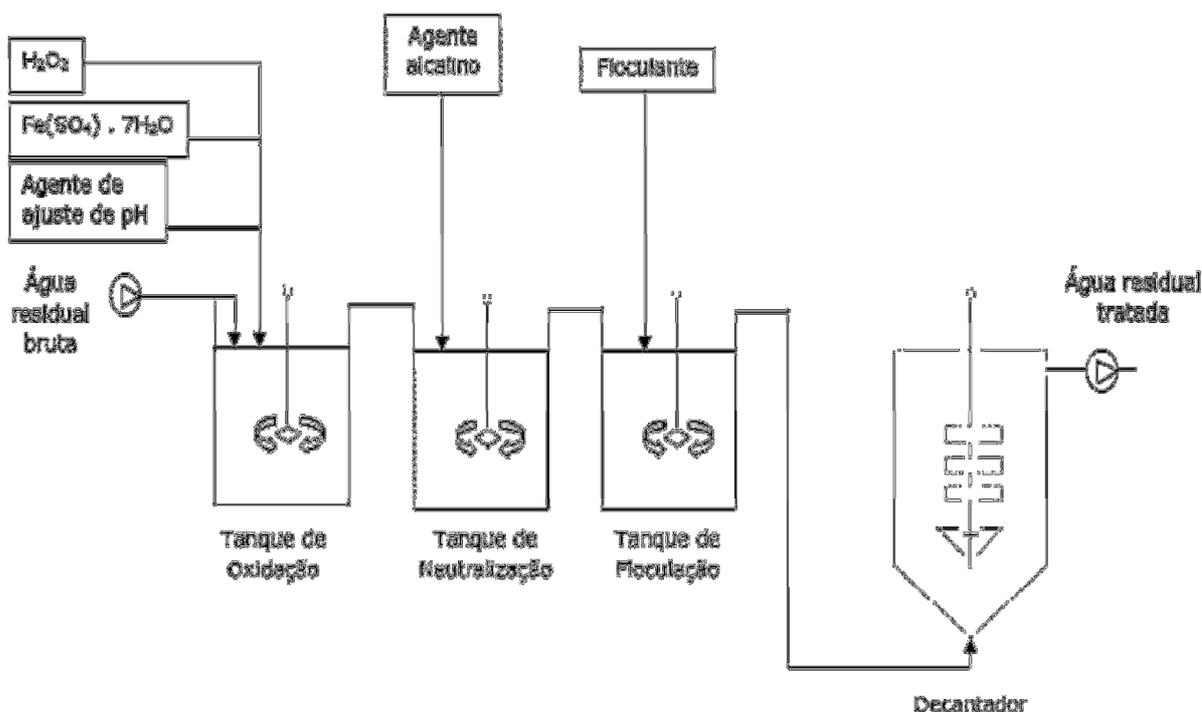


Figura 10 - Fluxograma típico do tratamento de efluentes com oxidação Fenton.
Fonte: Bautista, (2008).

O pH é um fator que influencia diretamente no fenômeno Fenton, em diversos estudos indicam que o pH ótimo para a reação está entre 3,0 e 3,5. Valores muito inferiores inibem a formação e precipitação do hidróxido de ferro(III), $Fe(OH)_3$ (PAPADOPOULOS *et al.*, 2007).

Os parâmetros que determinam a eficiência do evento Fenton estão ligados as concentrações de íons ferrosos (Fe^{2+}), íons férricos (Fe^{3+}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e as características da reação, pH, temperatura, compostos orgânicos e inorgânicos. Torna se imprescindível o conhecimento das inter-relações dos parâmetros citados em função da formação e do consumo do radical hidroxila (OH^*)(GOMES, 2009).

De acordo com Wang *et al.*, (2008) *apud* Martins *et al.*, (2011), valores elevados de pH acima do ótimo no caso 4, os íons ferrosos (Fe^{2+}) se convertem em íons férricos (Fe^{3+}), formam o composto hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ coagulam e precipitam não somente a matéria orgânica mas também outros sólidos restantes após o processo Fenton.

De acordo com Gomes (2009), elevadas quantidades de matéria orgânica podem funcionar como uma barreira na reação entre os (OH^*) e os íons férricos (Fe^{3+}).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais da pesquisa foram desenvolvidos no Laboratório de Saneamento do Departamento de Construção Civil – DACOC e no Laboratório de Ecotoxicologia/Limnologia e no Laboratório de Espectrometria do Departamento de Química e Biologia - DAQBI, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba – Sede Ecoville.

Na Figura 11 é apresentado um fluxograma geral do planejamento experimental da pesquisa:

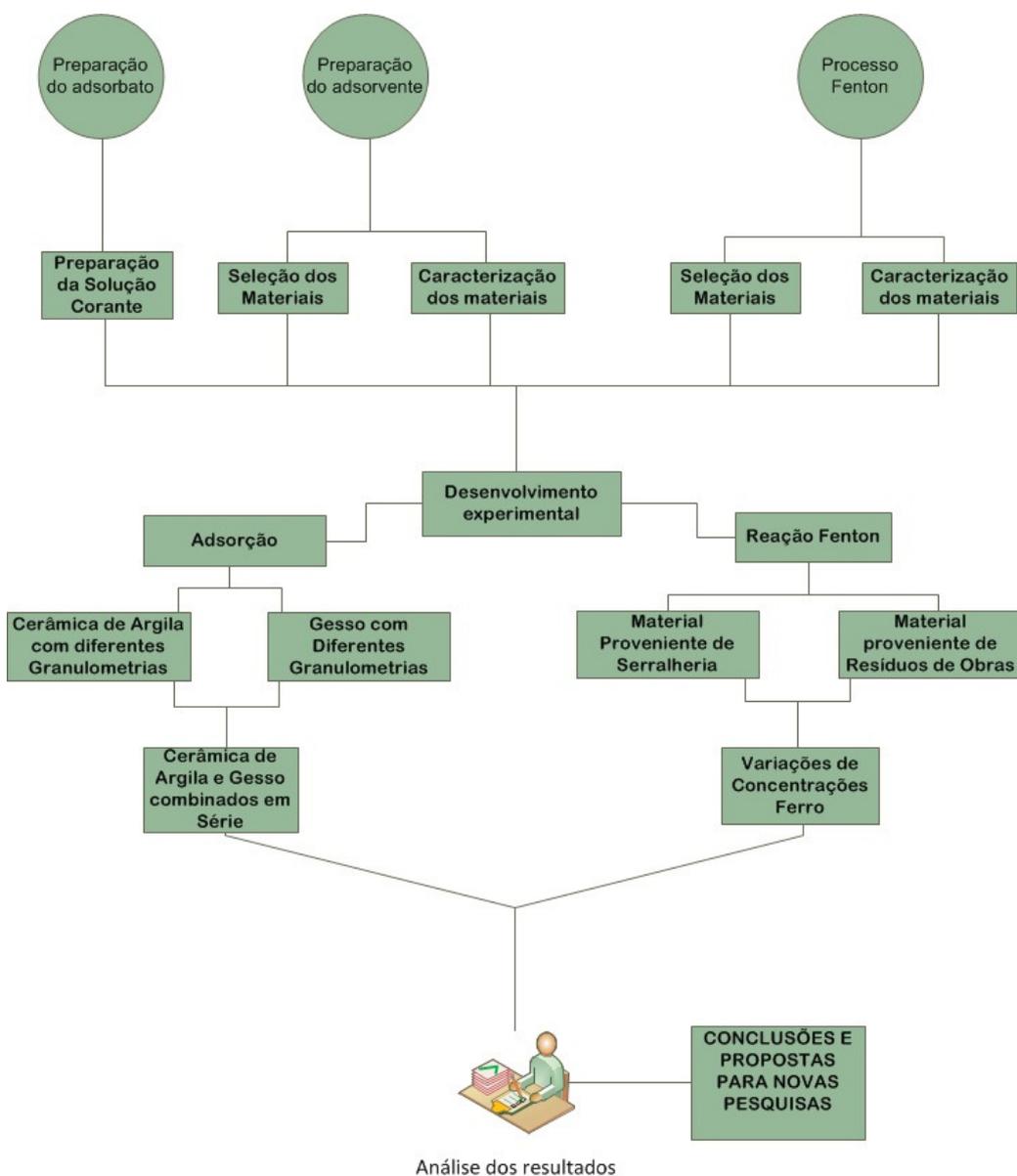


Figura 11 - Fluxograma do planejamento experimental
 Fonte: Autoria Própria, (2012).

5.1 ÁGUA RESIDUÁRIA SINTÉTICA

Foi utilizada uma solução simplificada contendo água e corante orgânico direto na cor marinho - 16, da marca Guarani. Este tipo de corante não possui venda restrita, sendo de fácil obtenção no comércio. Segundo um dos principais fabricantes deste tipo de corante, a TUPY (2013), o corante tem pH, em média, neutro, quando dissolvido em água quente, não apresenta odor e com forma física é sólida e não característica tóxica. É indicado para tingir tecidos ou fibras de algodão, linho, sisal, rami, *rayon*-viscose e mesclas.

A opção pela solução aquosa de corante direto ocorreu devido às dificuldades que ocasionariam a utilização do efluente retirado *in loco*, como na análise dos dados, pelo desconhecimento de suas características e por apresentar outros componentes provenientes de processos anteriores, que não são relevantes no tocante a estimativa da remoção de cor.

A princípio planejou-se utilizar o corante direto na cor verde, na concentração de 1 g/L de água (Figura 12), porém a baixa intensidade da cor prejudicou as leituras de absorvância no espectrofotômetro. Buscando obter uma cor mais intensa, escolheu-se a cor marinho, do mesmo corante, nas concentrações: 1 g/L, 2,5 g/L e 5 g/L, em massa de corante por volume de água.

A concentração 5 g/L de corante por litro de água foi estabelecida por testes realizados nas concentrações citadas no parágrafo anterior. Verificou-se que nas concentrações menores não se obteve diferenças significativas de absorvância nas leituras no espectrofotômetro. Por conseguinte, para obter melhores resultados usou-se a concentração de 5 g/L.



Figura 12 - Corante direto na cor verde na concentração 1 g/L
Fonte: Aatoria Própria (2013).

A solução foi preparada usando água da torneira proveniente da rede abastecedora da SANEPAR e solubilizada por aquecimento e agitação em copo de béquer de 500 mL, com uso de agitadores magnéticos da marca Nova Ética, modelo 114 e Fanem modelo 258. O volume de água foi medido em balões volumétricos de 1 L e a massa de corante medida com o uso da balança de precisão BL3200H da marca Marte, como precisão de 0,01 g.

5.2 CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS ADSORVENTES

Foram escolhidos como material adsorvente, a cerâmica proveniente de resíduos de blocos cerâmicos de 6 furos cedido gentilmente por olarias da região metropolitana de Curitiba e gesso, proveniente de resíduos de placas de gesso não acartonado, cedidos por uma empresa instaladora de forros, sancas e divisórias em gesso, de Colombo-PR, apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Resíduo de gesso depositado no pátio de uma empresa de forros, sancas e divisórias em gesso, em Colombo-PR.
Fonte: Autoria Própria, (2012).

A escolha desses dois materiais adsorventes obedeceu a dois principais critérios: o volume de resíduo gerado na construção civil e a aparente porosidade dos mesmos.

Para os materiais adsorventes foram escolhidas as seguintes faixas de granulometria: pó a 1,2 mm; 1,21 mm a 2,4 mm e 2,41 mm a 4,8 mm, como descrito no Quadro 6. O material foi obtido após a moagem no aparelho de Abrasão Los Angeles da marca Solotest, para os blocos de cerâmica de argila, e soquete manual para o gesso, sendo posteriormente peneirado no agitador de peneiras. Na Figura 14 observar se a cerâmica de argila nas três faixas de granulometria utilizadas.

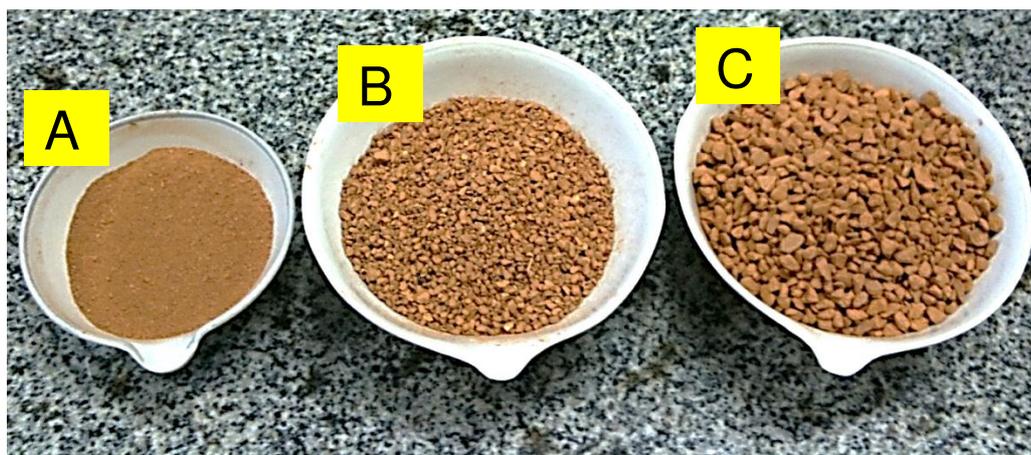


Figura 14 - Cerâmica de Argila nas Granulometrias: (A) pó a 1,2 mm; (B) 1,21 mm a 2,4 mm e (C) 2,41 a 4,8 mm.

Fonte: Autorial Própria (2013).

A princípio estabeleceu-se massas de 70, 100, 150 e 200 g, porém através de testes preliminares, constatou-se que a absorvência era proporcional a massa de adsorvente e por serem os adsorventes resíduos encontrados em abundancia, foram definidas as massa de 200, 250 e 300 g.

Granulometria (mm)	Massa de Adsorvente (g)
pó – 1,2	200, 250 e 300
1,21 – 2,4	200, 250 e 300
2,41 – 4,8	200, 250 e 300

Quadro 6 – Massas e granulometrias dos materiais adsorventes.

Fonte: Autorial Própria, (2013)

Todos os materiais foram submetidos a secagem em estufa, por período mínimo de 24 h à temperatura de 100 ± 5 °C.

5.3 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Os ensaios foram conduzidos no equipamento de *Jartest* marca Policontrol, modelo Floc Control II (Figura 15), com capacidade para 6 ensaios simultâneos.



Figura 15 - *Jartest* marca Policontrol modelo Floc Control II.
Fonte: Autoria Própria, (2012).

Nos testes foram utilizadas as massas de 200, 250 e 300 g, adicionadas a 1 litro de solução aquosa de corante direto na cor marinho na concentração 5 g/L. Foram testadas duas granulometrias distintas simultaneamente, sendo seis experimentos em paralelo, num período de 5 h. As soluções dos jarros foram submetidas a agitação constante de 120 rpm, interrompida em intervalos de uma hora, para retirada das alíquotas de 15 mL, posteriormente colocadas na centrífuga e reservado o sobrenadante para as leituras no espectrofotômetro

5.4 REAÇÃO FENTON

O resíduo de Ferro foi gentilmente cedido por serralheria de Curitiba. O resíduo de aço, em forma de pó, ilustrado na Figura 16, é resultante do corte de chapas de aço e metalão, sendo que a única preparação foi a retirada de partículas maiores como cavacos e outros resíduos.

A amostra de resíduo de ferro utilizado no experimento é apresentada na Figura 16.



Figura 16 - Resíduo de aço em pó
Fonte: Autoria Própria, (2012).

O Ferro, elemento essencial para desencadear a reação Fenton, está presente na composição do aço que é o material principal do resíduo coletado. Os íons de hidroxila são advindos do Peróxido de Hidrogênio, adquirido em estabelecimentos do ramo, na região de Curitiba.

Nos testes foram utilizadas massas de 200, 250 e 300 g, as mesmas utilizadas no ensaio de adsorção. As respectivas massas foram acrescidas de 1 L de

solução de corante direto na cor marinho, na concentração de 5 g/L e de 10 mL de peróxido de hidrogênio na concentração de 40 volumes. Os ensaios foram realizados no equipamento de *Jartest* marca Policontrol, modelo Floc Control II (Figura 15). As soluções dos jarros foram submetidas a agitação constante de 120 rpm, interrompida em intervalos de uma hora, para retirada das alíquotas de 15 mL, posteriormente colocadas na centrífuga e reservado o sobrenadante para as leituras no espectrofotômetro. Reduziu-se o tempo de ensaio para duas horas por se tratar de uma reação química, sendo retiradas 2 alíquotas de 15 mL..

5.5 ESTIMATIVA DA REMOÇÃO DE COR DO EFLUENTE SINTÉTICO

As estimativas da remoção de cor do efluente foram realizadas com auxílio de um espectrofotômetro UV visível digital, Modelo 482 da FEMTO. Como a absorvância segue a lei de Lambert-Beer, pode-se obter previamente uma curva de calibração para descobrir o comprimento de onda mais adequado para leituras no espectrofotômetro.

O comprimento de onda apropriado foi obtido com o uso do espectrofotômetro de varredura da marca Varian, modelo Cary 50 Conc.

Os valores máximos de leitura de absorvância estão associados a um comprimento de onda ótimo para calibração do espectrofotômetro, conforme metodologia descrita em Soares (1998).

As amostras de cada recipiente foram centrifugadas por 5 min para a separação da parte sólida do sobrenadante a 2200 rpm em uma centrífuga Fanem Excelsea II, modelo 206 BL. Para estimativa da remoção de cor, tanto nos ensaios de adsorção quanto no processo Fenton, foram realizadas leituras de absorvância das alíquotas em um espectrofotômetro 482 – FEMTO, com comprimento de 537 nm e calculada a eficiência da remoção de cor pela Equação 3:

$$\text{Remoção (\%)} = 100 \cdot \frac{(ABS_{INICIAL} - ABS_{FINAL})}{ABS_{INICIAL}} \quad (3)$$

Em que: ABS_{inicial}: leitura (no espectrofotômetro) da absorvância para a amostra inicial;

ABS_{final}: leitura (no espectrofotômetro) da absorvância para a amostra final, após o processo

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 COMPRIMENTO DE ONDA IDEAL

Como cada corante possui um comprimento de onda ideal para a leitura em espectrofotômetro, no caso foi determinado para o corante adotado o comprimento ideal de 537 nm, obtido através da varredura do corante.

Na Figura 17 é apresentado o gráfico Comprimento de Onda X Absorbância, para obtenção do comprimento de onda ideal da solução.

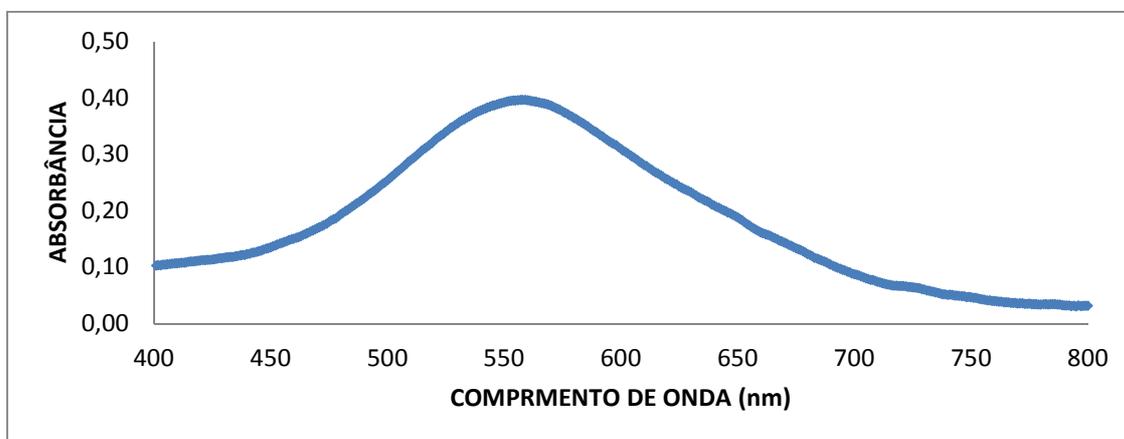


Figura 17 - Determinação do melhor comprimento de onda para o corante direto marinho.
Fonte: Autoria Própria, (2012)

Na Figura 17 é possível notar a varredura do corante na concentração de 1 g/L e de posse do comprimento ideal, no espectrofotômetro calibrado com água leu-se para a concentração de 5 g/L absorbância de 2,76, valor esse que será usado como referência para os cálculos de eficiências de remoção de cor.

6.2 DESEMPENHO DAS UNIDADES DE ADSORÇÃO COM CERÂMICA DE ARGILA

A absorvância inicial da amostra com uma solução de 5 mg/L foi de 2,76 fixada no comprimento de onda 537 nm.

Na Figura 18 está ilustrado um frasco com solução com corante na concentração de 5 mg/L.



**Figura 18 - Água com corante na concentração de 5 mg/L.
Fonte: Autoria própria, (2013).**

As leituras de remoção de cor estão expostas nas Tabelas 6 e 7 e indicam os resultados obtidos em laboratório. Os dados foram separados de acordo com a variação granulométrica e calculada a eficiência utilizando a Equação 3.

Tabela 6 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção, utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria de \varnothing 4,8 mm - \varnothing 2,4 mm.

\varnothing (mm)	Tempo (h)	ABS	ABS	ABS
		$m_1 = 200$ g	$m_2 = 250$ g	$m_3 = 300$ g
4,8-2,41	1	0,366	0,112	0,075
	2	0,106	0,060	0,073
	3	0,086	0,058	0,053
	4	0,077	0,056	0,042
	5	0,051	0,040	0,039
Eficiência (%)		98,20	98,60	98,60

Através dos dados apresentados na Tabela 6 constata-se o potencial do adsorvente analisado, chegando a uma eficiência de quase 99% na remoção de cor. A maior massa, no caso a de 300 g, na primeira hora de adsorção obteve uma eficiência de 97,3%.

Através da Figura 19, é possível verificar visualmente a remoção de cor apresentada na Tabela 6, para um período de ensaio de 5 horas:

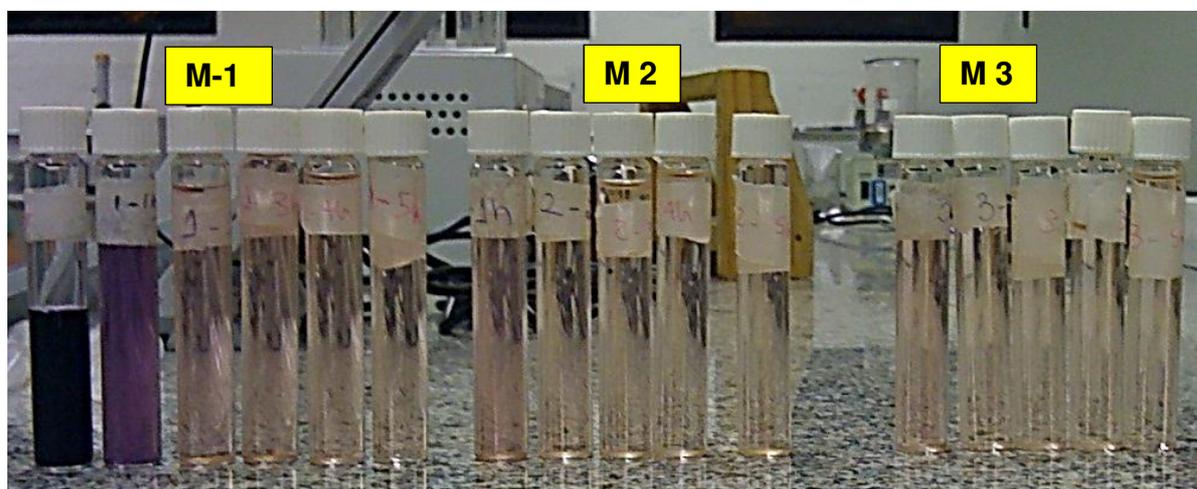


Figura 19 - Remoção de cor através da adsorção utilizando cerâmica de argila com diâmetros entre 4,8 e 2,41 mm.

Fonte: Autoria própria, (2012).

As alíquotas de 15 mL foram retiradas a cada uma hora. No bloco 1 tem-se o primeiro frasco com a solução bruta e nesse mesmo bloco 1 os frascos que compõem $m_1=200$ g, no bloco 2 tem se os $m_2=250$ g e o bloco 3 de frascos $m_3=300$ g, sendo que cada bloco de 5 frascos compõem variação gradual de hora em hora,

começando a primeira hora da esquerda para direita até atingir o máximo de horas de adsorção fixada 5 horas.

Na Tabela 7 são apresentados os valores para granulometria intermediária do experimento e a seguir é feito um comparativo entre as eficiências conseguidas.

Tabela 7 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção, utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 e granulometria de \varnothing 2,4 mm - \varnothing 1,2 mm.

\varnothing (mm)	Tempo (h)	ABS	ABS	ABS
		$m_1 = 200$ g	$m_2 = 250$ g	$m_3 = 300$ g
2,4-1,21	1	0,12	0,1	0,084
	2	0,086	0,048	0,061
	3	0,079	0,043	0,053
	4	0,037	0,033	0,052
	5	0,029	0,015	0,044
Eficiência (%)		98,9	99,5	98,4

Comparando os resultados contidos nas Tabelas 6 e 7 constata-se que a granulometria influencia no processo de adsorção, pois na Tabela 7 são apresentados valores de adsorção para uma granulometria diferente da anterior e os dados mostram que o tamanho do adsorvente influencia na remoção de cor. A massa de 300 g apresentou uma eficiência final um pouco menor que as outras soluções, porém na primeira hora de ensaio já havia alcançado uma eficiência de 97%.

Na Figura 20, nota se a remoção de cor para granulometria com diâmetros entre 2,4 e 1,21 mm num período de 4 h, sendo que as alíquotas de 15 mL foram retiradas a cada uma hora.

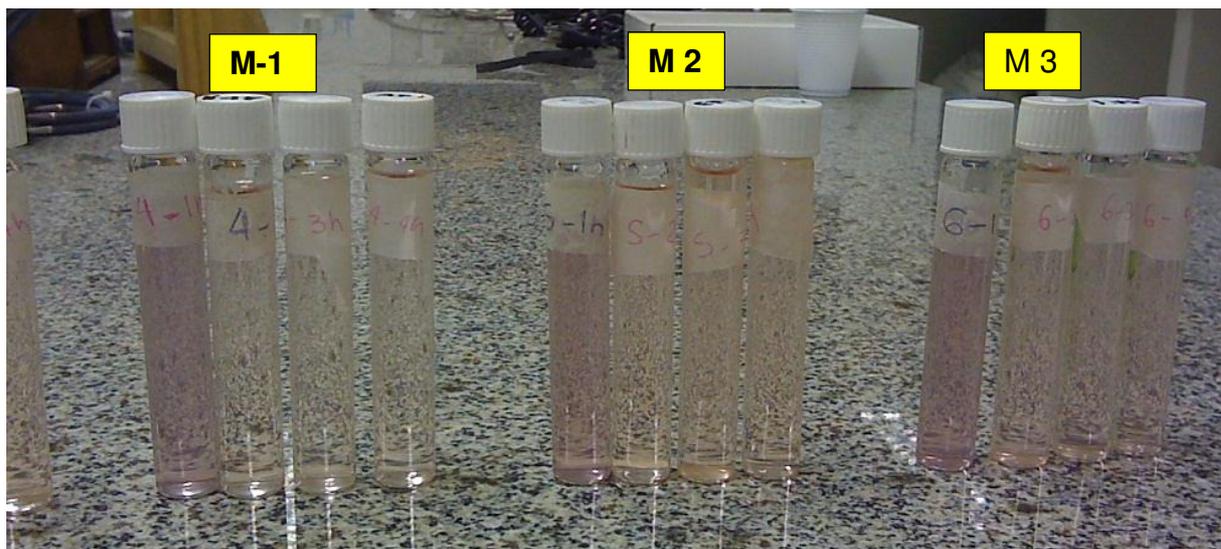


Figura 20 - Remoção de cor através de adsorção utilizando cerâmica de argila com diâmetros entre 2,4 e 1,21 mm.

Fonte: Autoria própria, (2012)

Da esquerda para direita temos o bloco dos frascos que compõem $m_1=200$ g, o segundo bloco $m_2=250$ g e o terceiro bloco $m_3=300$ g, sendo que cada bloco de 4 frascos compõem variação gradual de hora em hora.

Na Tabela 8 são apresentados os dados obtidos com $<1,2$.

Tabela 8 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria de menores que $\varnothing 1,2$ mm.

\varnothing (mm)	Tempo (h)	ABS	ABS	ABS
		$m_1 = 200$ g	$m_2 = 250$ g	$m_3 = 300$ g
<1,2	1	0,063	0,048	0,052
	2	0,065	0,048	0,03
	3	0,086	0,182	0,06
	4	0,072	0,031	0,039
	5	0,066	0,053	0,069
Eficiência (%)		97,6	98,1	97,5

Na Tabela 8 confirmou-se a informação da Tabela 7 relacionada ao tamanho das partículas, sendo que a Tabela 8 trata de materiais menores que 1,2 mm de diâmetro. As massas de 250 e 300 g na primeira hora de ensaio alcançavam a eficiência dos 98%.

Na Figura 21 é exibido o gráfico da variação da absorvância pelo tempo, para granulometria menor do que 1,2 mm e massas de 200, 250 e 300 g.

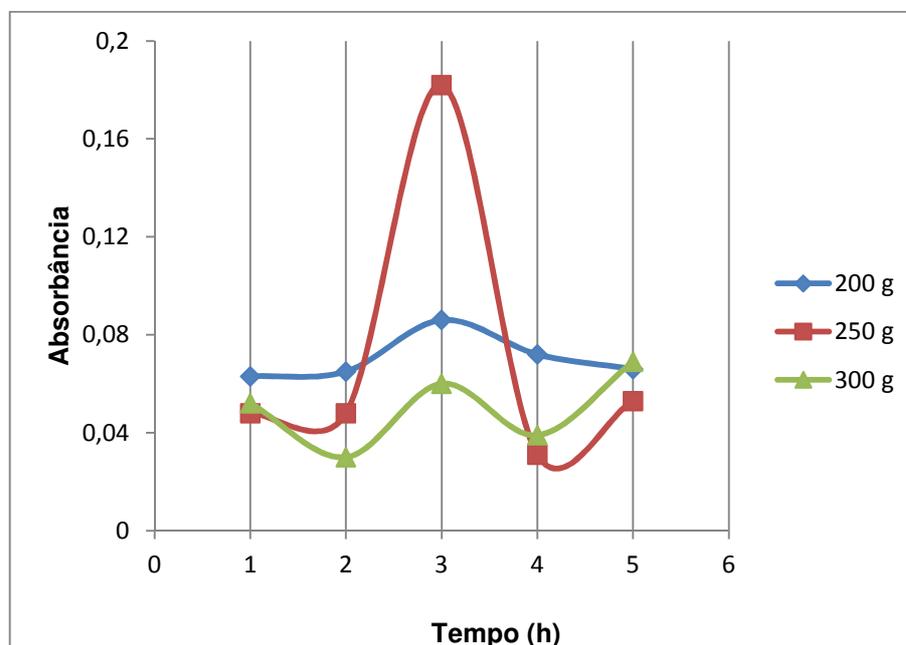


Figura 21 - Variação temporal da absorvância para partículas menores que 1,2 mm.

Fonte: Autoria própria, (2012).

As hipóteses para a discrepância ocorrida na medida na 3ª hora com massa de 250 g pode ser atribuídas pelo fato das partículas serem muito pequenas e mesmo submetendo amostras à centrifugação ainda ficarem material disperso nas alíquotas, outra hipótese dá-se pelo fato da cubeta utilizada ser de acrílico podendo conter riscos na área em que passa o feixe de leitura do espectrofotômetro, tais fatores podem ter influenciado nos resultados de absorvância apresentados na Tabela 8.

Na Tabela 9 são apresentados dados de absorvância e eficiência para granulometria variada, ou seja, foi feito ensaio de adsorção com todo o material passante na peneira de 4,8 mm sem um novo peneiramento.

O objetivo desse ensaio foi a verificação da relação entre a granulometria e o processo de adsorção.

Tabela 9 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor obtidos no ensaio de adsorção utilizando cerâmica de argila para as massas de 200, 250 e 300 g e granulometria menor que \varnothing 4,8 mm.

\varnothing (mm)	Tempo (h)	ABS	ABS	ABS
		$m_1 = 200$ g	$m_2 = 250$ g	$m_3 = 300$ g
>4,8	1	0,206	0,113	0,056
	2	0,159	0,088	0,053
	3	0,122	0,088	0,051
	4	0,118	0,070	0,047
Eficiência (%)		95,7	97,5	98,3

Na Figura 22 temos o gráfico da variação da absorvância em relação ao tempo para a granulometria variada, os valores da Figura 24 foram obtidos através dos dados coletados na Tabela 9.

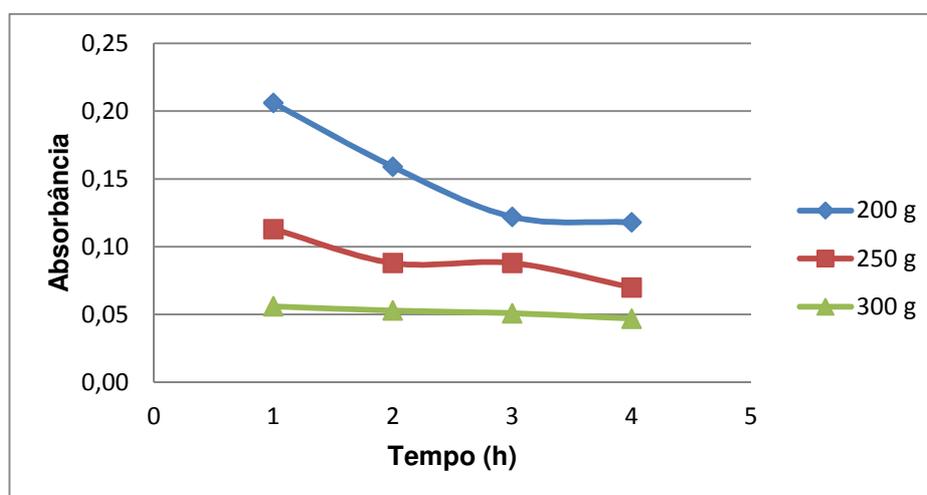


Figura 22 - Variação temporal da absorvância para partículas menores que 4,8 mm.

Fonte: Autoria própria, (2012).

Os resultados apresentados confirmam as expectativas geradas com a proposta do trabalho e corroboram as informações apresentadas por Conceição *et al.*, (2013) em que o adsorvente de cerâmica de argila chega aos 97% de remoção de cor, valor similar da remoção de cor obtida com carvão ativado por FREIRE (2010) de 99%.

De acordo com Bonancêa (2010), o carvão ativado após o uso na adsorção deve ser reativado o que gera uma perda de cerca de 10 a 15% do adsorvente, ou

deve ser depositado de forma apropriada, essa é outra justificativa para o uso da cerâmica de argila como adsorvente.

Conforme Conceição *et al.*,(2013) a eficiência foi superior aos 97% conseguidos com as massas de quantidades maiores, mostrando a ótima capacidade de adsorção da cerâmica de argila e despontando como um possível substituto do carvão ativado.

Logo com as informações obtidas abre se uma a possibilidade da substituição do uso do carvão ativado no tratamento de efluentes têxteis por cerâmica de argila, um resíduo muito comum na construção civil.

6.3 DESEMPENHO DAS UNIDADES DE ADSORÇÃO COM GESSO

Através de testes iniciais constatou-se que o gesso, apesar de adsorver cor da solução de corante, teria difícil operação, devido ao processo de reidratação. como pode ser verificado observando a Figura 23.



Figura 23 - Gesso reidratado e solução de corante direto marinho 5 mg/L (esquerda) e solução de corante direto marinho 5 g/L. Fonte: Autoria própria, (2012).

Durante os testes com o gesso, formou-se primeiramente uma massa líquida e densa de gesso e em seguida duas fases líquidas, sendo uma solução aquosa de corante residual e outra mais densa de gesso que adsorveu parte da cor da solução.

6.4 REAÇÃO FENTON

Os resultados a seguir confirmam a literatura em relação ao POA, sabendo que a degradação do corante ocorre em poucos minutos. De acordo com Gomes (2009) o tempo ótimo para a reação Fenton é de 30 minutos.

A comparação visual da eficiência da remoção de cor do no ensaio de reação Fenton se verifica na Figura 24. No primeiro frasco da esquerda para a direita é apresentado o efluente bruto, no segundo frasco tem-se a remoção de cor após uma hora de agitação para massa de 300 g de resíduo de ferro e no ultimo frasco amostra de agua potável da rede da SANEPAR.



Figura 24 - Comparação entre a solução inicial, a solução após o processo de reação Fenton e água potável da SANEPAR.
Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 10 são apresentadas as absorvâncias e as eficiências finais para a reação Fenton com as massas de 200 g, 250 g e 300 g.

Tabela 10 - Valores de absorvância e eficiência final de remoção de cor

Tempo (h)	ABS M1=200 g	ABS M1=250 g	ABS M1=300 g
1	0,03	0,009	0,015
2	0,019	0,002	0,010
Eficiência (%)	99,3%	99,99%	99,6%

As massas consideradas são de resíduos de ferro acrescidas 10 ml de peróxido de hidrogênio na concentração de 40 volumes, caracterizando como reação Fenton, o ensaio teve duração 2 horas e as alíquotas retiradas cada 1 hora.

Assim como Gomes (2009) a eficiência encontrada foi superior aos 99,8%, porém ao invés de usar fontes de Fe^{+2} o resíduo utilizado para a reação Fenton foi proveniente de serralheria.

É comprovada a eficiência desse resíduo comparando se os resultados com Martins *et al.*, (2010) em que a eficiência de remoção de cor alcançada foi de 97,9% com fontes de Fe^{+2} , ficando abaixo dos 99,99% de remoção de cor obtido com resíduo de serralheira.

A reação Fenton com resíduo de serralheria comprovou seu potencial ao compararmos a eficiência de remoção de cor alcançada por Santana, (2010), pois na reação Foto-Fenton que é um processo oxidativo avançado alcançou os 97,2%, abaixo dos 99,3% obtidos com a menor massa.

Vale a pena ressaltar que esses números possuem diversas variáveis como: tipo de corante, concentração de peróxido de hidrogênio, quantidade de ferro utilizado, tempo de reação, pH, temperatura entre outras.

7 CONCLUSÕES

7.1 UNIDADES DE ADSORÇÃO COM CERÂMICA DE ARGILA

Diante dos resultados obtidos os autores concluem que:

- A remoção média de cor nas unidades de adsorção de argila foi de 97,3%;
- A cerâmica de argila confirmou o ótimo potencial de adsorção para remoção de cor;
- A variação granulométrica influencia na eficiência e no tempo de adsorção, sendo que quanto menor o tamanho da partícula melhor o desempenho da adsorção;
- A massa empregada é de fundamental importância no processo de remoção de cor, sendo que maiores massas alcançam maiores eficiências em menor tempo;
- Quando se tratar de adsorvente menor que 1,2 mm após a adsorção mesmo passando as amostras em centrifugas ficam ainda partículas dispersas no efluente o que pode dificultar algumas leituras;
- É possível substituir o adsorvente comumente usado no mercado (carvão ativado) por resíduos de cerâmica de argila para adsorção com foco em remoção de cor;
- As eficiências encontradas no ensaio de granulometria variada foram um pouco menores em relação ao material uniforme, porém os são valores superiores aos 95%, o que é considerado ótimo para um adsorvente alternativo e;
- O tempo é um fator proporcional em relação a absorvância, ou seja, aumenta o tempo aumenta a eficiência de remoção de cor que foi medida através da absorvância. É bom frisar que a massa de 300 g na primeira hora já havia alcançado os 98% de remoção de cor.

7.2 REAÇÃO FENTON

Com os resultados obtidos os autores concluem que:

- A confirmação da literatura reportada em que os POA's são de excelente desempenho na remoção de cor;
- O tratamento químico leva menos tempo para alcançar a eficiência em comparação com o tratamento físico e;
- Apesar de ser uma substância impura de Fe a eficiência para degradação do corante orgânico foi ótima aproximando-se de 100%.

7.3 UNIDADES DE ADSORÇÃO COM GESSO

Com os resultados obtidos os autores concluem que:

- Apesar de apresentar elevada porosidade o gesso não se recomenda para ser utilizado para adsorção de efluentes devido a sua reidratação e;
- Por ocorrer a reidratação do gesso formou-se uma solução homogênea dificultando a separação do sobrenadante impossibilitando as leituras de absorvância e a separação entre adsorvente e adsorbato.

7.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

- Em relação à adsorção sugere-se que seja feita uma análise no adsorvente que sobra do tratamento no caso de cerâmica de argila para ver a possível forma de descartá-lo;
 - Testar novos adsorventes;
 - No processo Fenton, analisar os metais que restam no efluente após o tratamento;
 - Verificar a interferência granulométrica do resíduo na influência na reação Fenton e;
 - Verificar viabilidade técnica e econômica para a aplicação dos adsorventes.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M., **Manual de Engenharia Têxtil, v.2**. Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Dados estatísticos a respeito da indústria têxtil no Brasil**. Disponível em <http://www.abit.org.br/site/default.asp?idioma=PT>. Acesso em: maio de 2012.

AUGUSTINI, C - **Trabalho Infantil x direito a Propriedade** – Ministério Público - Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.mp.rs.gov.br/infancia/doutrina/id142.htm>, acesso em m 31/05/2012

BASTIAN, E. Y. O.. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil** / Elaboração Elza Y. OnishiBastian, Jorge Luiz Silva Rocco ; colaboração Eduardo San Martin ... [et al.,.]. - - São Paulo : CETESB : SINDITÊXTIL, 2009. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/guia_textil.pdf, acesso em maio de 2012

BAUTISTA, P. MOHEDANO, A.F. CASAS, J. A. ZAZO, J. A. RODRIGUES, J.J. Review – **Na overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment**. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Society of Chemical Industry. 2008.

BONANCÊA, C. E. **Estudo espectroscópico de processos de degradação fotoquímica e fotoeletroquímica de corantes**: São Paulo – SP, 2010 – Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo.

BORGES, F.M.; SILVA, F.P.; CARVALHO, M.C.; FILHO, A.G., **Desenvolvimento e criação de uma unidade produzida de carvão ativado**, 2003. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003 – Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0502_0601.pdf

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A, **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, CETESB, 1993.

CAMPOS, M. J. C., CAMPOS L. H.R. **Competitividade do Setor Têxtil Brasileiro: uma abordagem a nível estadual**. Recife, 2004. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/ETENE/Anais/docs/mesa1_texto1.pdf

CONCEICAO, V. M. ; FREIRE, F.B. . **Tratamento de efluente têxtil sintético contendo corante azul índigo em reator UASB seguido de adsorção em carvão ativado e bagaço de cana-de-açúcar**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre. Anais do 26 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

CONCEICAO, V. M.; FREIRE, F.B.; CARVALHO, K. Q. **Treatment of textile effluent containing indigo blue dye by a UASB reactor coupled with pottery clay adsorptant**. In: Acta Scientiarum Technology, Maringá - PR, 2013.

DULLIUS, C. H. **Utilização de fungos para biodegradação de corantes têxteis sintéticos**. Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional 2000.

FREIRE, F.B. **Tratamento Anaeróbio de efluente contendo Pentaclorofenol em reator de leito fluidificado** – (tese de doutorado), São Paulo - SP, USP – São Carlos, 2005.

GIORDANO, G. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos**. Niterói – RJ, 1999. 137 p. Dissertação de Mestrado (Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 1999.

GOMES, L.M. **Estudo da Otimização do Processo Fenton para o Descoramento de Corantes Azo** – (dissertação de mestrado), São Paulo – SP, USP – São Carlos, 2009.

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

KON, A. **Tecnologia e trabalho no cenário da globalização**. In: DOWBOR, L. (Org.) Desafios da globalização. Petrópolis: Vozes, 1998.

KUNZ, Airton et al.,. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química. Nova, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002. Disponível em: KUNZ, Airton et al.,. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.

HASSEMER, M. E. N. et al.,. **Oxidação por via úmida ativada – UV/H₂O₂ – Para degradação da cor de efluentes têxteis**. Campo Grande-MS, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

HEMKEMEIER, Macelo. **Pós- tratamento de efluente de embalagens metálicas utilizando reator de batelada sequencial (RBS) para remoção da demanda química de oxigênio**. Campo Grande-MS, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

IMMICH, A.P.S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)– Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MANAHAN, S. E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**. 2th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2001

MARTINS, L. M., SILVA, C.E. , NETO, J.M.M., LIMA, A.S., MOREIRA, R.F.P.M., **Aplicação de Fenton, foto Fenton e UV/H₂O₂ no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante preto Biozol UC** – Artigo Técnico apresentado a revista de engenharia sanitária V.16 n.3, páginas 261-270, 2011.

MORAES, S. G., “**Processo fotocatalítico combinado com sistemas biológicos no tratamento de efluentes têxteis**”, Tese de Doutorado do Instituto de Química, Unicamp, Campinas SP, p141, 1999.

OLIVEIRA, C. C. N., **Estudos de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção de corante têxtil “Remazol Black B” sobre bagaço de cana-de-açúcar in natura e carvão ativado**. Pernambuco: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Dissertação (Mestrado)

PAPADOPOULOS, A. E. ; FATTA, D.; LOIZIDOU, M. **Development and optimization of dark Fenton oxidation for the treatment of textile waste waters with high organic load**. Journal of Hazardous Materials, v 146, n.3, p. 558-563, 2007.

PARANÁ BUSINESS COLLECTION, **Dados estatísticos da indústria têxtil no Paraná**, 2012. Disponível em :<http://paranabusinesscollection.com.br/ed04/pt/releases/?cod=77&tit=A+FIEP+e+a+Ind%FAstria+do+Paran%E1>

PIGNATELLO, J.J.; OLIVEROS, E.; MACKAY, A. **Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 36(1), 1-84, 2006.

SALGADO, B.C.B. et al.,. **Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂)**. Eng. Sanit. Ambient. V.14 – Nº.1, jan/mar 2009, 1-8p., 2009

SANTANA, C.M. **Estudo da degradação de corante têxtil em matrizes aquosas por meio dos processos oxidativos avançados O₃-H₂O₂/UV e Foto Fenton – Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP – São Paulo – SP , 2010**

SILVA, M.A.C. **Avaliação experimental e modelagem do processo contínuo de adsorção do preto remazol B em coluna de leito fixo de carvão ativado**; 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

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

SOUZA, B.S., MELO C., SILVA, M.G.C **Remoção de cor de efluente têxtil por adsorção em carvão ativado – Unicamp 2007**, disponível em : <http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xvcongresso/cdrom/pdfN/801.pdf>

TEXBRASIL: PROGRAMA DE EXPORTAÇÃO DA INDÚSTRIA DA MODA BRASILEIRA - **Dados estatísticos a respeito da indústria têxtil no Brasil.** Disponível em <http://www.texbrasil.com.br/texbrasil/Index.aspx>. Acesso em: maio de 2012.

TUPY: Indústria de corantes para tecido. **Especificações de Corante Orgânico Direto.** Disponível em <http://www.corantestupy.com.br/html/linha.htm>. Acesso em 23 de fevereiro de 2013.