

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES TÊXTEIS COM TRATAMENTO
DE LODOS ATIVADOS E UM POLIELETRÓLITO ORGÂNICO**

FLÁVIO DE ANDRADE

**FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA
DEZEMBRO DE 2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES TÊXTEIS COM TRATAMENTO
DE LODOS ATIVADOS E UM POLIELETRÓLITO ORGÂNICO**

Flávio de Andrade

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental**

Orientador: Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.

**FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA
DEZEMBRO DE 2003**

**REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES TÊXTEIS COM TRATAMENTO DE LODOS
ATIVADOS E UM POLIELETRÓLITO ORGÂNICO**

Flávio de Andrade

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental

Aprovado por:

Prof. Marcos Rivail da Silva, Dr.

Prof. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, Dr.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
(Orientador)

Prof. Armando Borges de Castilhos, Dr.
(Coordenador)

**FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA
DEZEMBRO DE 2003**

Dedico este trabalho:

A Deus, por ter me guiado, pois sem ELE, nada do que alcancei seria possível.

À minha mãe, grande exemplo de mulher, pelo amor, apoio, orientação e dedicação em todos os momentos de minha vida.

Ao meu avô, João Pereira de Souza (in memoriam) e meu irmão, Demitrio de Andrade (in memoriam) que certamente estariam vibrantes por esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Flávio Rubens Lapolli pelo apoio, paciência e orientação.

A Teka – Tecelagem Kuehnrich, nas pessoas dos Srs. Olídio Mordhorst, Hilário Quintani, Alcemir Euclides Karasinski e Osório de Faveri, pelo apoio e por cederem os efluentes e instalações, objetos do estudo e realização deste trabalho.

A Zanotti S.A., em especial aos Srs. Valdemar Zanotti e Luis Fernando Contezini, pelo apoio na fase final de meu trabalho.

Aos Srs. José Otávio Cantador e Aldo Dornelles de Oliveira, da Lambra Produtos Químicos, pelo apoio técnico e amizade.

Ao Laboratório de Análises de Efluentes do SENAI de Blumenau.

À minha colega Melícia Martins.

A White Martins pelo apoio técnico, em especial a Sr^a Denise e Sr. Floriani.

Aos professores e colaboradores do Curso de Pós-Graduação, dos quais fui aluno e que contribuíram para minha formação.

A todos que auxiliaram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.OBJETIVOS	4
1.1.1.Objetivo Geral	4
1.1.2.Objetivos Específicos	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INDÚSTRIA TÊXTIL	5
2.2. PROCESSO TÊXTIL	10
2.3. O USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL	14
2.4. CORANTES	14
2.4.1. Tipos de Corantes	15
2.5. EFLUENTES TÊXTEIS	19
2.5.1. O que são efluentes industriais	19
2.5.2. O efluente do processo de tingimento	20
2.5.3. Composição dos efluentes têxteis	22
2.6. TRATAMENTO DE EFLUENTES	26
2.6.1. Tipos de Tratamento	27
2.7.REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES TÊXTEIS	34
2.7.1. Remoção de Cor por Destruição Química	34
2.7.2. Precipitação	36
2.7.3. Outras reações químicas	36
2.7.4. Remoção de Cor por Coagulação e Floculação	37
2.7.5. Remoção de Cor por Adsorção	38
2.7.6. Remoção de Cor usando Membranas	39
2.7.7. Processos Combinados	40
2.7.8. Lagoas de Estabilização	40
2.8. TRATAMENTO BIOLÓGICO COM OXIGÊNIO PURO	42
2.8.1. Sistemas de Dissolução de Oxigênio	43

2.8.1.1. Sistema Mixflow	43
2.8.1.2. Sistema Efluox	46
2.8.1.3. Sistema ISO	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1. 1ª ETAPA - TESTE EM LABORATÓRIO	51
3.1.1. Efluente Têxtil	51
3.1.2. Produtos Químicos Utilizados	52
3.1.3. Materiais	53
3.1.4. Métodos Analíticos	53
3.1.5. Teste Experimental em Laboratório	54
3.1.5.1. Preparação das soluções	54
3.1.5.2. Teste Experimental 1	55
3.1.5.3. Teste Experimental 2	56
3.1.5.4. Teste Experimental 3	56
3.2. 2ª ETAPA - TESTE EM PLANTA	57
3.2.1. Apresentação	57
3.2.2. Descrição do Processo de Tratamento	58
3.2.2.1. Unidade de Gradeamento e Caixa de Areia	58
3.2.2.2. Filtros Rotativos	59
3.2.2.3. Tanques de Equalização	60
3.2.2.4. Sistema de Resfriamento	60
3.2.2.5. Reatores Biológicos	61
3.2.2.6. Decantadores	61
3.2.2.7. Calha Parshall	62
3.2.2.8. Filtro Belt-Press	62
3.2.3. Desenvolvimennto Parte Experimental na ETE	64
3.2.4. Preparação do Polímero para remoção de cor	66
3.2.5. Equipamentos	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1- TESTE EM LABORATÓRIO	67
4.1.1. Teste em Laboratório 1	67
4.1.2. Teste em Laboratório 2	70
4.1.3. Teste em Laboratório 3	73

4.2. TESTE EM PLANTA_____	76
4.2.1. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos nos testes realizados planta_____	78
4.2.1.1. Cor_____	78
4.2.1.2. DBO – DQO – Turbidez_____	79
4.2.1.3. Nitrogênio e Fósforo_____	82
4.2.1.4. Temperatura e pH_____	83
4.2.2. Avaliação Consumo de Oxigênio e Polímero Orgânico_____	85
4.2.3. Avaliação do SST e SSV do Lodo Biológico_____	87
5. CONCLUSÕES_____	89
6. SUGESTÕES_____	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS_____	92
APÊNDICE A_____	104
APÊNDICE B_____	105
APÊNDICE C_____	106

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
AOX	Halogênio Orgânico Adsorbível
COT	Carbono Orgânico Total
cm ²	Centímetro Quadrado
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EDTA	Ácido Etilenodiaminotetraacético
EPA	Agência de Proteção Ambiental (USA)
FeCl ₃	Cloreto Férrico
ICMS	Impostos sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
Kg	Kilograma
Kw	Kilowatt
L	Litro
m ³	Metro Cúbico
mA	miliampere
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama / Litro
N	Nitrogênio
nm	Nanômetro
O ₂	Oxigênio
P	Fósforo
PAC	Cloreto de Poli-Alumínio

PCDD	Policloro Dibenzeno p-Dioxina
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVA	Álcool Polivinílico
Q	Vazão de Entrada
Q _r	Vazão de Recirculação de lodo
Q _s	Vazão de Saída
SAB	Sulfato de Alumínio base seca
SAID	Società Italiana de Acetylene e Derivati
SINTEX	Sindicato das Indústrias de Fiação, Tecelagem e do Vestuário
S _o	Substrato Inicial
S _r	Substrato na Reciclagem
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
TCDD	Tetracloro Dibenzodioxina
UV	Ultra Violeta
X _r	Concentração do Lodo na Recirculação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo Hídrico no Mundo _____	6
Figura 2. Geração de Emprego na Cadeia Têxtil Brasileira _____	7
Figura 3. Fluxograma do Processo da Indústria Têxtil de Algodão _____	13
Figura 4. Produtos mais utilizados no processo de tingimento _____	22
Figura 5. Processos de tratamento de efluentes _____	27
Figura 6. Esquema Simplificado de um Tratamento com Lodo Ativado _____	32
Figura 7. Sistema Mixflow _____	44
Figura 8. Sistema Efluox _____	47
Figura 9. Sistema ISO _____	49
Figura 10. ETE Teka Blumenau _____	58
Figura 11. Captação e Gradeamento _____	59
Figura 12. Filtros Rotativos _____	59
Figura 13. Tanques de Equalização _____	60
Figura 14. Trocadores de Calor _____	60
Figura 15. Reator Biológico _____	61
Figura 16. Decantador _____	62
Figura 17. Prensas Desaguadoras _____	62
Figura 18. Fluxograma ETE TEKA Blumenau _____	63
Figura 19. Lay-out ETE _____	65
Figura 20. Remoção de cor do teste 1 em laboratório, utilizando todos os produtos químicos em diferentes dosagens _____	68
Figura 21. Remoção de cor do teste 1 em laboratório para diferentes dosagens a) Polímero Orgânico b) FeCl ₃ c) SAB d) PAC _____	69
Figura 22. Remoção de cor do teste 2 em laboratório, após redução do pH, para os diferentes produtos e dosagens _____	71

Figura 23. Remoção de cor do teste 2 em laboratório para diferentes dosagens a) Polímero Orgânico b) FeCl ₃ c) SAB d) PAC_____	72
Figura 24. Remoção de cor do teste 3 em laboratório, para os diferentes produtos e dosagens, efluente coletado após o tratamento biológico na ETE_____	73
Figura 25. Remoção de cor do teste 3 em laboratório para diferentes dosagens a) Polímero Orgânico b) FeCl ₃ c) SAB d) PAC_____	74
Figura 26. Remoção de cor na fase experimental em planta_____	79
Figura 27. Remoção de DQO na fase experimental em planta_____	80
Figura 28. Remoção de DBO na fase experimental em planta_____	81
Figura 29. Remoção de Turbidez na fase experimental em planta_____	81
Figura 30. Remoção de Nitrogênio na fase experimental em planta_____	82
Figura 31. Remoção de Fósforo na fase experimental em planta_____	83
Figura 32. Temperatura do efluente na fase experimental em planta_____	84
Figura 33. Redução do pH na fase experimental em planta_____	85
Figura 34. Consumo de Oxigênio e Polímero Orgânico na fase experimental em planta	86
Figura 35. Redução do SST e SSV na fase experimental em planta_____	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo de água por setor consumidor_____	5
Tabela 2. Características médias dos efluente têxteis em SC_____	9
Tabela 3. Caracterização dos efluentes para os ensaios em laboratório_____	52
Tabela 4. Percentual de remoção de cor do teste 1 em laboratório, utilizando diferentes dosagens para cada produto testado_____	68
Tabela 5. Percentual de remoção de cor do teste 2 em laboratório, após a redução do pH, para os diferentes produtos e dosagens_____	71
Tabela 6. Percentual de remoção de cor do teste 3 em laboratório, para os diferentes produtos e dosagens, efluente coletado após o tratamento biológico na ETE_____	73
Tabela 7. Tabela 7 – Média dos resultados dos testes realizados em planta Teste 1 – efluente com resfriamento sem polímero orgânico Teste 2 – efluente com resfriamento com polímero orgânico Teste 3 – efluente sem resfriamento com polímero orgânico_____	77
Tabela 8. Consumo do Polímero Orgânico e Oxigênio_____	86
Tabela 9. Resultados do lodo do reator biológico_____	88

RESUMO

O processo na indústria têxtil, principalmente nas etapas de tingimento e acabamento, requer um grande volume de água. Corantes são largamente utilizados e os efluentes gerados tornam-se altamente contaminados por esses corantes. Esse trabalho teve por objetivo avaliar a remoção de cor de um efluente têxtil através de um processo biológico aeróbio com oxigênio puro em conjunto com a adição de um polímero para remoção de cor, demonstrando alguns fatores que podem influenciar na eficiência de global do tratamento biológico. Inicialmente foram realizados testes de bancada em laboratório comparativo entre coagulantes inorgânicos e o polímero para remoção de cor (caráter orgânico), para verificar qual desses produtos apresentam uma melhor eficiência na remoção de cor de um efluente têxtil bruto antes de ser submetido a qualquer tipo de tratamento. O procedimento também foi realizado com amostras retiradas dos reatores biológicos, para determinar a reprodutibilidade dos ensaios. No teste com efluente bruto na dosagem de 700 mg/L o desempenho do polímero orgânico foi superior a todos os coagulantes inorgânicos, 52,0% em relação ao SAB, 21,1% em relação ao FeCl₃ e 23,3 % em relação ao PAC. Após os ensaios em bancadas determinou-se o melhor desempenho do polímero para remoção de cor frente aos coagulantes inorgânicos. Partiu-se em seguida para testes em escala real, onde se verificou que a remoção de cor do efluente têxtil no tratamento biológico foi maximizada com a adição do polímero para remoção de cor, reduzindo a necessidade de aplicação de coagulantes inorgânicos no tratamento. A eficiência de remoção de cor do tratamento sem o polímero orgânico foi de 82,5% com o lançamento de efluente com uma cor de 323 UPtCo, com o uso do polímero a eficiência foi de 94,6% e a cor do efluente de 107 UPtCo. No caso da DBO a emissão sem o polímero era de 22,7 mg/L sendo reduzida para 13,2 mg/L com a utilização do polímero, bem como, a DQO que sem o polímero era de 136 mg/L e com o polímero foi reduzida para 82 mg/L.

ABSTRACT

The textile manufacturing process, especially in the dyeing and finishing stages, requires large volumes of water. Dyestuffs are used extensively and the subsequent effluents generated are contaminated by these dyestuffs. This study investigates the removal of color from textile industry effluent through an aerobic biological process using pure oxygen in conjunction with the addition of a color-removing polymer, and will demonstrate what factors influence the overall efficiency of biological treatment of effluents. Tests were initially carried out in the laboratory, comparing how inorganic coagulants and the polymer performed in color removal, in order to ascertain which was more efficient in color removal from raw textile effluent before it was submitted to any other type of biological or physico-chemical treatment. This same procedure was also carried out on samples taken from biological reactors to verify the reliability of the tests. In the crude effluent test with in the dosage of 700 mg/L the performance of organic polymer was superior to all the inorganic coagulants, 52.0% in relation to the SAB, 21.1% in relation to FeCl_3 and 23,3 % in relation to the PAC. After laboratory testing, we could determine that the polymer produced a better performance than the inorganic coagulants in color removal. We then carried out tests in the factory, where was verified that the removal of color from textile effluent was most effective with the addition of a color-removing polymer, which reduced the need for adding inorganic coagulants in the treatment process, in many cases rendering them totally unnecessary. The efficiency of removal of color of the treatment without organic polymer was of 82,5% with the launching of effluent with a color of 323 UPtCo, with the use of polymer the efficiency was of 94,6% and the 107 color of the effluent one of UPtCo. In the case of the DBO the emission without polymer was of 22,7 mg/L being reduced for 13,2 mg/L with the use of polymer, as well as, the DQO that without polymer was of 136 mg/L and with polymer mg/L was reduced for 82.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao processo de industrialização têxtil de Santa Catarina, as cidades foram crescendo ao redor das indústrias e, como consequência, estas estão atualmente localizadas em zonas urbanas densamente ocupadas, o que tende a agravar ainda mais os problemas de poluição de um modo geral, principalmente aqueles ligados aos tratamentos de água e esgoto (Wolff, 1997).

As atividades industriais cresceram muito nos últimos anos e atraíram consigo novos problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos, provenientes de subprodutos gerados pela indústria. A eliminação desses produtos tóxicos é atualmente um dos mais importantes assuntos em controle de poluição, o que tem levado os pesquisadores a buscar novas técnicas e ferramentas mais poderosas para diminuir ou eliminar a toxicidade dos efluentes gasosos e líquidos formados em seus distintos processos, sempre levando em conta as regulamentações e legislações voltadas à proteção ambiental.

O setor têxtil, um dos mais antigos de Santa Catarina, representa em média 25% das indústrias do Estado. Efluentes coloridos da indústria têxtil são uma importante fonte de contaminação ambiental. É estimado que de 1% a 15% dos corantes utilizados pelas indústrias têxteis são perdidos durante o processo de tingimento e liberado no efluente (Galindo et al, 2001). A liberação desses efluentes coloridos no ecossistema é uma fonte dramática de poluição estética e interferência na vida aquática (Hermann et al, 2001).

O efluente gerado na indústria têxtil tem composição química variada, dependendo da etapa de processamento, sendo que sua composição é um dos maiores responsáveis pela grande dificuldade em tratá-los.

O problema de cor intensa nos efluentes têxteis é consequência de grande quantidade de corantes não-fixados, ionizados, principalmente os corantes reativos que, segundo Karcher et al (1999), possuem pequena degradabilidade, tornando sua eliminação difícil tanto pelos processos físico-químicos quanto pelo biológico.

Segundo Bergna et al (1999), as indústrias têxteis estão entre as indústrias que mais consomem água, utilizando cerca de 100 m³ de água e emitindo cerca de 100 Kg de DQO por tonelada de tecido produzido. A remoção de cor é uma das tarefas mais difíceis no processo de tratamento de efluentes têxteis. O residual de cor tem limitado os processos de reciclagem de água. Quando as descargas de efluente são lançadas no sistema de esgoto ou no meio ambiente, a remoção de cor é também essencial para minimizar os danos ecológicos e cumprir a legislação. (KARCHER, KORNMÜLLER E JEKEL, 1999, citado por ALVES, 2000).

O tratamento convencional para remoção de cor dos efluentes têxteis é baseado na coagulação e precipitação destes corantes, através da adição de inúmeros auxiliares químicos gerando uma quantidade excessiva de lodo físico-químico, composto essencialmente de corantes, sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cal e polímeros.

Segundo Hassemer (2000), a escolha do processo ou da seqüência do processo de tratamento, depende de uma série de fatores como características do efluente, qualidade do efluente após o tratamento, custos, disponibilidade de área e disponibilidade tecnológica.

Devido à boa remoção da carga orgânica e ser um processo reconhecidamente seguro, o tratamento biológico aeróbio é amplamente utilizado em efluentes têxteis. As substâncias

orgânicas podem ser removidas por um processo secundário de tratamento biológico, mas a cor é reduzida pelo uso de métodos físico-químicos (Sapari, 1996; Kirby, 1995; Chang et al, 1994).

Entre os vários meios de aeração muitos autores considerando o mais eficiente à utilização do oxigênio puro. Existem diversos tipos de tratamentos a oxigênio puro utilizados para a redução da matéria orgânica do efluente gerado pelo processo industrial e municipal. Estes tratamentos são necessários para que o efluente cause o menor impacto possível no corpo receptor que venha recebê-lo.

No Brasil, existe hoje, um número considerável de unidades de tratamento de efluentes líquidos com oxigênio puro. Este número, crescente, deve-se as necessidades de tecnologias mais limpas, menores consumo de energia, menor necessidade de espaço, menor produção de lodo, para que não traga graves conseqüências à degradação ambiental, com reflexos sobre os ecossistemas existentes.

Este trabalho tem como objetivo estudar a remoção de cor de um efluente têxtil através de um tratamento biológico com a adição de um polímero removedor de cor.

Pretende-se com este estudo avançar no domínio de técnicas de descoloração destes corantes, reduzindo sensivelmente a necessidade de aplicação dos vários auxiliares de floculação e decantação, diminuindo assim a geração de lodo no tratamento dos efluentes têxteis.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a remoção de cor de um efluente gerado em uma indústria têxtil catarinense através de um tratamento biológico aeróbio de lodos ativados, com a adição de um polímero de remoção de cor complementando o tratamento biológico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da adição de um polímero para remoção de cor nos parâmetros físico-químicos de eficiência de um tratamento biológico (DBO, DQO, SST, SSV, nitrogênio total e fósforo total).
- Avaliar a influência do pH e temperatura na eficiência de remoção de cor.
- Verificar com testes de laboratório qual o produto mais eficiente na remoção de cor entre coagulantes inorgânicos e o polieletrólito de remoção de cor.
- Verificar a reprodutibilidade dos ensaios de remoção de cor realizados em laboratório em uma estação de tratamento de efluente com lodos ativados.
- Demonstrar a eficiência de um tratamento de efluentes que utiliza oxigênio puro na remoção de cor de um efluente têxtil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é um dos maiores setores industriais do mundo, em termos de produção e número de empregados. As facilidades de produção variam desde plantas altamente automatizadas até artesanais, mas todas elas se caracterizam como grandes consumidoras de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (Sanin, 1996).

A indústria têxtil utiliza uma parte importante da água disponível para a indústria em geral. Na tabela 1 apresenta-se a evolução do consumo de água no século XX. Na figura 1, nota-se claramente que os maiores consumidores de água são os setores agrícola e industrial. Dentro desta última, o setor têxtil consome 15% da água, gerando depois do processo, efluentes altamente contaminados (Peres & Abrahão, 1998).

Tabela 1 - Consumo de água por setor consumidor (Water in Crisis)

Setor/consumo Anual (1.000 m ³)	1900	1950	1970	1980	2000
Irrigação na Agricultura	409	859	1.400	1.730	2.500
Indústria	4	15	38	62	117
Municipal	4	14	29	41	65
Reservatório	-	7	66	120	220
Total	417	894	1.540	1.950	2.900

Fonte: World Resources Institute; ONU, 1999.

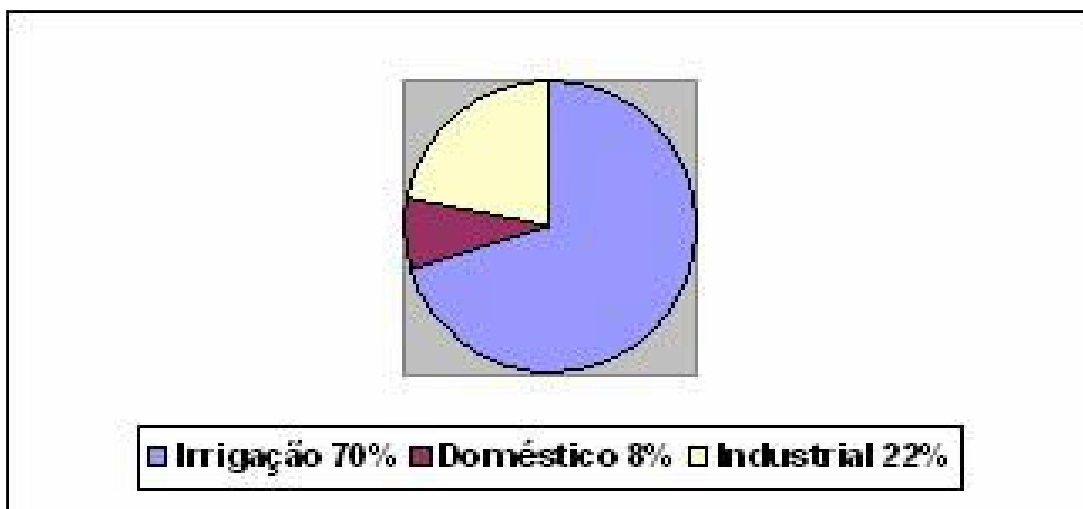


Figura 1. Consumo Hídrico no Mundo
Fonte: World Resources Institute; ONU, 1999.

O Estado de Santa Catarina possui um parque fabril dos mais avançados da América, destacando o Vale do Itajaí como um dos maiores pólos têxteis do Brasil. Santa Catarina se destaca no cenário nacional de produção de têxteis pela grande concentração de empresas na região. O setor emprega aproximadamente 93 mil funcionários e impulsiona a economia do Estado, abrangendo as atividades de fiação e tecelagem, beneficiamento de fibras têxteis vegetais, artificiais e sintéticas, de matérias têxteis de origem animal, fabricação de artefatos têxteis, tecidos elásticos, malharias, acabamento de fios e tecidos, fabricação de tecidos especiais (Wolf, 1997).

Segundo dados da FIESC (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina), publicados em 1998, são 3293 micro, 412 pequenas, 111 médias e 31 grandes indústrias, totalizando 3.847. Concentra, inclusive, as empresas líderes na produção de artigos de cama, mesa e banho. O Estado é hoje responsável por 10% do faturamento total dos têxteis nacionais, 25% do total de produtos exportados por toda a cadeia têxtil brasileira (ABIT,

2002; SINTEX, 2002), 12% das exportações catarinenses (US\$ 330 milhões) e por 8% do ICMS (Impostos sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) estadual.

Segundo a ABIT, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, no ano de 2002 foram gerados mais de vinte dois mil novos empregos pelo setor têxtil em todo país, sendo que Santa Catarina foi responsável por 43% do total nacional.



**Figura 2 – Geração de Emprego na Cadeia Têxtil Brasileira (ABIT, 2002).
FONTE: ABIT (2002)**

A importância desse segmento industrial no Estado de Santa Catarina chama a atenção nos aspectos ambientais relacionados com esta atividade. As operações de limpeza, tingimento e acabamento em uma indústria têxtil dão origem a um grande volume de efluentes (Sales, 1999). A recirculação desses rejeitos e recuperação dos produtos químicos e subprodutos constituem os maiores desafios enfrentados pela indústria têxtil, com o objetivo de reduzir os custos com o tratamento de seus rejeitos. Se a coloração dos efluentes do tingimento pudesse ser eliminada, estes poderiam ser reutilizados para outros processos como

enxágües, limpezas ou tingimentos, com a conseqüente economia do consumo de água (López e Guitarra, 2000).

As operações de tingimento têxtil geram efluentes freqüentemente coloridos, esteticamente de aspecto desagradável e podendo conter alta concentração de metais pesados, dependendo da natureza do corante aplicado (Kouba & Ping, 1994).

O efluente têxtil foi considerado por muitos autores difícil de ser tratado, devido a seu alto grau de não biodegradabilidade. A não biodegradabilidade está relacionada com o alto teor de corantes, surfactantes e aditivos, os quais geralmente são compostos orgânicos de estrutura complexa (Balan, 2001).

A maior parte da carga contaminante está constituída por impurezas inerentes à matéria-prima, produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem, auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas do acabamento.

A coloração do efluente é um problema unicamente óptico. Ela está, na realidade, subordinada a outros parâmetros, DBO – demanda bioquímica de oxigênio e DQO – demanda química de oxigênio, que representam a grandeza decisiva do resíduo orgânico presente na água (Schrack, 2000).

Os corantes são caracterizados pela sua habilidade em absorver a luz visível (400 a 700 nm). Corantes orgânicos e inorgânicos têm sido usados desde a pré-história. Existe mais de 10.000 corantes produzidos em escala industrial. Os mesmos são classificados como: ácidos, diretos, básicos, dispersos, sulfurosos, a cuba, a cuba solubilizados, azos, reativos e pigmentados. Esta classificação é feita de acordo com os seguintes aspectos: massa e estrutura molecular, número de grupos funcionais e número de grupos polares ou iônicos (Bittencourt, 1992).

Corantes solúveis, como os diretos, básicos, muitos ácidos e pré-metalizados, são absorvidos pelo lodo ativado criando na prática problemas posteriores na deposição (Sanin, 1996).

As águas residuais têxteis além do aspecto de coloração apresentam vários outros produtos em sua composição, tornando muito complexo a determinação de cada um individualmente, sendo muito freqüentemente utilizados parâmetros globais de análise. Os parâmetros globais mais importantes para as substâncias orgânicas são o COT (carbono orgânico total), a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e a DQO (demanda química de oxigênio) (Sanin, 1996).

Os despejos tem um pH variando entre 8 – 11; uma turbidez coloidal acinzentada; a cor depende do corante usado com predominância; o teor de sólidos totais varia de 1000 a 1600 mg/L; a DBO de 200 – 600 mg/L; a alcalinidade total de 300 – 900 mg/L; o teor de sólidos em suspensão de 30 – 50 mg/L; e o teor de cromo, às vezes, é superior a 3 mg/L. O volume de despejo é muito grande, variando de 100 – 380 m³ de efluente por tonelada de tecido produzido.

Para o estado de Santa Catarina, segundo Martins (1997) citado por Alves (2000), apresenta os valores médios das características dos efluentes gerados em diversas indústrias, ao longo do ano de 1995.

Tabela 2 – Características médias dos efluentes têxteis de SC

PARÂMETROS	VALORES
Temperatura (°C)	35 – 40
pH	7,2 – 11,7
DQO (mg/L)	1050 +/- 380
DBO (mg/L)	315 +/- 120
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	3 +/- 2

Fonte: MARTINS, 1997.

2.2. PROCESSO TÊXTIL

São várias as etapas que envolvem o processo têxtil (Wolff 1997; Araújo & Castro, 1987):

- **Beneficiamento do algodão:** compreende a fase na qual se retira toda a impureza do algodão, classificando-o segundo a fibra e pureza.
- **Fiação:** processo no qual as fibras naturais ou sintéticas são transformadas em fios (filamentos contínuos).
- **Engomagem:** tem por objetivo aumentar a resistência mecânica dos fios crus, que chegam as unidades de engomagem em rolos de urdumes, passando por uma solução de goma à quente e vão formar os urdumes engomados para a tecelagem.
- **Tecelagem:** produção de tecidos através de teares.
- **Chamuscagem:** processo de queima da penugem do pano, obtida pela passagem do mesmo sobre grelhas incandescentes.
- **Desengomagem e lavação:** é realizada por enzimas, detergentes alcalinos ou sabões em água quente, com a finalidade de remover as gomas do tecido. Na seqüência, o tecido passa por máquinas de lavar especiais.
- **Alvejamento e lavação:** realizado por meio de peróxido de hidrogênio e soda cáustica para remover a cor natural das fibras.
- **Mercerização:** consiste num tratamento dos artigos de algodão numa solução de soda cáustica, relativamente concentrada, sob tensão a frio, que promove um aumento de brilho, resistência à tração e melhoria da absorção de corantes.
- **Texturização:** etapa pela qual passam os fios sintéticos até adquirirem a elasticidade necessária para a malharia.

- **Malharia:** produção de tecidos mediante a utilização de máquinas circulares ou retilíneas.
- **Tingimento:** etapa de tingimento dos fios ou tecidos. Os fios são processados em rocas ou em bobinas, em soluções com peróxido de hidrogênio, soda cáustica e detergente, lavação e imersão em soluções de corantes, todos os processos são realizados a quente, com exceção, do último enxágüe com água fria. No caso do tecidos, os mesmos são impregnados com corantes e produtos químicos, através de um "foulard". Neste equipamento o banho de tingimento permanece em uma cuba por onde se passa o tecido e após esta passagem o tecido é espremido por dois cilindros com uma pressão pré-determinada para cada tipo de tecido (pick-up), sendo deixado em repouso por um tempo determinado para que ocorra a fixação do corante.
- **Estamparia:** processo em que os tecidos recebem estampas, podendo ser efetuadas por meio de cilindros ou quadros com corantes ou pigmentos.
- **Lavação:** os tecidos estampados, tintos e os que se destinam diretamente ao acabamento, são lavados em máquinas especiais, normalmente quase a ferverura. Os despejos desse processo são altamente concentrados em função dos produtos químicos e corantes que são liberados durante a lavação, também porque na maioria dos casos são necessário a adição de detergentes, ácidos ou outros produtos químicos durante a lavação, aumentando ainda mais a carga de poluentes.
- **Acabamento:** consiste de aplicação de gomas, amaciantes ou resinas. Os despejos podem conter uréia, formol, trifosfato, amido, estearato, óleos, emulsões, resinas polivinílicas e sais de magnésio.
- **Secagem:** realizados em ramosas, consiste na passagem do tecido por câmaras por onde circulam correntes de ar superaquecidos para a secagem do tecido.
- **Manufaturamento:** última etapa do processo têxtil, na qual são realizadas operações físicas de corte e costura, para dar forma e modelagem aos artigos têxteis.

A figura 3 apresenta o fluxograma simplificado do processo de uma indústria têxtil de algodão, representando os pontos de utilização de água e emissão de efluentes. Estes são captados e tratados em conjunto em uma estação de tratamento, na qual são incluídos também os esgotos sanitários produzidos na indústria.

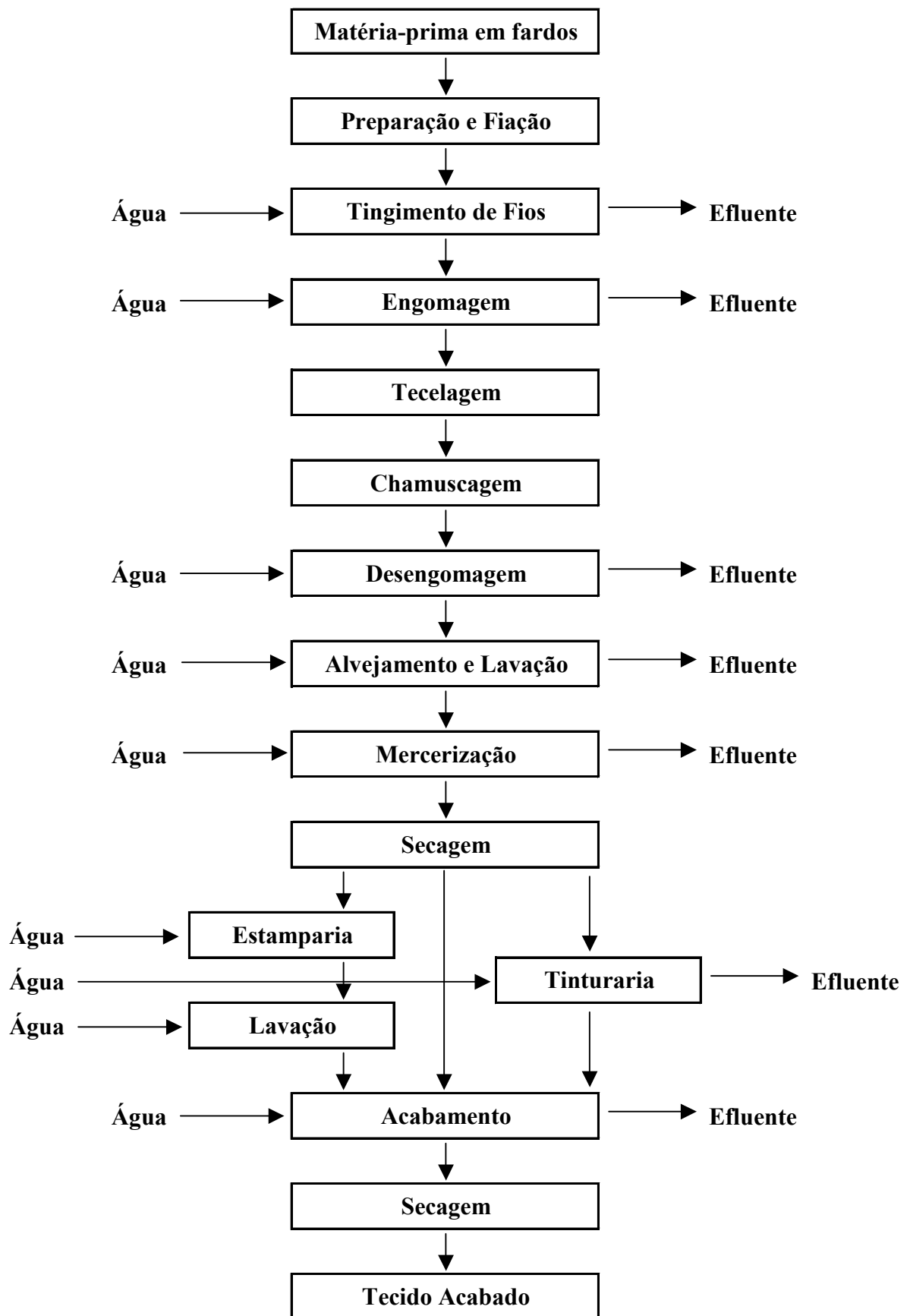


Figura 3 - Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão

Fonte: Peres e Abrahão (1999)

2.3. O USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Na indústria de beneficiamento têxtil, que usa grandes volumes de água e produz efluentes de maneira intensiva, é cada vez mais freqüente a busca de medidas internas para o tratamento de efluentes. Nesse caso, são preferidas tecnologias de tratamento que tornam possível reciclar o efluente tratado no processo de produção e, sempre que possível também os materiais contidos no efluente.

A água é utilizada na indústria têxtil, como meio de transporte para os produtos químicos que entram no processo, bem como para a remoção dos excessos daqueles produtos considerados indesejáveis para o fio ou para o tecido.

A maior parte da carga contaminante contém impurezas inerentes à matéria prima têxtil, tais como produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem, produtos auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas do acabamento. A qualidade e a quantidade de carga contaminada se encontra intimamente relacionada com as fibras utilizadas para elaborar os tecidos crus (Sauer, 2002).

2.4. CORANTES

Diferentes tipos de corantes são usados em muitas indústrias, tais como, têxteis, de tintas, alimentícias, plásticas, de cosméticos, etc. Certa quantidade de corante é perdida durante o processo de fabricação e com freqüência causam problemas ambientais (Tanaka et al, 2000).

Em particular, os corantes são identificados como os compostos mais problemáticos em efluentes têxteis por serem de difícil remoção, alta solubilidade e baixa biodegradabilidade (Lee et al, 1999).

Corantes são moléculas orgânicas altamente estruturadas e de difícil degradação biológica (Lin & Lin, 1993).

Até meados do século XIX apenas eram utilizados corantes naturais, cujo nome estava relacionado com a planta (ou animal) de onde eram extraídos (Araújo & Castro, 1987).

Os corantes utilizados na indústria têxtil vão depender do tipo de fibra têxtil, para cada grupo de fibras existem grupos de corantes. Segundo Araújo & Castro (1987), quanto às propriedades tintoriais, as fibras têxteis classificam-se em: **naturais**, extraídas diretamente da natureza (algodão, linho, lã, etc.); **artificiais**, fibras naturais modificadas quimicamente (viscose e acetato); e **sintéticas**, obtidas através de processos químicos da nafta do petróleo (poliamidas, poliéster, acrílicas e outros).

Corantes compreendem dois componentes principais: o grupo cromóforo, responsável pela cor que absorve luz solar; e o grupo funcional que permite a fixação nas fibras do tecido (Duran et al, 2000).

2.4.1. Tipos de Corantes

No processo de tingimento de fios e tecidos, utilizam-se vários corantes que segundo Kimura (1998) são classificados nas seguintes categorias:

a) Corantes ácidos:

São também chamados de corantes aniônicos. Muitos dos corantes ácidos são sais de ácido sulfônico.

Corantes ácidos são utilizados para fibras proteínicas, são corantes aniônicos solúveis na água, que apresentam em suas moléculas um ou mais grupos de ácido sulfônico ou outros grupos de ácidos. Contribuem para o pH ácido do efluente com valores entre 3,5 e 6,0 (Bittencourt, 1992; Lin & Chen, 1997).

b) Corantes básicos:

Também conhecidos como corantes catiônicos, são solúveis em água. Os corantes básicos dividem-se em diversas classes químicas: azo, antraquinona, triarilmetano, triazina, oxima, acridina e quinolina.

Corantes básicos ou catiônicos possuem cores brilhantes e são empregados basicamente para fibras sintéticas como acrílico, seda e lã, e em menor quantidade em fibras naturais como algodão. São corantes solúveis e contribuem com a alcalinização das estações de tratamento (Sanin, 1996).

c) Corantes diretos:

Também chamados de corantes substantivos. São corantes aniônicos solúveis em água e diferem dos corantes ácidos e básicos por apresentarem alta afinidade por fibras celulósicas.

São aplicados em banhos neutros ou ligeiramente alcalinos, próximo da ebulição, nos quais foi adicionado cloreto de sódio ou sulfato (Sanin, 1996).

d) Corantes enxofre:

Uma característica principal desta classe é a presença de enxofre na molécula. São insolúveis em água, mas dissolve numa solução de sulfito de sódio ou hidrossulfito de sódio que atua como agente redutor.

Corantes enxofres são derivados do ácido tiosulfônico, empregado geralmente para a obtenção da cor preta em fibras celulósicas. Produzem odor desagradável no efluente, além de dificultarem na remoção final de cor do mesmo.

e) Mordentes:

No grupo incluem-se muitos corantes naturais e sintéticos. O corante mordente se liga à fibra têxtil por meio de um mordente, o qual pode ser uma substância orgânica ou inorgânica.

f) Corantes azos:

Corantes azos são caracterizados pela dupla ligação entre as moléculas de nitrogênio (-N=N-) que se unem aos grupos benzeno e naftaleno (Brown, 1993) presente na estrutura molecular do corante e são empregados em fibras celulósicas. A cor do corante azo é determinada pelas ligações azos e estão associados aos grupos cromóforos (Tang e An, 1995).

Esses corantes podem ser aplicados em fibras celulósicas, seda, viscose e poliamida. Representam 50% dos corantes comerciais (têxtil, papel, alimentos e cosméticos). São corantes de difícil biodegradabilidade. Os corantes azos constituem a maior e mais importante classe de corantes orgânicos sintéticos usados na indústria têxtil (Poulios e Aetopoulou, 1999).

Para o tratamento de efluentes contendo estes corantes, o processo de lodos ativados geralmente é ineficiente. Normalmente a adsorção em carvão ativado e a coagulação por um agente químico são aplicadas. Contudo, esses métodos simplesmente transferem o corante da água para o sólido, e assim, um tratamento futuro é necessário para a solução do problema (Tanaka et al, 2000).

g) Corantes dispersos:

São denominados corantes não-iônicos. São suspensões de compostos orgânicos finamente divididos, insolúveis em água.

Corantes dispersos são utilizados para fibras hidrofóbicas, são, portanto insolúveis em água, formando uma dispersão aquosa, e são solúveis nas matérias orgânicas hidrofóbicas (Araújo & Castro, 1987).

h) Corantes reativos:

São os corantes que contém um ou mais grupos reativos capazes de formarem ligações covalentes com um átomo de oxigênio, nitrogênio ou enxofre, de substratos como fibras celulósicas, fibras protéicas e poliamidas (Soares, 1998).

Corantes reativos são utilizados para fibras proteínicas e celulósicas. São corantes que reagem com a fibra, formando uma ligação covalente (Trotman, 1984). Comercialmente são uma classe muito importante de corantes têxteis, cujas perdas através do processamento são particularmente significantes (Morais et. al, 1999). São muito utilizados na indústria têxtil, mas devido à boa solubilidade em água e pequena biodegradabilidade, sua eliminação é difícil, tanto pelos processos físico-químicos como biológicos (Karcher et al, 1999).

A indústria têxtil utiliza aproximadamente 1000 diferentes tipos de corantes e pigmentos e a produção mundial anual desses corantes é cerca de 700.000 toneladas (Tang e Am, 1995). Cerca de 50% de todos os corantes usados na indústria têxtil são corantes azos. Alguns desses corantes são altamente perigosos (Zhu et al, 2000).

2.5. EFLUENTES TÊXTEIS

2.5.1. O que são efluentes industriais.

São considerados efluentes industriais, as águas residuárias industriais que lançadas diretamente nas águas receptoras ou via esgostos urbanos. As águas residuárias variam de indústria para indústria.

Na indústria têxtil, a água é a matéria prima mais utilizada na manufatura dos produtos. Assim, os despejos ricos em substâncias orgânicas, constituem uma enorme preocupação, sobretudo, os materiais sintéticos e os metais pesados. Tais resíduos, decorrentes de transformações químicas, devem então ser eliminados e receber tratamento da melhor forma possível em termos de harmonia com o meio ambiente.

2.5.2. O efluente do processo de tingimento

O tingimento é executado para conferir cor aos fios ou tecidos. A identificação de tipos genéricos de efluentes de tingimento é complicada pela diversidade, tanto da química dos corantes quanto dos processos de tingimento.

A adsorção e retenção do corante dentro da fibra pode ser química, física ou ambas, dependendo da fibra e do corante. O grau de adsorção é função de vários fatores, tais como tempo, temperatura, pH e auxiliares químicos. A figura 4 mostra uma lista dos produtos mais utilizados no tingimento e indica que um grande número de substâncias, além dos corantes, pode ser encontrados em um efluente de tingimento. A composição desse efluente torna-se complicada, pois corantes que pertencem a classes químicas diferentes podem ser usados para uma única operação de tingimento.

A carga química dos efluentes de tingimento varia não somente em função da química do processo, mas também com a operação, isto é, se é contínua ou batelada. Valores da relação de banho e da exaustão do corante podem ser bem diferentes em função do método empregado e dos materiais utilizados (Cunha, 2001).

Os corantes residuais ligados aos auxiliares químicos orgânicos e inorgânicos são responsáveis pela cor, sólidos dissolvidos e valores altos de DQO e DBO nos efluentes de tingimento. Dessa forma, as características desses efluentes dependem também do corante utilizado, da fibra e do método de tingimento.

Na indústria têxtil, o problema ambiental mais complexo associado ao efluente está relacionado ao extenso uso de corantes azos que são resistentes à degradação microbiológica.

Estudos de biodegradabilidade indicam a possibilidade de redução da DBO e DQO dos efluentes de tingimento por tratamento biológico. A remoção da cor é baixa, já que a maioria das moléculas de corante não são biodegradáveis. O tratamento parcial dos corantes por processos biológicos é atribuída à precipitação (corantes insolúveis) ou adsorção no lodo. Os efluentes de tingimento possuem baixos níveis de sólidos insolúveis e de moderados a altos níveis de sólidos solúveis. Eletrólitos, ácidos e álcalis usados no tingimento contribuem para os sólidos totais.

As cargas poluidoras dos efluentes têxteis podem ser avaliadas em termos de Kg de DBO ou Kg de sólidos totais por tonelada de produto processado. Em termos de DBO, as maiores cargas vêm da capa de desengomagem, quanto aos sólidos, as maiores cargas são da etapa de tingimento (Martins, 1997).

Segundo Bishop (1996), cerca de 100.000 toneladas de corantes por ano, são lançados no meio ambiente, através dos efluentes resultantes das estações de tratamento.

Os corantes destacam-se como sendo os elementos que mais contribuem para as altas cargas poluidoras nos despejos têxteis.

Muitos pigmentos sintéticos, por exemplo, são azo-pigmentos, resistentes a degradação microbiana sob as condições normais encontradas em tratamentos de águas residuais (Kirby, 1995). Segundo Meyer (1992) e Harmer & Bishop (1992), esses corantes apresentam grau de difícil remoção no tratamento de efluente, onde a degradação biológica deve ser feita em duas etapas: anaeróbia, para a quebra da ligação azo e aeróbia para decomposição de compostos tóxicos e carcinogênicos (aminas aromáticas).

Segundo Guaratini & Zanoni (2000), os corantes quando lançados nos corpos receptores podem causar uma acentuada mudança de coloração dos mesmos, sendo facilmente detectada pelo público e autoridades que controlam os assuntos ambientais.

Os efluentes contendo corantes reativos, usados no tingimento do algodão possuem altos níveis de sólidos dissolvidos em função da alta concentração de sais necessários no processo e necessidade de pH entre 12 e 12,5.

A escolha do processo, ou seqüência de processos, depende das características do efluente, qualidade de efluente requerida após o tratamento, custo, disponibilidade de área e de tecnologia adequada (Peres e Abrahão, 1998).

DESCRIÇÃO	COMPOSIÇÃO	FUNÇÃO
Sais	Cloreto de Sódio e Sulfato de Sódio	Eletrólito e Retardantes
Ácidos	Acético e Sulfúrico	Controle de pH
Bases	Hidróxido de Sódio Carbonato de Sódio	Fixação de corantes Controle de pH
Sequestrantes	EDTA	Sequestrantes
Dispersantes e Surfactantes	Aniônicos, catiônicos e não-iônicos	Amaciantes e dispersantes de corantes
Agentes oxidantes	Peróxido de Hidrogênio Nitrito de Sódio	Alvejante Insolubilizante de corante
Agentes redutores	Hidrossulfito de Sódio Sulfeto de Sódio	Remoção de corantes não reagidos, solubilizante

Figura 4 - Produtos mais utilizados no processo de tingimento
Fonte: Buckey C.A (1992)

2.5.3. Composição dos efluentes têxteis

Quase todos os processos têxteis (tingimento, engomagem, desengomagem, alvejamento, mercerização, lavagem, estampagem e acabamento) utilizam vários produtos químicos e geram efluentes líquidos. Devido ao grau de variedade de fibras, corantes e

produtos de acabamento em uso, esses processos geram efluentes de grande complexidade e diversidade química. O efluente final têxtil é caracterizado pela concentração de substâncias químicas e altas concentrações de corantes e pigmentos (Chang et al, 1994).

Além do aspecto da coloração, segundo Sanin (1996), as águas residuais têxteis apresentam vários outros produtos, tornando quase impossível a determinação química de cada um individualmente, sendo mais freqüentemente utilizados parâmetros globais de análise para substâncias químicas (COT, DBO, DQO). Mas, como reporta Brandão (1998), os valores destes parâmetros diferem muito de uma instalação industrial para outra, tendo apenas o objetivo de apresentar a ordem de grandeza das características do efluente total.

Os resíduos químicos encontrados nesses efluentes podem ter sua origem em:

- **Produtos químicos diversos:** ácidos (sulfúrico, clorídrico, fórmico, acético); bases (hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, carbonato de sódio, amônia); sais (silicato de sódio, cloreto de sódio, polifosfatos, bórax, fosfato de amônia, cloreto de amônia, magnésio, alumínio, zinco, etc); oxidantes (peróxido de hidrogênio); redutores (hidrossulfito); solventes orgânicos (tetracloretileno, metanol, etanol); produtos orgânicos diversos (formaldeído, uréia).
- **Produtos de acabamento:** produtos hidrofóbicos (ceras, parafinas, silicones); produtos oleófilos (polímeros fluorocarbonados); antiespumantes (álcoois superiores, silicones); ignifugação (proteção antichama – sais minerais, derivados halogenados, derivados de fósforo e halogênio, derivados de azoto e fósforo); biocidas; antiestáticos.
- **Espessantes:** impedem a migração dos corantes para as partes não estampadas ou para as partes estampadas com outra cor. Os principais são: amido, amido degradados, éteres de amido, éteres de celulose, gomas vegetais e seus derivados, alginatos, sintéticos, de emulsão, espumas.

- **Tensoativos:** sabões, detergentes, dispersantes, emulsionadores e igualizadores. Alguns produtos utilizados na indústria têxtil podem ser considerados muito tóxicos (por exemplo: resinas e solventes) e algumas espécies químicas estão sempre presentes à composição dos efluentes, entre eles destacam-se os corantes, surfactantes e gomas.
- **Surfactantes:** são moléculas que possuem duas regiões distintas sendo uma delas apolar e outra polar ou iônica. Podem ser neutros ou iônicos, sendo que os iônicos podem ser catiônicos ou aniônicos ou, ainda, anfóteros quando ambas as cargas estão presentes no surfactante. A tensão superficial da água é diminuída pela adição de surfactante, pois eles agem como agentes tensoativos de superfície, causando alterações significativas nas propriedades superficiais (Swisher, 1987).

Segundo Araújo & Castro (1987), os surfactantes são essenciais nos processamentos têxteis devido suas propriedades de umectação, emulsificação, detergência, solubilização e propriedades dispersantes.

Uma das características comum a todos os surfactantes é a capacidade de formar agregados em solução aquosa a partir de uma determinada concentração. Estes agregados são denominados micelas. A principal razão que leva os monômeros de surfactantes a se associarem sob forma de micelas é a diminuição da área de contato entre as cadeias hidrocarbônicas do surfactante e a água.

Os problemas causados pelos surfactantes são decorrentes da geração de grandes quantidades de espumas derivadas de materiais protéicos, que são agentes espumantes, dificultando a sua biodegradação, que quando não é total, pode atingir os mananciais hídricos.

- **Resinas:** algumas resinas contêm monômeros voláteis a alta temperatura, como isocianetos encontrados em resinas utilizadas no processo têxtil. Segundo Jaakkola et al (1994) o teor de formaldeído livre sobre o tecido depende do tipo de resina e sua concentração, do tipo de catalisador e das condições de condensação. Quando em grandes quantidades causa cheiro desagradável podendo provocar irritação nasal.
- **AOX (adsorbable Organic Halogens):** Halogênios orgânicos compreendem um grupo de diversos compostos químicos, que podem ser altamente tóxicos, como as dioxinas, se aplicam genericamente aos derivados policlorados das dibenzodioxinas (PCDD) e, em particular ao tetracloro-dibenzodioxina (TCDD) que é um dos contaminantes mais tóxicos que se conhece, ou a produtos inofensivos, como os cloretos de metila.

Estudos sobre o potencial de bioconcentração dos AOX, formado pelo uso de hipoclorito de sódio, no processamento de alvejamento e lavação, foram feitos por Ong et al (1996), que determinou a presença de contaminantes bioconcentráveis em sistemas de tratamento por lodo ativado. Os compostos orgânicos encontrados neste sistema de tratamento foram: compostos alifáticos saturados e insaturados, compostos aromáticos e fenólicos.

- **Solventes:** os solventes mais utilizados na indústria têxtil são o percloroetileno e o metanol.
- **Gomas:** segundo dados da EPA (1978), os processos de engomagem e desengomagem, apresentam os maiores níveis de DBO nos despejos têxteis (engomagem 620 – 2500 mg/L; desengomagem 2000-5200 mg/L).

De acordo com Brandão (1998), as gomas são obtidas a partir de produtos naturais ou sintéticos. As naturais são obtidas de amidos de milho, batata e mandioca, podendo ser

modificadas para se tornarem solúveis em água, como amido hidroxipropílico, fosfático e carboximetílico, facilitando sua biodegradação. As gomas sintéticas são produzidas á base de álcool polivinílico (PVA), poliacrilato, poliéster disperso em água, copolímero de vinil acetato, carboximetilcelulose e galatomanano.

O processo de engomagem é necessário para que os fios suportem melhor o processo da transformação do tecido, que é um processo mecânico desgastante para os fios (estiramento, fricção, tensão e abrasão), formando uma manta protetora em torno destes.

Ainda segundo Brandão (1998) as gomas sintéticas apresentam a desvantagem, em relação as naturais, de não serem biodegradáveis em estações de tratamento, necessitando de longos períodos para sua biodegradação completa. Quando o tecido está pronto, a goma perde sua função tornando-se necessário à remoção desta através do processo de lavação e, quando são gomas naturais não modificadas, há necessidade do uso de ácidos e/ou enzimas para sua solubilização em água.

2.6. TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento do efluente têxtil tem sido considerado uma das mais importantes categorias de controle da poluição da água, devido à alta intensidade de cor e grande concentração de contaminantes orgânicos (Lee et al, 1999). São caracterizados pelo grande volume e extrema variação na composição, o qual pode incluir corantes não biodegradáveis e substâncias tóxicas. A variabilidade surge devido à diversidade no tipo dos processos industriais empregados e na imensa faixa de produtos químicos e materiais envolvidos em cada categoria industrial.

Os métodos convencionais empregados para tratamento de efluentes líquidos podem ser classificados genericamente como primários ou mecânicos, secundários ou biológicos e terciários ou físico-químicos e constituem aqueles empregados nas indústrias têxteis. A figura 5 resume as opções existentes para cada tipo.

Tratamento	Tipo de Processo	Operação Unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos Ativados Lagoas de esterilização Filtros Biológicos
Terciário	Químico	Coagulação Precipitação Ozonização
	Físico	Clarificação (carvão ativo) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose Reversa Evaporação

Figura 5 - Processos de tratamento de efluentes
Fonte: Peres e Abrahão (1998)

2.6.1. Tipos de tratamento

Existem vários tipos de tratamento de efluentes e para cada situação devem ser avaliados quais devem ser aplicados, para obter-se a melhor relação custo x benefícios além de atender a legislação vigente (Braile, 1979; Peres & Abrahão, 1999; Lora, 2000).

Os processos de tratamento mais comumente utilizados podem ser classificados em:

- **Processos Físicos**

O processo físico tem como finalidade à remoção de sólidos, de sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras (Braile, 1979; Lora, 2000). Para essa finalidade são utilizados os seguintes equipamentos: grades, peneira, caixa de areia, decantadores.

- **Processos Químicos**

Em tratamentos de despejos os processos químicos podem ser utilizados para remover material coloidal, cor turbidez, odor, óleos e metais pesados. Além disso, os processos químicos são utilizados para neutralizar ácidos ou álcalis (Braile, 1979; Lora, 2000). Os processos químicos mais empregados são: floculação, precipitação, cloração, correção do pH.

- **Processos Biológicos**

Considera-se como processo biológico de tratamento de efluentes aquele que depende da ação de microorganismos para sua depuração.

A depuração biológica se dá através dos processos de respiração ou fermentação, transformando componentes complexos em compostos simples, tais como sais minerais, gás carbônico e outros (Silva, 1979).

Os processos biológicos de tratamento de efluentes dependem de inúmeros fatores genericamente representados pela boa escolha ou adaptação dos microorganismos que irão compor a cultura mista, do substrato (efluente) e o estabelecimento das condições ótimas de operação.

Os rios possuem capacidade autodepuradora, que se realiza através da estabilização biológica (biodegradação) da matéria orgânica proveniente dos despejos neles lançados. Em condições aeróbias, o mecanismo envolvido na biodegradação, é realizado especialmente por bactérias, através do processo de respiração celular, promovendo a oxidação completa dos compostos orgânicos presentes. O oxigênio é o principal acceptor dos elétrons gerados a partir da degradação desses compostos (Lehninger, 1987).

No caso de lançamento contínuo de despejos “in natura” num corpo receptor (rios, lagos, etc.), pode ocorrer o esgotamento do oxigênio disponível em solução no meio. Com isso, ocorre o desaparecimento dos microorganismos aquáticos originais e a morte dos peixes e dos vegetais, deixando o corpo receptor inviável para o uso como fonte de abastecimento de água potável e para recreação. Portanto, existe grande interesse, tanto de ordem econômica quanto sanitária e social, que os despejos sejam submetidos a tratamento adequado antes de seu lançamento nos corpos d’água (Hawkes, 1963).

O tratamento biológico dos despejos realiza-se pela reprodução artificial do mecanismo de biodegradação que naturalmente ocorre no corpo receptor. Um dos processos mais utilizados de tratamento biológico é o de lodos ativados. Trata-se de um processo aeróbio contínuo com reciclo de biomassa, proporcionando o desenvolvimento de uma microbiota permanente aclimatada (Branco, 1978).

Tunay et al (1990) investigaram o tratamento biológico com lodo ativado e o consideraram mais eficiente em termos de matéria orgânica removida do que a coagulação química para o tratamento de efluente da indústria têxtil.

Kouba & Ping (1994) verificaram que a remoção de cor pelo tratamento biológico aeróbio depende basicamente do tipo de corante usado, sendo mais apropriado para corantes metálicos, ácidos e reativos.

Os processos biológicos dividem-se anaeróbios e aeróbios.

- **Processos Anaeróbios**

Nos processos anaeróbios de tratamento de despejos, a decomposição da matéria orgânica e/ou inorgânica é conseguida na ausência de oxigênio dissolvido no meio. Vários são os microorganismos envolvidos e várias etapas são verificadas durante o processo de decomposição da matéria orgânica (Braile, 1979).

- **Processos Aeróbios**

Nos processos aeróbios de tratamento de despejos, a decomposição da matéria orgânica é conseguida na presença de oxigênio dissolvido no meio. O oxigênio necessário pode ser fornecido via dissolução de ar atmosférico, oxigênio puro ou através de uma fonte bioquímica (a fotossíntese) (Aquarone et al, 1975).

Os processos aeróbios mais aplicados são: Lodo ativado, Filtros biológicos, Lagoa de estabilização aeróbia.

- **Lodo Ativado**

O processo do lodo ativado originou-se na Inglaterra em 1913. Durante cerca de 30 anos permaneceu inalterado, só surgindo modificações com o avanço tecnológico especialmente na área da biotecnologia (Jordão & Pessoa, 1975).

É o processo biológico mais empregado, atualmente, para estabilizar a matéria biodegradável dos despejos industriais e dos esgotos sanitários. O processo dos lodos ativados consiste basicamente na agitação das águas residuárias em presença de microorganismos e de oxigênio, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica. O lodo ativado é o floco produzido num efluente bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias associados a outros microorganismos, na presença de oxigênio dissolvido, e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados. Neste processo o efluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados, em unidades chamadas tanques de aeração, em seguida separa-se o lodo ativado do esgoto tratado por sedimentação em decantadores. Parte do lodo ativado é separado e reciclado para o tanque de aeração e uma parte é retirada para tratamento específico ou destino final, daí o nome tratamento biológico aeróbio por lodos ativados, enquanto o efluente tratado biologicamente é enviado para outros processos para efetuar o polimento final, ou enviado diretamente ao rio (Aquarone et al, 1975).

O processo de lodo ativado tem a seguinte configuração, conforme demonstrado na figura 6.

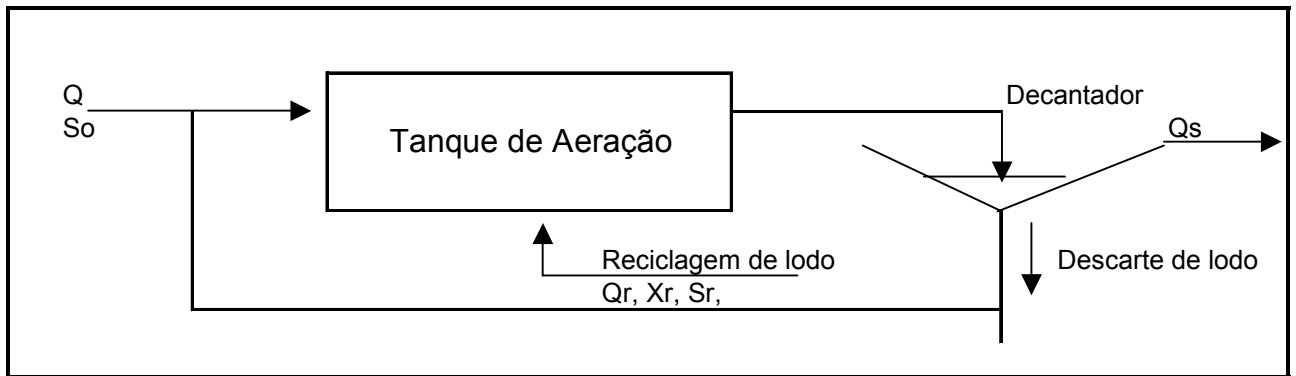


Figura 6 – Esquema simplificado de um Tratamento com Lodo Ativado.
Fonte: Braile (1979)

Sendo:

Q = vazão de entrada

Q_r = vazão de reciclo

S_o = substrato inicial

S_r = substrato na reciclagem

X_r = concentração de lodo na reciclagem

Q_s = vazão de saída

O sucesso da operação de um sistema de lodos ativados consiste na manutenção de uma relação entre a quantidade de microrganismos, a matéria orgânica degradável e uma boa oxigenação.

Os sistemas de tratamento por lodos ativados apresentam várias situações favoráveis à sua aplicação e algumas contrárias. Entre as vantagens principais pode-se citar:

- Maior eficiência na remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo.
- Maior flexibilidade de operação.
- Menor área ocupada em relação à filtração biológica.

Os componentes principais de um processo de Lodos ativados são:

Tanque de aeração, onde ocorre a reação bioquímica de degradação do substrato por isso também denominado de Reator Biológico.

Apesar das bactérias serem os principais microorganismos presentes neste sistema de tratamento, a atividade metabólica de outros microorganismos é indispensável para o bom funcionamento do processo de lodos ativados. Como exemplo tem-se os protozoários e rotíferos que atuam no polimento do efluente, os primeiros consumindo bactérias dispersas que não floclaram, enquanto que os rotíferos consomem pequenos flocos biológicos de partículas que não sedimentaram.

A aeração aplicada no processo de lodos ativados tem duas finalidades:

- Garantir a homogeneização entre a fase líquida e fase sólida no tanque de aeração;
- Prover a fase líquida de oxigênio dissolvido, necessário para a oxidação dos diferentes substratos.

O ar ou oxigênio são fornecidos ao sistema de várias maneiras possíveis, baseados em dois princípios de transferência: difusão e convecção.

Decantador tem a finalidade de concentrar o lodo para recicla-lo ao tanque de aeração, a fim de garantir o controle entre a carga de alimentação e microorganismos necessários para sua degradação.

Recirculação do lodo destina-se a manter no tanque de aeração uma população de microorganismos mínima para consumir a quantidade desejada de substâncias poluentes biodegradáveis. A taxa de recirculação é de extrema importância para o controle do processo,

pois através dela controla-se a idade média da microbiota bem como se eliminam efeitos de inibição por excesso ou falta de substratos.

2.7. REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES TÊXTEIS

O desenvolvimento de tecnologias adequadas ao tratamento de efluentes têxteis tem sido objeto de grande interesse nos últimos tempos, devido ao aumento da conscientização e rigidez das regras ambientais.

Com o aumento do conhecimento dos contaminantes encontrados na água e da necessidade de tratamentos avançados, torna-se possível estabelecer limites de descarga de efluentes contendo certos compostos.

Guaratini & Zanoni (2000), Kouba & Ping (1994), Robinson et al (2000) e Pearce et al (2003) investigaram muitas opções para remoção de cor de efluentes têxteis. Estas envolvem processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação entre outros, um resumo dos principais processos são descritos a seguir:

2.7.1. Remoção de Cor por Destruição Química

As técnicas de tratamento utilizando-se degradação química, se baseiam principalmente em reações oxidativas. Em geral, os agentes oxidantes incluem ozônio, peróxido de hidrogênio, reagente de Fenton, cloro ou ozônio (Reed et al, 1998; Matsumoto et al, 1996; Feng et al, 2003).

As técnicas de destruição baseadas no uso de ozônio tem-se mostrado mais efetivas do que aquelas com cloro, que são insatisfatórias para alguns tipos de corantes (dispersos e diretos), além de apresentarem a vantagem adicional de não produzir íons inorgânicos, como no tratamento terciário, particularmente para remoção de cor. Segundo Lopez et al (1999) nos últimos anos a ozonização tem sido empregada como um tratamento de oxidação química, potencialmente eficaz no aumento da biotratabilidade de efluentes têxteis caracterizados pelo alto conteúdo de compostos tóxicos e não-biodegradáveis.

Oxidação por ozônio é capaz de degradar hidrocarbonetos clorados, fenóis, pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos. Este método mostra melhores resultados na oxidação de molecular de corantes com dupla ligação que podem ser quebradas formando moléculas menores, resultando na redução da coloração. Essas pequenas moléculas podem ter propriedades tóxicas e assim a ozonização usada em conjunto com um processo físico pode resolver o problema (Alaton et al, 2002).

Uma grande vantagem do ozônio é que ele pode ser aplicado em estado gasoso e não aumenta o volume do efluente e lodo.

Em condições alcalinas a decomposição do ozônio é acelerada. Melhores resultados podem ser encontrados usando radiação UV ou com a técnica de filtração por membrana.

Hassemer (2000), demonstrou através de estudos pilotos desenvolvidos em laboratório, a eficiência do tratamento através da floculação em meio granular expandido, com efluente pré-ozonizado, não-ozonizado (bruto) e tratado biologicamente (leito fluidizado e aeróbio).

Reife (1990) investigou que a cor derivada dos corantes ácidos, reativos e diretos, foi reduzida através de clivagem do ligamento azo com hidrossulfito de sódio. Os produtos não polares formados, neste caso, apresentaram uma boa adsorção em carvão ativado.

Davis et al (1994) e Sauer (2002) investigaram a descolorização fotocatalítica de águas residuais contaminadas por efluentes têxteis usando um reator em batelada. Utilizaram o dióxido de titânio, como elemento fotocatalítico e mostrou ser eficiente na degradação da cor quando irradiado com a luz UV na presença de ar.

A degradação química remove o corante do efluente através da oxidação resultando na quebra dos anéis aromáticos das moléculas corante. Ao romper os enlaces azos de muitos corantes, eles se transformam em incolores.

A oxidação química parece ser mais aceitável somente em circunstâncias excepcionais, pois seu custo é muito alto (Kakabadse, 1979).

2.7.2. Precipitação

O método mais comum na remoção de metais pesados e na remoção de fósforo é a precipitação. Os metais pesados precipitam sob a forma de hidróxidos pela adição de uma solução cáustica até um nível de pH correspondente à solubilidade mínima. Para remover metais pesados, é geralmente necessário pré-tratar o efluente de modo a eliminar substâncias que podem interferir com a precipitação dos metais pesados, porque estes não são os únicos contaminantes das águas residuais a tratar (Frutuoso et al, 1996).

2.7.3. Outras Reações Químicas

Outras reações químicas como hidrólise, fotólise, ionização, vaporização e absorção físico-química, podem ocorrer no meio ambiente, levando a degradação de compostos. Por

exemplo, o uso de métodos de degradação baseados em reações fotoquímicas tem se mostrado importante como etapa primária na degradação de alguns corantes, segundo Guaratini & Zanoni (2000), uma vez que os corantes sintéticos apresentam a princípio alta estabilidade quando submetidos à luz visível ou ultravioleta.

Alves (2000), desenvolveu um estudo combinando o processo biológico com pré ou pós-ozonização de efluentes têxteis, para avaliar a eficiência de remoção de DQO, bem como a cor do efluente.

Hassemer (2000), investigou o tratamento de efluentes têxteis através da floculação em meio granular expandido, dos efluentes bruto, pré-ozonizado e tratado biologicamente.

Melo Filho (1997), estudou o efeito da pré-ozonização em relação à geração de lodo no processo de coagulação-floculação na redução do lodo gerado.

2.7.4. Remoção de Cor por Coagulação e Floculação

É uma técnica físico-química levada a cabo em três etapas distintas:

coagulação \Rightarrow floculação \Rightarrow separação de líquidos e sólidos

A coagulação é conseguida tradicionalmente no tratamento de águas industriais mediante o uso de hidróxido de sódio e sais metálicos polivalentes como o sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato de alumínio. O hidróxido reage com o sal metálico para formar um hidróxido insolúvel, volumoso, sobre o qual se adsorve a cor.

A coagulação química é um operação pela qual substâncias químicas formadores de flocos – coagulantes – são adicionadas ao efluente com a finalidade de se agregarem ou

combinar com a matéria em suspensão e com a matéria coloidal; formando rapidamente agregados as partículas em suspensão. Embora solúveis, os coagulantes se precipitam depois de reagir com outras substâncias do meio (Jordão & Pessoa, 1975).

Heinitz (1991) encontrou que a técnica de precipitação com floculantes polimerizados seguido por flotação tem maiores vantagens na descoloração de águas residuais têxteis.

Esses complexos inorgânicos não são totalmente efetivos na remoção da cor residual de certos tipos de corantes (ácidos e reativos). Para se obter esses resultados foram desenvolvidos coagulantes do tipo polieletrólitos altamente catiônicos e de baixo peso molecular, os quais são usados sozinhos ou em combinação com sais metálicos. A produção de lodos é mais baixa quando se usa coagulantes orgânicos no lugar de sais metálicos. Dessa forma, os custos de operação e despejos de lodos são reduzidos (Kouba & Ping, 1994).

Na floculação, depois de microflocos é necessário facilitar a separação sólido/líquido. Para isso são usados polieletrólitos de alto peso molecular (aniônicos ou catiônicos). Os flocos são removidos da fase aquosa por um dos seguintes métodos: sedimentação por gravidade, flotação, centrifugação e filtração (Sanin, 1996).

2.7.5. Remoção de Cor por Adsorção

O processo de adsorção envolve o contato entre um sólido e um fluido, originando uma transferência de massa de fase fluída para a superfície do sólido, havendo uma tendência de acumulação de material sobre a superfície do sólido.

O carvão ativado é o adsorvente mais amplamente usado, porém, é relativamente ineficaz na remoção de alguns corantes dispersos, de tintas e pigmentos. É mais efetivo para descolorir águas que contenham corantes reativos, básicos ou ácidos.

São utilizadas duas formas de carvão ativado, o granulado e o em pó. Este último pode inclusive ser usado conjuntamente com processos de lodos ativados.

A principal desvantagem da adsorção com o carvão ativado granulado é sua forma lenta de adsorção. Algumas vezes é necessário um pré-tratamento antes da adsorção já que concentração de sólidos suspensos maiores que 50 mg/L podem se acumular nos leitos de carvão e reduzir a eficiência da descoloração. A adsorção sobre o carvão ativado granulado é aplicável em processos descontínuos e com baixas concentrações de cor (Braille, 1979).

Segundo Nigan (2001) outros materiais podem ser utilizados para a remoção de cor, tais como: sílica gel, argilas, casca de arroz, etc.. Sendo economicamente mais vantajosos, quando comparados com o carvão ativado, por serem materiais de fácil obtenção e de menor custo.

2.7.6. Remoção de Cor usando Membranas

Nos processos envolvendo a utilização de membranas tem-se uma operação de separação líquido/líquido e são denominados segundo as dimensões moleculares das substâncias que se deseja separar do meio, através da aplicação de elevadas pressões na solução a ser permeada através da membrana. Conforme as membranas utilizadas, pode-se eliminar da água substâncias de distintos pesos moleculares. Os processos mais usados são: Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e Osmose reversa.

As membranas usadas na nanofiltração ou ultrafiltração são as mais convenientes para o tratamento de efluentes têxteis. As cores provenientes dos banhos esgotados e dos banhos de lavação podem ser concentradas até 1% de seu volume original (Braile, 1979).

2.7.7. Processos Combinados

Yeh & Thomas (1995) investigaram que existem vários tipos de tratamento para os efluentes da indústria têxtil, em geral, uma combinação de vários processos de tratamento é necessária para alcançar uma remoção adequada de todos os contaminantes. Processos combinados como coagulação mais lodo ativado, coagulação mais adsorção em carvão ativado, ou lodo ativado mais carvão ativado pulverizado são necessários para remover efetivamente os contaminantes.

Lin & Peng (1996) investigaram o tratamento de águas residuárias têxteis das operações de lavação e tingimento. A combinação de processo de coagulação, lodo ativado e oxidação eletroquímica tem apresentado ótimos resultados na redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO), cor e turbidez. Estes processos combinados podem apresentar eficiências diversas conforme as condições de operação, especialmente a taxa volumétrica aplicada, a condutividade, o pH, e a utilização de coadjuvantes químicos como o cloreto de poli alumínio.

2.7.8. Lagoas de estabilização

Sob o ponto de vista de tratamento, a melhor classificação para as lagoas de estabilização são: lagoas anaeróbias, lagoas facultativas, lagoas aeróbias (aeração natural) e lagoas aeradas (aeração mecânica).

Nas lagoas anaeróbias, não há oxigênio livre na massa líquida, de maneira que os organismos que nela vivem utilizam-se do oxigênio combinado disponível da matéria orgânica. Seu objetivo é a destruição e estabilização da matéria orgânica, podendo ser utilizado como unidade sedimentadora para a redução da carga orgânica. Requerem menor área superficial e maior profundidade para promover a anaerobiose.

As lagoas facultativas possuem uma região aeróbia superficial onde ocorre fotossíntese e suprimento de oxigênio pelas algas, uma zona facultativa na porção central e uma região de anaerobiose no fundo da camada sedimentada (lodo). No interior das águas de uma lagoa, estabelece-se um círculo vicioso em que as algas sintetizam a matéria orgânica e liberam o oxigênio ao meio ambiente e as bactérias utilizam esse oxigênio para seu processo respiratório, liberando como subproduto o gás carbônico necessário à fotossíntese. As lagoas facultativas possuem vantagens sobre as lagoas aeróbias uma vez que na zona anaeróbia é removida uma quantidade adicional de carbono por meio da formação de metano.

A lagoa aerada mecanicamente é um sistema de tratamento biológico onde a oxigenação é induzida diretamente da superfície por agitação mecânica. O sistema é assim denominado quando um aerador mecânico gera uma alta turbulência no efluente que mantém todos os sólidos em suspensão. A aeração mecânica é análoga ao processo de lodos ativados, porém, sem retorno do lodo. Nas lagoas facultativas, o nível de turbulência não é suficiente para manter todos os sólidos em suspensão.

De acordo com Frutuoso et al (1996) esse sistema de aeração fornece o oxigênio suficiente para os microorganismos degradarem os compostos orgânicos. A importância da aeração não se restringe apenas ao fato de se fornecer oxigênio à degradação biológica da matéria orgânica. A adição de oxigênio é também importante como meio de remoção de alguns poluentes, como ferro e magnésio, assim como na oxidação química, eliminando

compostos orgânicos que resistam aos processos biológicos. Serve também como meio de repor os níveis de oxigênio na água antes de ser rejeitada para o meio receptor. O equipamento de aeração usual consiste em unidades de difusão de ar, em sistemas de turbinas de aeração em que o ar é liberado abaixo das pás rotativas, e aeração de superfície, no qual a transferência de oxigênio é garantida pela alta turbulência de superfície.

2.8. TRATAMENTO BIOLÓGICO COM OXIGÊNIO PURO

Os primeiros estudos com oxigênio puro aconteceram na década de 30, realizados pela empresa Union Carbide que estava interessada em aumentar a demanda do oxigênio líquido.

Em 1948 a Universidade de Harvard conduziu testes com o objetivo de demonstrar que o oxigênio puro pode superativar os microorganismos do lodo ativado, obtendo como resultados: baixo nível de consumo de energia elétrica comparando com a tecnologia de aeração convencional, uma melhor decantação do lodo e um efluente final com boa qualidade.

O oxigênio é muito insolúvel em água. O equipamento de dissolução de oxigênio deve ser projetado para que seja eficiente a absorção de oxigênio livre. Porém, por causa do custo do oxigênio comercial devem ser projetadas de forma eficaz as instalações para sua dissolução como também minimizar o consumo de energia. Estas exigências regem as alternativas de equipamento de aeração, utilizados no sistema de tratamento (Metcalf & Eddy, 1991).

Para o tratamento de efluentes biológicos usando o oxigênio puro, os processos de dissoluções de oxigênio puro mais utilizados são: Mixflow, ISO e Eflux (segundo White

Martins), cada um com aplicações específicas. O Eflux é usado em grandes estações, principalmente, municipais. O Mixflow é mais viável para aplicação industrial, onde estão presentes contaminantes mais específicos, como efluente altamente concentrado. O ISO também pode ser aplicado em indústrias.

2.8.1. Sistemas de Dissolução do Oxigênio

2.8.1.1. Sistema Mixflow

A tecnologia Mixflow foi desenvolvida a partir dos anos 80 pela empresa SAID – Società Italiana de Acetylene e Derivati, Itália, empresa filiada da Praixair Inc, controladora da White Martins.

O sistema foi desenvolvido para transferir oxigênio na etapa de digestão aeróbia de efluentes domésticos. Depois de alguns anos de estudos foi aperfeiçoado para atender, praticamente, a todas aplicações possíveis, incluindo o tratamento secundário de efluentes.

O sistema Mixflow dissolve o oxigênio puro em dois estágios.

No primeiro estágio, o efluente é lançado no tanque de tratamento, o efluente é bombeado por um reator tubular, onde é injetado o oxigênio.

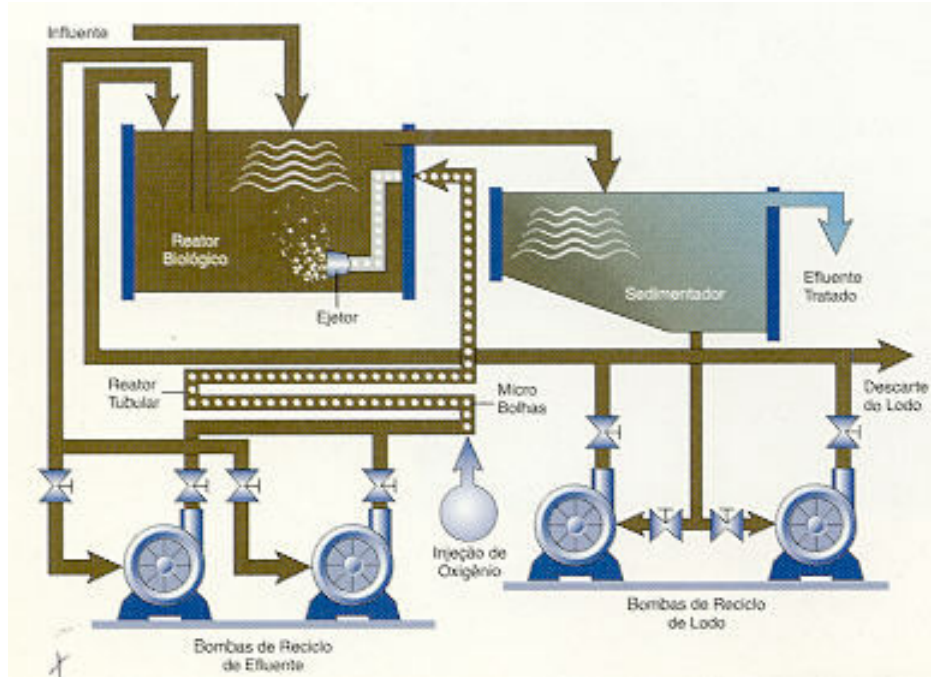


Figura 7 - Sistema Mixflow
Fonte: White Martins (1996).

Na segunda fase, a mistura oxigênio/líquido é injetada outra vez no tanque, utilizando um injetor líquido/líquido que dissipa a energia da bomba, provocando uma dispersão de pequenas bolhas.

As principais características desse sistema são as seguintes:

- Oxigênio dissolvido no reator tubular é bem distribuído no tanque de tratamento, por intermédio do grande volume de líquido que passa pelo injetor.
- Nível de oxigênio dissolvido alcançado no reator é significativamente maior do que a concentração de saturação do oxigênio puro na pressão atmosférica.
- Cerca de 75 % do oxigênio será dissolvido no reator tubular, após ser injetado no tanque biológico a dissolução pode atingir cerca de 90%.

- Este desempenho é superior de 20 a 30% do que é alcançado nos sistemas convencionais. Isso se deve a energia de difusores que dissipa a mistura bifásica, sendo em uma única fase gasosa.
- Sistema de recapacitação: em alguns casos, se pode ampliar a capacidade de tratamento de uma estação de tratamento de efluente, em até 100% sem a necessidade de uma construção civil adicional.
- Tecnologia limpa: o Mixflow transfere 2 Kg O₂/Kw e dissolve 90% de oxigênio injetado. As perdas de gás para a atmosfera são mínimas, evitando a formação de aerossóis que arrastam os compostos orgânicos voláteis.
- Baixa emissão de ruídos: este e outros fatores que consagra este sistema é uma redução de até 50% em comparação dos equipamentos convencionais em operação, passados alguns anos.
- Baixo consumo de energia: em instalações industriais o consumo chega aproximadamente 0,5Kw/Kg O₂, o que representa uma redução de 50% do consumo em relação aos sistemas convencionais.
- Menor necessidade de espaço: como os tanques podem ser verticais e enterrados, proporcionam facilidade de projeto. Existem casos reais em que se necessita uma área 4 vezes menor do que outros sistemas.

2.8.1.2. Sistema Eflux

O sistema Eflux foi desenvolvido no final dos anos 60 pela Praxair Inc, as primeiras plantas operacionais datam da década de 70. Hoje este sistema é amplamente utilizado em estação de tratamento de efluentes municipais e industriais de grandes dimensões.

O sistema utiliza o oxigênio de alta pureza em substituição do ar, como auxílio aos microorganismos que metabolizam as matérias orgânicas indesejáveis. Consiste num tanque de aeração, dividido em estágios e coberto por uma camada de concreto onde é selado o gás. Isto permite o perfeito contato do oxigênio com o efluente. Resultando em cada estágio, uma demanda cada vez menor de oxigenação do efluente. Desta forma, economiza a energia de dissolução, diminui a limitação de transferência de massa e garante a utilização de mais de 90% de oxigênio alimentado no sistema de aeração.

A pressão do gás na superfície do líquido se mantém ligeiramente superior à pressão atmosférica.

As principais características do sistema Eflux são:

- Tecnologia limpa: é um sistema com descarte de gases residuais em torno de 10%, com baixa emissão de aerossóis, reduzindo nível de ruído, em comparação aos sistemas convencionais.
- Baixo consumo de energia: ao utilizar o oxigênio puro no processo de lodo ativado, a força motriz aumenta cerca de 3,5 vezes, no que diminui a energia consumida a menos de um terço para dissolver a mesma quantidade de oxigênio do ar.
- Menor custo para implantação: os equipamentos são de menor porte, em consequência requer menos energia.
- Pequena manutenção: menos equipamentos em condições agressivas.

- Maior nível de oxigênio dissolvido: entre 4 a 8 ppm.
- Menor tempo de retenção: o tempo de retenção depende do efluente a ser tratado, da concentração da biomassa e da carga orgânica que será retirada.
- Menor produção de lodo: um sistema a oxigênio puro produz menos lodo em carga essencialmente equivalente ($\text{Kg DBO}_5 / \text{Kg SSV}$). Se existe disponibilidade de oxigênio, os microorganismos apresentam respiração endógena, o que resulta na oxidação de uma parte da biomassa.
- Melhor sedimentação de lodo: devido ao floco biológico estar mais oxigenado, se forma um floco mais pesado cuja velocidade de sedimentação é 2,5 vezes mais rápida do que num sistema de ar.

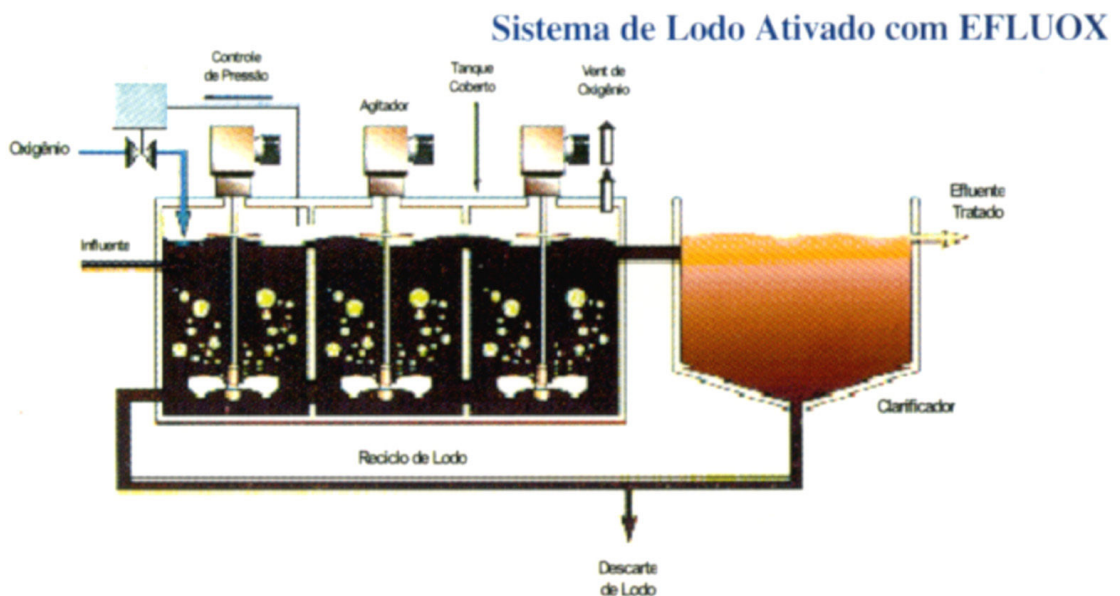


Figura 8 - Sistema Eflux
Fonte: White Martins (1996).

2.8.1.3. Sistema ISO

O sistema ISO tem uma concepção similar aos equipamentos convencionais de aeração mecânica.

A principal diferença é que o ISO transfere oxigênio de alta pureza de maneira bastante eficiente e com baixo consumo de energia, enquanto que muitos dos equipamentos de aeração superficial transferem oxigênio do ar, a custo de grandes quantidades de energia elétrica.

O sistema consiste em uma rosca helicoidal, impelidor e tubo direcionador cobertos por uma chicana horizontal, acoplados a um sistema de flutuação. O oxigênio é injetado em um ponto abaixo da chicana sendo succionado através do impelidor.

É neste momento que se cria uma transferência gás-líquido muito alta. O líquido oxigenado e o gás não dissolvido são descartados pelo fundo do tubo direcionador, onde também existem chicanas. O gás não dissolvido percorre um fluxo vertical ascendente muito próximo ao tubo direcionador, sendo capturado através da chicana horizontal. Este gás não dissolvido é então novamente succionado pelo impelidor.

A chicana horizontal é dimensionada para que a quase totalidade do oxigênio seja capturada. A pressão de trabalho abaixo da chicana horizontal é controlada para manter um fluxo contínuo do oxigênio ao sistema.

As principais características do sistema ISO são:

- Tecnologia limpa: baixa emissão de aerossóis e nível de ruído praticamente imperceptível.
- Baixo consumo de energia elétrica: o sistema consome 0,3 Kw / Kg O₂.
- Rápida instalação: a montagem é muito simples e sua construção se faz em até 45 dias.

- Baixo custo de manutenção: possui poucas partes móveis e as demais são protegidas com materiais resistentes a corrosão.

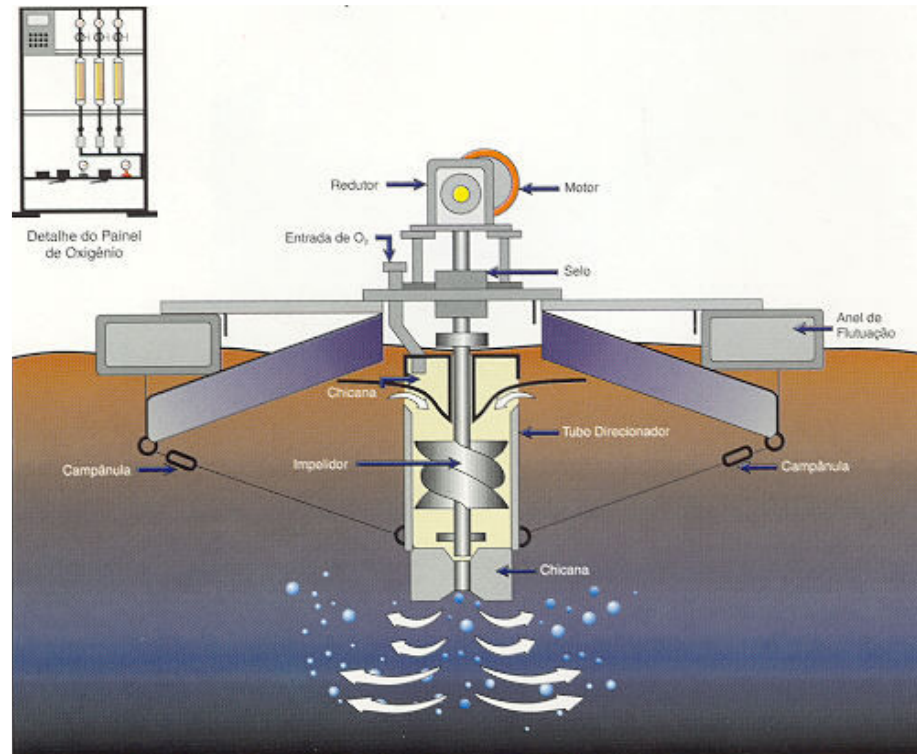


Figura 9 - Sistema ISO
Fonte: White Martins (1996)

3- MATERIAIS E MÉTODOS

A parte de metodologia experimental do trabalho dividiu-se em duas etapas.

Na primeira etapa foram realizados testes em laboratório com os diversos coagulantes inorgânicos e o polímero orgânico Lamflock 1525D, para verificar qual deles seria o mais eficiente, selecionando-o para a segunda etapa. O produto que apresentou o melhor resultado na primeira etapa foi o polímero orgânico.

Na segunda etapa acompanhou-se o desempenho do polímero para remoção de cor, sua eficiência e conseqüentemente o impacto sobre o sistema biológico. Os testes foram realizados em 3 fases:

- Na 1ª fase, o sistema biológico trabalhou sem adição do polímero para remoção de cor, sendo mantida a temperatura do efluente entre 32°C - 36° C.
- Na 2ª fase, testou-se o polímero orgânico sendo mantida a temperatura do efluente entre 32°C - 36° C.
- Na 3ª fase, o mesmo procedimento realizado na 2ª fase foi adotado, entretanto, a temperatura do tratamento biológico foi mantida entre 40°C – 48°C.

3.1- 1ª ETAPA - TESTES EM LABORATÓRIO

3.1.1 - Efluente Têxtil

O efluente utilizado foi proveniente da ETE da Teka - Tecelagem Kuehnrich S A, município de Blumenau - SC.

O efluente bruto foi coletado após a equalização, sendo efetuada uma amostragem composta, sendo coletado o mesmo volume de efluente a uma vazão constante, durante 8 horas, a intervalos de 2 horas, para compor o efluente a ser testado.

O volume coletado foi de 40 litros, o efluente foi distribuído em recipientes de 5 litros e armazenados em um refrigerador à 4° C, para que as características do mesmo fossem preservada o máximo possível.

A caracterização do efluente foi realizada ao término da coleta da amostra composta. Essa caracterização não foi completa, mas somente dos principais parâmetros, em virtude do principal objeto de estudo ser somente a eficiência de remoção de cor do efluente pelos diversos produtos testados.

O efluente biológico coletado foi proveniente da saída dos reatores biológicos antes da adição de qualquer produto químico do processo de clarificação, também foi realizada a caracterização desse efluente.

Tabela 3 - Caracterização dos efluentes para os ensaios em laboratório

PARÂMETRO	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE BIOLÓGICO
Cor (UPtCO)	1.716	880
pH	10,1	7,23
DQO (mg/L)	786	79
DBO (mg/L)	378	18,9
SST (mg/L)	-	3.368
SSV (mg/L)	-	2.538

Nesta etapa do trabalho foram realizados experimentos, em laboratório, com diversos coagulantes inorgânicos e polímero orgânico para remoção de cor. O objetivo da fase experimental em laboratório foi determinar a eficiência de remoção de cor entre os coagulantes inorgânicos e polímero orgânico para remoção de cor.

3.1.2- Produtos Químicos Utilizados

Os produtos químicos utilizados foram os seguintes:

- Ácido Sulfúrico solução 1N.

Coagulantes inorgânicos:

- **SAB** - Sulfato de Alumínio Comercial a 50%.
- **PAC** - Cloreto de Poli-Alumínio a 18%.
- **FeCl₃** - Cloreto Férrico a 50%.

Polímero para remoção de cor orgânico:

- **Polímero orgânico** - Lamflock 1525D, da Lambra Produtos Químicos

3.1.3- Materiais

- Erlenmeyer de 250 mL
- Balão volumétrico de 250 mL
- Pipeta volumétrica de 25 mL
- Proveta graduada de 250 mL
- Pipeta graduada de 2 mL
- Frasco plástico de 350 mL com tampa
- Funil de vidro
- Cronômetro
- Agitador Magnético
- DBO manométrico HACH
- Espectrofotômetro HACH DR 2000
- Reator de Digestão para DQO HACH
- Turbidímetro DM C2 Digimed
- pHmetro Gehaka PG 2000

3.1.4- Métodos Analíticos

As análises físico-químicas dos testes com os efluentes da *fase experimental em laboratório* foram realizados no laboratório de efluentes da Teka.

As análises físico-químicas dos testes com efluentes da *fase experimental em planta* foram realizadas pelo LANAE do Senai de Blumenau.

- O pH foi medido com aparelho de bancada Gehaka PG 2000 digital, utilizando-se de um elétrico combinado de vidro e prata/cloreto de prata. O aparelho foi calibrado com soluções tampões de pH 7 e 10, conforme indicado pelo Standard Methods for Examination of Water and WasteWater (APHA, 1995).
- A DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio) foi realizada através do aparelho de DBO manométrico HACH, em incubadora climatizada à 20° C +/- 0,2°C.
- A DQO (demanda química de oxigênio) foi determinada pelo Standard Methods 5220D (APHA, 1992), com o aparelho de digestão para DQO HACH, e a leitura no Espectrofotômetro HACH DR 2000, método HACH 435.
- Os testes de SST e SSV foram realizados conforme método Standard 2.540 D. e 2.540 I. (APHA, 1992).
- A Cor foi determinada pelo espectrofotômetro HACH DR 2000, método HACH 120.
- A turbidez foi medida através do turbidímetro de bancada DM C2 Digimed.

3.1.5 – Teste Experimental em Laboratório

3.1.5.1- Preparação das soluções

Para todos os produtos químicos testados, foram preparadas soluções a 10% de concentração, conforme procedimento a seguir.

O produto químico foi pipetado com uma pipeta volumétrica de 25 mL, transferindo em seguida para um balão volumétrico de 250 mL, enxaguando 3 vezes a parte interna da pipeta

com água para retirar o produto que aderiu as paredes internas da pipeta, o líquido de enxágüe foi adicionado ao balão volumétrico, posteriormente, avolumou-se o balão com água em contínua agitação realizada com o agitador magnético em velocidade 1, por 10 minutos.

Após a preparação da solução, a mesma foi transferida para um frasco plástico de 250 mL, com um funil de vidro, ficando em repouso até o momento dos ensaios.

3.1.5.2 - Teste Experimental 1

Neste teste utilizou-se o efluente coletado após a equalização sem nenhuma modificação de suas características originais conforme descrito na tabela 3.

O efluente foi retirado do refrigerador e climatizado até temperatura ambiente.

Em vários erlenmeyers de 250 mL foram adicionados 200 mL do efluente bruto, medidos em uma proveta de 250 mL e transferido com auxílio de um funil do vidro. Os erlenmeyers foram identificados conforme a dosagem de produto adicionado.

O primeiro produto a ser testado foi o polímero orgânico para remoção de cor. O procedimento de contato foi o seguinte:

- No agitador magnético colocou-se o erlenmeyer com o efluente, submetendo-o a uma agitação no nível 1, após 30 segundos de agitação adicionou-se à quantidade pré-estabelecida da solução do produto.
- Após a adição do produto, foi mantida a agitação no nível 1 por mais 30 segundos (tempo necessário para a total homogeneização do efluente), retirando o erlenmeyer imediatamente do agitador após esse tempo e deixando-o em repouso por 2 horas

para a decantação do lodo formado, sendo realizada a leitura de cor residual do efluente sobrenadante através do Espectrofotômetro HACH DR 2000, método 120.

- O mesmo procedimento foi adotado para todos os outros coagulantes inorgânicos, na seguinte ordem; Cloreto Férrico (FeCl_3), Sulfato de Alumínio (SAB) e Cloreto de Poli-Alumínio (PAC).

3.1.5.3- Teste Experimental 2

Neste teste utilizou-se o efluente coletado após a equalização, porém realizou-se a neutralização do efluente com uma solução de ácido sulfúrico 1N, deixando o pH em 7,5, as demais características do efluente foram mantidas inalteradas conforme descrito na tabela 3.

O procedimento analítico do teste 2 foi idêntico ao do teste 1, entretanto, em alguns casos o número de ensaios realizado foi menor.

3.1.5.4- Teste Experimental 3

Neste teste utilizou-se o efluente da saída dos reatores biológicos antes da adição de qualquer produto químico no processo de clarificação, sem nenhuma modificação de suas características originais conforme descrito na tabela 3.

O procedimento analítico do teste 3 foi idêntico aos dos testes 1 e 2, porém, o número de amostras foi menor que nos 2 testes anteriores.

Ao término dos testes experimentais em laboratório verificamos que o produto que apresentou a melhor eficiência na remoção, foi o polímero orgânico de remoção de cor, por isso na fase experimental em planta nos concentramos somente na utilização desse produto.

3.2- 2ª ETAPA - TESTES EM PLANTA

3.2.1- Apresentação

A estação de tratamento de efluentes da Teka - Tecelagem Kuehnrich S A, unidade de Blumenau - SC, tem como finalidade atender os padrões legais de lançamento de efluentes no corpo receptor, que neste caso é o rio Itajaí-Açú, classificado segundo a FATMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente), como classe 2.

O efluente tratado não pode alterar a qualidade da água do corpo receptor no qual é despejado, preservando-a para quem venha utilizar-se desta água posteriormente.

A ETE da TEKA, uma estação que foi projetada como um tratamento biológico aeróbio, pelo processo de lodos ativados. O projeto foi elaborado para uma atender uma vazão média máxima de 250 m³/h, sendo 240 m³/h de efluente industrial e 10 m³/h de esgoto sanitário, podendo suportar uma vazão de pico de 280 m³/h, em casos excepcionais, por no máximo 4 horas. A estação também foi projetada para atender uma DBO média de 500 mg/l.

O volume total dos reatores biológicos totaliza 1.500 m³ em 3 unidades, em virtude principalmente da pequena área disponível para ETE. As limitações de área conferiram a ETE uma característica bem atípica, com tanques verticalizados, baixo tempo de retenção nos

reatores biológicos, caindo na faixa de aeração rápida, sendo necessário à utilização de oxigênio puro para suprir o consumo brutal de oxigênio requerido pelo tratamento biológico.



Figura 10 - ETE TEKA Blumenau

3.2.2- Descrição do Processo de Tratamento

3.2.2.1- Unidade de gradeamento e caixa de areia:

Nesta unidade os sólidos grosseiros são retidos. Esta unidade é dupla, operando-se um lado de cada vez, enquanto se procede a limpeza manual.

A interrupção do fluxo é feita pela colocação de comportas que bloqueiam o fluxo de cada lado da unidade. Após isto, o efluente é bombeado para a ETE, são 3 bombas de recalque de 300 m³/h cada.



Figura 11 – Captação e gradeamento

3.2.2.2- Filtros Rotativos:

O efluente bombeado passa por uma bateria de filtros rotativos auto-limpantes (figura12) para a retirada de sólidos finos, na maioria fibrilas de algodão, sendo após lançados nos tanques de equalização. São 8 filtros rotativos com capacidade total para 600 m³/h.



Figura 12 - Filtros Rotativos

3.2.2.3- Tanques de Equalização:

O efluente chega aos tanques de equalização, que tem função de promover a homogeneização da composição e temperatura do efluente, permitindo a regularização da vazão do tratamento, da equalização o efluente é bombeado para o sistema de resfriamento. São 2 unidades com um volume total de 1.570 m³.



Figura 13 - Tanques de equalização

3.2.2.4- Sistema de Resfriamento:

Antes de chegar aos reatores biológicos o efluente passa por dois trocadores de calor tipo placas, para redução da temperatura abaixo dos 36° C. São 2 unidades com capacidade total de 560 m³/h, e um gradiente térmico de 15°C.



Figura 14 - Trocadores de calor

3.2.2.5- Reatores Biológicos:

O efluente industrial após o resfriamento é misturado ao esgoto sanitário nos reatores biológicos, para o tratamento biológico com lodo ativado. São 3 reatores com volume total de 1.500 m³.

Toda massa no reator é recirculada e oxigenada com oxigênio puro através do equipamento ISO (tecnologia White Martins). A dosagem do oxigênio é realizada por um aparelho medidor/controlador de OD, que mantêm o residual na faixa de 2 a 4 mg/l. Em seguida, o efluente fluirá por gravidade para os decantadores.

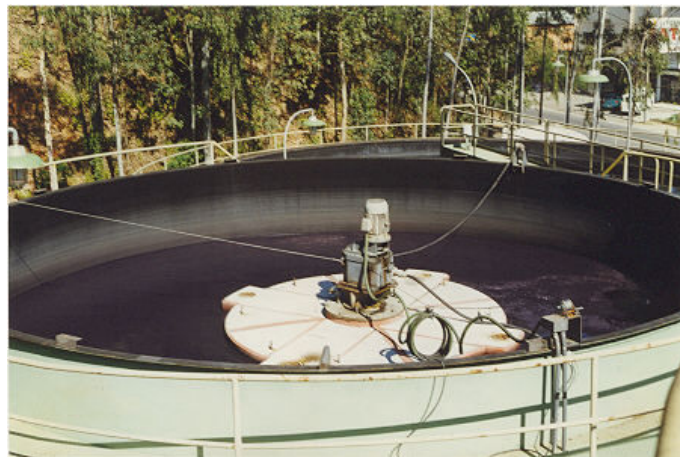


Figura 15 – Reator biológico

3.2.2.6- Decantadores:

Tem por objetivo separar os sólidos sedimentáveis formados na operação anterior. São 2 unidades com um volume total de 1.080 m³.

Os decantadores são de fluxo vertical e a recirculação do lodo é feita por bombeamento para os reatores biológicos, o excedente do lodo será descartado para o poço de lodo. O efluente já clarificado flui por gravidade até a Calha Parshall.



Figura 16 – Decantador

3.2.2.7 – Calha Parshall:

O efluente tratado passa por uma calha parshall de 9” para medição final da vazão e em seguida flui para o rio Itajaí-Açú (seu corpo receptor).

3.2.2.8- Filtro Belt-Press:

Todo o lodo descartado do sistema de tratamento é desaguado em duas prensas desaguadoras, tipo Belt-Press, para ser depositado no Aterro Industrial da Momento Engenharia.



Figura 17 – Prensas Desaguadoras

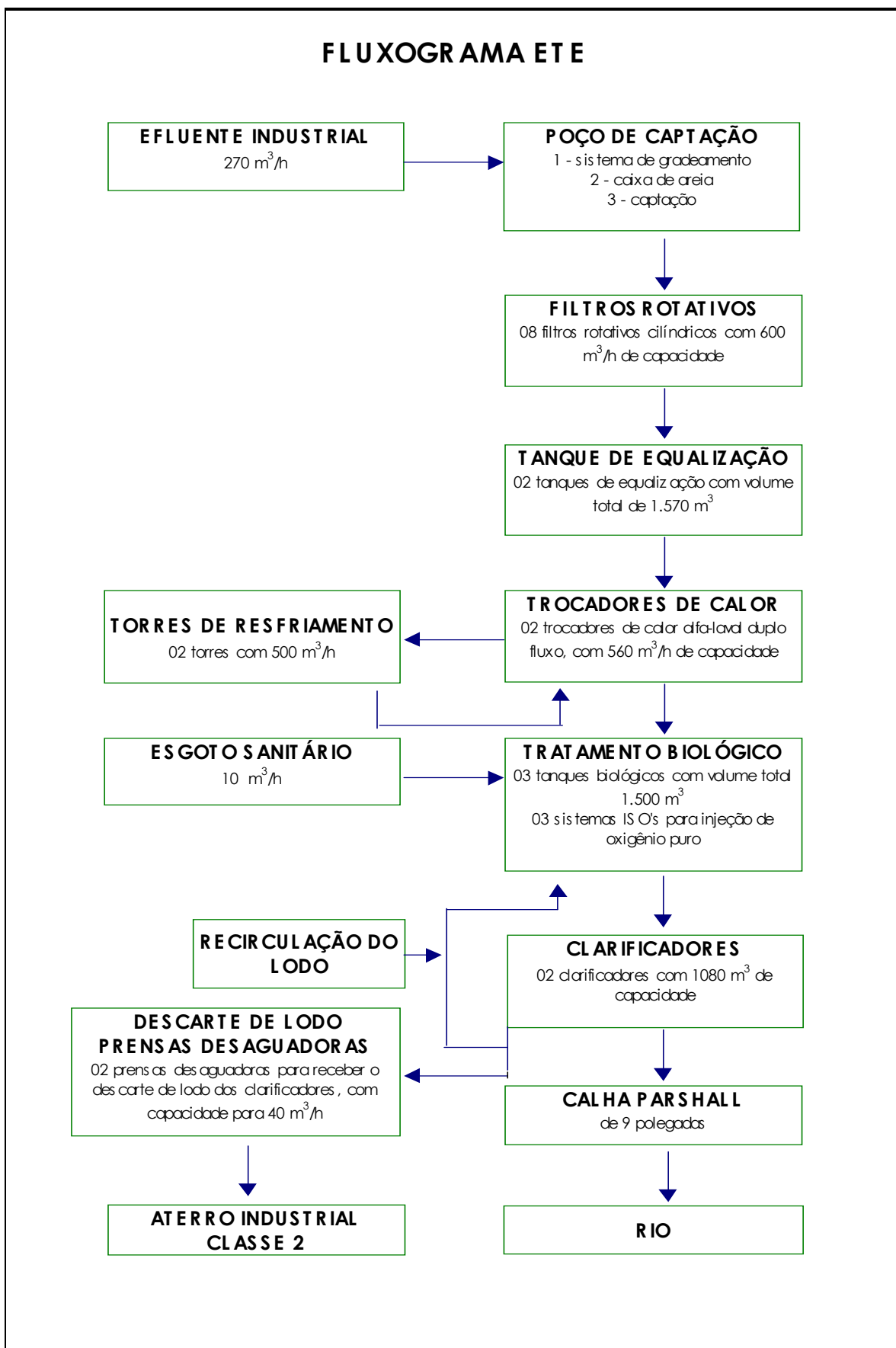


Figura 18 - Fluxograma ETE - Fonte: Teka

3.2.3- Desenvolvimento Parte Experimental na ETE

Na parte experimental na ETE trabalhou-se somente com o polímero para remoção de cor, objeto principal do estudo, conforme resultados obtidos na parte experimental em laboratório.

Durante 7 meses efetuou-se o acompanhamento do desempenho da adição do polímero para remoção de cor, sua eficiência na remoção de cor do efluente e conseqüentemente o impacto sobre o sistema biológico de um dos reatores da ETE da Teka.

Os testes foram realizados em 3 fases:

- Na 1ª fase, durante 4 semanas, o sistema biológico trabalhou sem adição do polímero para remoção de cor, com o efluente sendo resfriado pela trocador de calor, temperatura entre 32°C – 36°C.
- Na 2ª fase, durante 16 semanas, testou-se o polímero para remoção de cor frente a diversos efluentes, com características variáveis de cor, pH DQO, DBO, nessa fase o efluente foi resfriado, sendo mantida a temperatura entre 32°C - 36° C.
- Na 3ª fase, durante 8 semanas o mesmo procedimento realizado na 2ª fase foi adotado, entretanto, não se realizou o resfriamento do efluente, com isso a temperatura do tratamento biológico permaneceu entre 40° C – 48°C.

A ETE da Teka foi construída com a capacidade de funcionar em condições especiais como duas estações distintas, cada um dos três reatores biológico possui entradas individuais de efluente, esgoto sanitário, retorno de lodo dos decantadores e oxigênio, também a saída do efluente dos reatores biológicos podem ser redirecionadas para qualquer um dos dois decantadores.

Para o teste experimental na ETE foi separado o reator biológico 1 interligando com o decantador 2. O motivo principal foi à proximidade dos 2 tanques e a facilidade para as modificações da interligação dos mesmos, conforme figura 19 (tanques em amarelo).

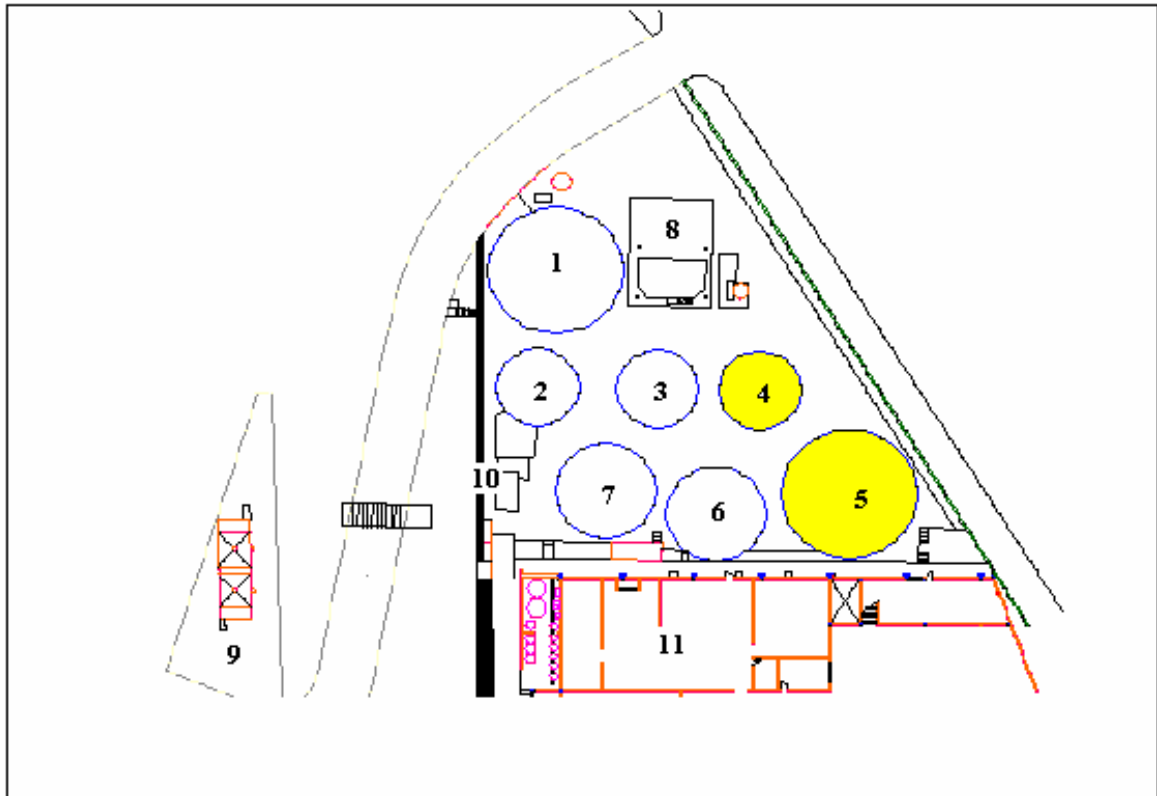


Figura 19 - Layout ETE – Fonte: Teka

Legenda:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1- Clarificador 1 | 7- Tanque de Equalização 1 |
| 2- Tanque Biológico 3 | 8- Prensas Desaguadoras |
| 3- Tanque Biológico 2 | 9- Torres de Resfriamento |
| 4- Tanque Biológico 1 | 10- Trocadores de Calor |
| 5- Clarificador 2 | 11- Prédio de Produção |
| 6- Tanque de Equalização 2 | |

Desta forma tinha-se um reator biológico de 500 m³ e um decantador de 540 m³, conforme mostrado na Figura 19 (tanques em destaque), enquanto que o restante da estação continuou normalmente com seu funcionamento.

O controle operacional da ETE foi efetuado com a coleta e análise dos dados a cada 2 horas de cor, pH, vazão, temperatura. O controle do oxigênio foi realizado por um sistema de monitoramento/dosagem de oxigênio automático, constituído por uma sonda na superfície do efluente no reator biológico que efetua a leitura do residual de oxigênio, transmitindo um sinal de 4 a 20 mA, para o controlador da Great Lake, equipamento que possui dois set-points de dosagens, um para abertura a 2 mg/l OD e outro para fechamento a 4 mg/l de OD.

As análises em laboratório foram realizadas pelos métodos já descritos **no item 3.1.4**.

3.2.4- Preparação do polímero para remoção de cor

O polímero para remoção de cor foi preparado em uma concentração de 10% em um tanque de 3.000 litros de capacidade.

O procedimento de preparação consistiu na adição de água até a metade do tanque, adicionando-se o polímero para remoção de cor sob agitação com um agitador mecânico de 0,5 CV de haste longa e completado o volume até a cota máxima com água, deixando por mais 10 minutos sob agitação para a completa homogeneização da solução.

A dosagem da solução foi realizada através de uma dosadora Milton Roy de diafragma flexível e regulagem variável, possibilitando alterações na dosagem conforme necessário.

3.2.5- Equipamentos

- Tanque de preparação em aço inox com capacidade para 3.000 litros.
- Agitador mecânico de haste longa de 0,5 CV.
- Bomba dosadora Milton Roy de 230 litros.
- Frascos plásticos de 300 mL.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados em duas etapas, de acordo com o desenvolvimento da parte experimental.

Na 1ª etapa serão apresentados os resultados dos testes realizados em laboratório comparando-se os coagulantes inorgânicos, SAB, FeCl₃ e PAC, contra o polímero orgânico para remoção de cor.

Na 2ª etapa serão apresentados os resultados dos testes realizados na ETE, em relação à eficiência de remoção de cor pelo polímero orgânico frente às diversas condições apresentadas pelo efluente a ser tratado durante o transcorrer do experimento, bem como o impacto que a adição do polímero orgânico teve sobre os parâmetros físico-químico que medem a eficiência global de uma ETE.

4.1 - TESTE EM LABORATÓRIO

4.1.1 - Teste em Laboratório 1

Nesse teste buscou-se obter qual dos produtos seria o mais eficiente na remoção de cor de um efluente bruto, sem qualquer tratamento prévio (biológico ou físico-químico).

Conforme apresentado na tabela 4 e na figura 20, o polímero para remoção de cor apresentou uma relação de eficiência muito superior aos dos coagulantes inorgânicos, na faixa de 700 mg/l foi o único produto que a cor residual ficou abaixo de 75 UPtCo, considerado pelos órgãos ambientais o limite para emissão de cor para efluentes para um rio classe 2.

Na faixa de 700 mg/l o polímero para remoção de cor teve um desempenho superior em 52,0% em relação ao SAB, 21,1% em relação FeCl_3 e 23,3% em relação ao PAC.

Mesmo com aumento da dosagem em 85,7 % nem o SAB e o FeCl_3 alcançaram o desempenho do polímero para remoção de cor, somente o PAC conseguiu um aumento na eficiência de remoção de cor.

Tabela 4 – Percentual de remoção de cor do teste 1 em laboratório, utilizando diferentes dosagens para cada produto testado

DOSAGEM (mg/l)	Polímero		SAB		FeCl_3		PAC	
	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção
300	1.530	10,8	1.564	8,9	1.356	21,0	1391	18,9
350	1.480	13,8	1.422	17,1	1.266	26,2	1231	28,3
400	1.460	14,9	1.293	24,7	1.176	31,5	1099	36,0
450	1.200	30,1	1203	29,9	999	41,8	990	42,3
500	1.075	37,4	1.113	35,1	822	52,1	900	47,6
550	533	68,9	1091	36,4	708	58,7	799	53,4
600	173	89,9	1.068	37,8	594	65,4	698	59,3
650	103	94,0	1012	41,0	510	70,3	581	66,1
700	63	96,3	956	44,3	425	75,2	464	73,0
750	47	97,3	862	49,8	375	78,1	339	80,2
800			767	55,3	325	81,1	214	87,5
900			622	63,8	276	83,9	160	90,7
1.000			484	71,8	192	88,8	110	93,6
1.100			354	79,4	208	87,9	102	94,1
1.200			303	82,3	225	86,9	75	95,6
1.300			279	83,7	355	79,3	69	96,0

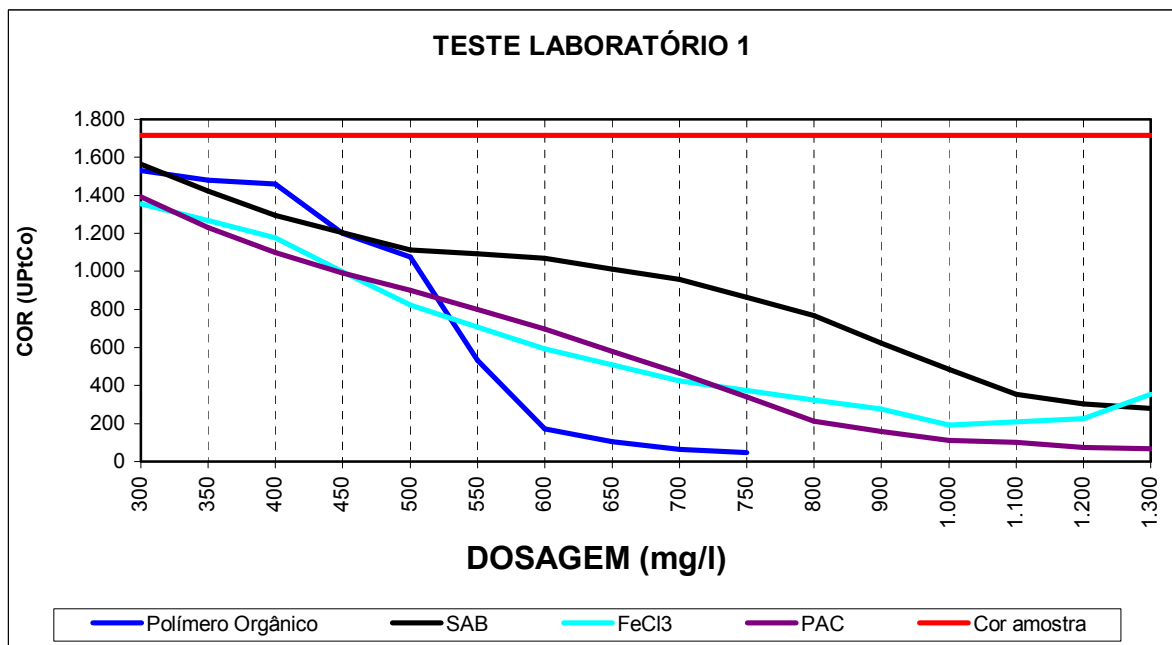


Figura 20 - Remoção de cor do teste 1 em laboratório, utilizando todos os produtos químicos em diferente dosagens



Figura 21 – Remoção de cor do teste 1 em laboratório para diferentes dosagens:

- a) Polímero orgânico
- b) FeCl_3
- c) SAB
- d) PAC

4.1.2 - Teste em laboratório 2

Nesse ensaio o objetivo foi o mesmo do ensaio anterior, determinar a eficiência de remoção de cor dos produtos testados, entretanto, o pH do efluente foi neutralizado para verificar-se a interferência desse parâmetro.

Com a diminuição do pH de 10,3 para 7,23, houve uma redução significativa da dosagem de todos os produtos químicos com uma melhora na eficiência de remoção de cor.

Os coagulantes inorgânicos apresentaram uma redução na dosagem de produtos na seguinte ordem, 33% para o SAB, 44% para o FeCl_3 , em relação aos resultados alcançados no teste 1 conforme tabela 4. O único que não apresentou melhora na eficiência e redução na dosagem foi o PAC.

O FeCl_3 apresentou após a dosagem de 650 mg/L um aumento na cor, isto se deve ao fato do mesmo ter ultrapassado o ponto ótimo de floculação que foi alcançado na dosagem de 600 mg/L, a partir desse ponto não ocorrerá mais remoção de cor, inclusive o excesso de produto acaba aumentando a cor novamente conforme demonstrado na tabela 5, figura 22 e figura 23 b.

O polímero orgânico apresentou novamente o melhor rendimento, registrando uma redução na dosagem de 50%.

Tabela 5 – Percentual de remoção de cor do teste 2 em laboratório após a redução de pH, para os diferentes produtos e dosagens.

DOSAGEM (mg/l)	Polímero		SAB		FeCl ₃		PAC	
	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção
100	904	47,3	1327	22,7	1293	24,7	1137	33,7
150	251	85,4	1257	26,7	1212	29,4	980	42,9
200	105	93,9	1.183	31,1	1063	38,1	852	50,3
250	97	94,3	1.127	34,3	940	45,2	748	56,4
300	89	94,8	1.052	38,7	841	51,0	662	61,4
350	79	95,4	952	44,5	757	55,9	590	65,6
400			918	46,5	688	59,9	532	69,0
450			886	48,4	443	74,2	484	71,8
500			844	50,8	362	78,9	452	73,7
550			782	54,4	206	88,0	365	78,7
600			720	58,0	149	91,3	345	79,9
650			614	64,2	355	79,3	324	81,1
700			508	70,4	457	73,4	304	82,3
750			467	72,8			185	89,2
800			425	75,2			167	90,3
900			341	80,1			152	91,1
1.000			234	86,4			139	91,9
1.100			223	87,0			129	92,5
1.200			205	88,1			123	92,8

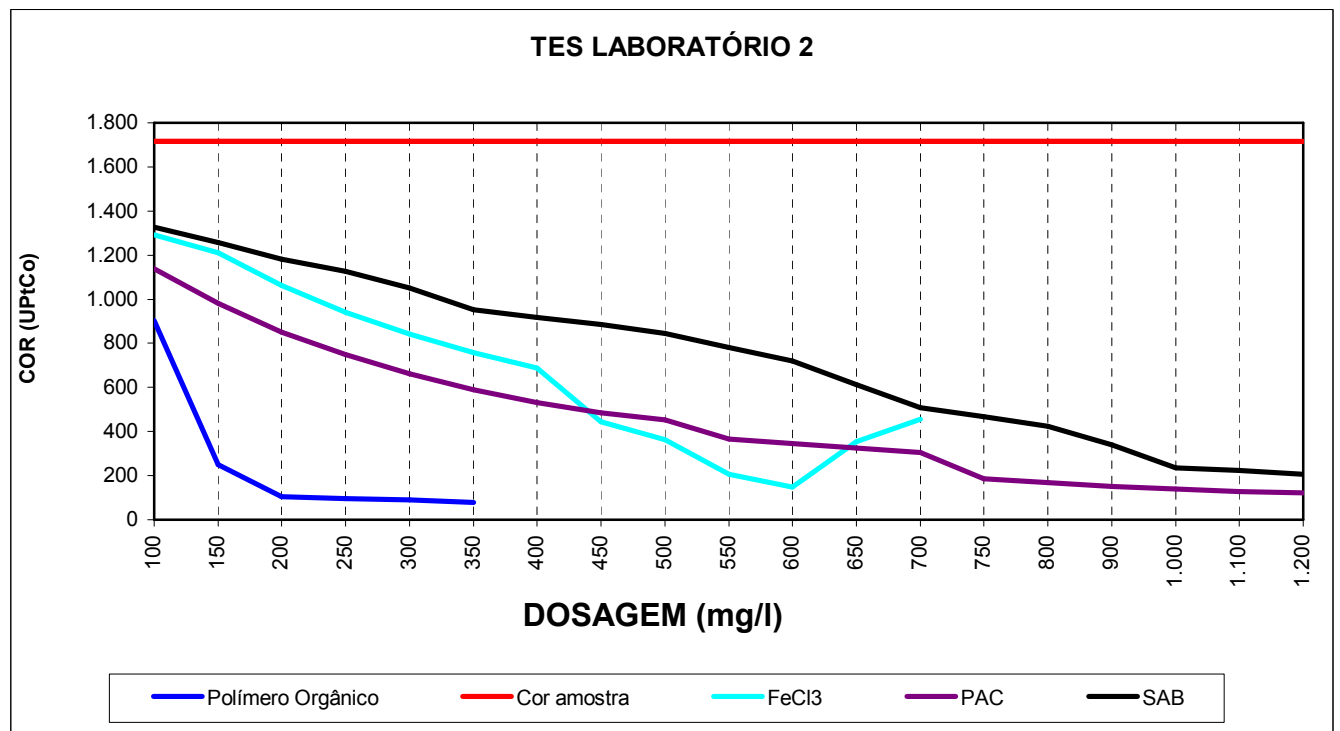


Figura 22 - remoção de cor do teste 2 em laboratório após a redução de pH, para os diferentes produtos e dosagens.



Figura 23 – Remoção de cor do teste 2 em laboratório para diferentes dosagens:

- a) Polímero orgânico
- b) FeCl_3
- c) SAB
- d) PAC

4.1.3 - Teste em laboratório 3

Nesse ensaio utilizou-se o efluente da saída dos reatores biológicos antes da adição de qualquer produto químico do processo de clarificação.

Tabela 6 – Percentual de remoção de cor do teste 3 em laboratório, para os diferentes produtos e dosagens, efluente coletado após o tratamento biológico na ETE

DOSAGEM (mg/l)	Polímero		SAB		FeCl ₃		PAC	
	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção	Cor (UPtCo)	(%) Remoção
25	273	69,0	536	39,1	617	29,9	704	20,0
50	141	84,0	361	59,0	506	42,5	563	36,0
75	77	91,3	299	66,0	422	52,0	472	46,4
100	58	93,4	271	69,2	337	61,7	380	56,8
125	39	95,6	233	73,5	285	67,6	317	64,0
150			201	77,2	233	73,5	254	71,1
200			169	80,8	192	78,2	219	75,1
250			146	83,4	159	81,9	192	78,2
300			123	86,0	119	86,5	146	83,4
350			115	86,9	75	91,5	122	86,1
400			107	87,8	89	89,9	115	86,9

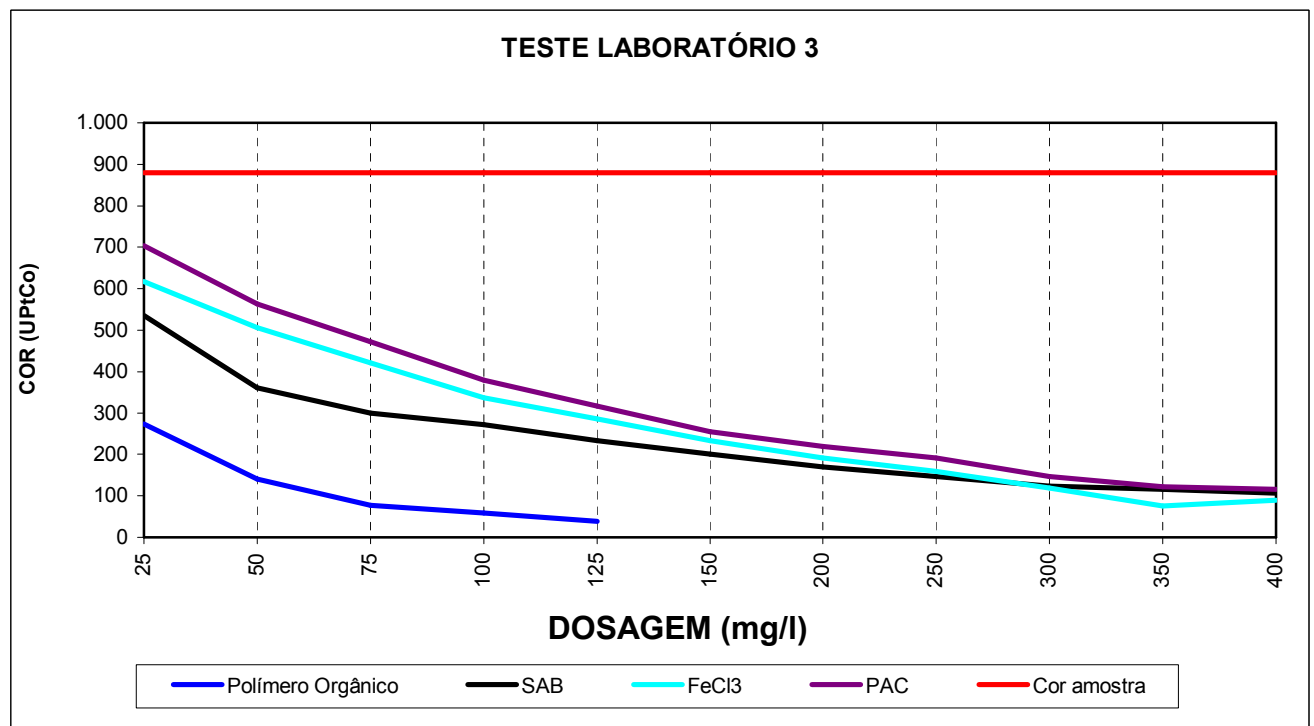


Figura 24 - Remoção de cor do teste 3 em laboratório, para os diferentes produtos e dosagens, efluente coletado após o tratamento biológico na ETE.



Figura 25 – Remoção de cor do teste 3 em laboratório para diferentes dosagens:

- a) Polímero orgânico
- b) FeCl_3
- c) SAB
- d) PAC

Com o efluente tratado biologicamente obteve-se uma maior redução na dosagem de todos os produtos químicos, com uma melhora na eficiência de remoção de cor de todos os três ensaios em laboratório.

Os coagulantes inorgânicos no teste 3 apresentaram uma redução na dosagem de produtos na seguinte ordem comparado ao teste 1, 85% para o SAB, 87% para o FeCl₃ e 70% para o PAC, em relação aos resultados alcançados no teste 1 conforme tabela 4.

O polímero para remoção de cor apresentou novamente o melhor rendimento, registrando uma redução na dosagem de 90%.

Entretanto, o único produto que alcançou a cor exigida pela legislação ambiental (75 UPtCo) em todos os testes foi o polímero para remoção de cor, demonstrando com isso ser o produto mais eficiente na remoção de cor de efluente têxtil nos testes em laboratório.

4.2 - TESTE EM PLANTA

Após definido a melhor eficiência do polímero para remoção de cor sobre os coagulantes inorgânicos nos testes em laboratório, passou-se à próxima etapa, a fase experimental em planta.

Mesmo durante a fase de testes em planta, foram mantidos os parâmetros de acordo com a legislação ambiental, visto que esses efluentes também eram lançados no corpo receptor.

Segundo a Legislação Ambiental de Santa Catarina, Lei nº 5793 de 15 de outubro de 1980, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão serem lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as seguintes condições: pH entre 6,0 – 9,0; temperatura inferior a 40° C; DBO₅ no máximo de 60 mg/l, este limite somente poderá ser ultrapassado no caso do efluente de um sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO₅ em no mínimo 80%.

Conforme objetivo proposto, procurou-se demonstrar inicialmente qual a importância da adição do polímero para remoção de cor e sua eficiência na remoção sobre um efluente têxtil, mas, também qual o impacto que a adição desse produto tem sobre os outros parâmetros de eficiência da estação. Para avaliação, sob o ponto de vista específico de cada parâmetro, comparou-se as três fases do teste em planta conforme descrito no item 2.2.3.

O teste 1, foi realizado nas seguintes condições: tempo de retenção de 10 horas no reator biológico e 3,8 horas no decantador. Este teste foi realizado sem a adição do polímero para remoção de cor para verificar o desempenho da ETE nesta condição, contando somente com a

autodepuração do sistema biológico, servindo como comparativo inicial para os testes seguintes.

No teste 2, manteve-se o mesmo tempo de retenção no reator e decantador, entretanto, após a saída do reator biológico adicionou-se o polímero para remoção de cor mais um polímero de médio peso molecular para acelerar a decantação do lodo formado.

No teste 3, procedeu-se como no teste 2, porém não se resfriou o efluente, para verificar-se o efeito da temperatura sobre a eficiência da ETE.

Para a composição dos resultados apresentados em todos os gráficos alcançados nos três testes em planta foram computadas somente as médias de cada parâmetro. Os resultados individuais de cada teste realizado encontram-se nos apêndices A, B e C.

Tabela 7 – Média dos resultados dos testes realizados em planta
Teste 1 – efluente com resfriamento sem polímero orgânico
Teste 2 – efluente com resfriamento com polímero orgânico
Teste 3 – efluente sem resfriamento com polímero orgânico

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída
pH	9,75	7,03	9,76	6,96	9,44	7,71
Cor (UPtCO)	1.849	323	1.991	107	2.047	427
DBO (mg/l)	359	22,7	398	13,2	336	62
DQO (mg/l)	823	136	865	82	929	260
Sol. Sedim. (ml/l)	0,3	<0,1	0,3	<0,1	0,5	<0,1
Temperatura (°C)	46,0	32,3	45,0	30,2	42,0	42,0
N (amoniaco / mg/l)	9,97	3,22	27,47	10,72	30,14	17,77
N (total / mg/l)	30,81	20,47	42,37	19,81	51,87	30,59
P (total / mg/l)	1,75	0,41	6,15	0,28	4,37	0,58
Turbidez (NTU)	228	31,0	266	13,0	275	45,0

4.2.1- Avaliação dos parâmetros físico-químicos nos testes realizados em planta

As figuras apresentadas a seguir (figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33) mostram uma comparação entre os resultados obtidos com os testes realizados em planta para cada um dos parâmetros físico-químicos analisados (cor, DBO, DQO, turbidez, nitrogênio, fósforo, temperatura e pH).

4.2.1.1 – Cor

Conforme demonstrado nos resultados da tabela 7 e figura 26, verificou-se que o teste 2 apresentou a melhor eficiência de remoção de COR que os testes 1 e 3. Pode-se verificar que no teste 1, na figura 26, a remoção de cor no efluente ficou com uma eficiência de 82,5% e o parâmetro de emissão ficou 323 UPtCo, no teste 2 a eficiência alcançada foi de 94,6%, com uma emissão de cor de 107 UPtCo. Demonstra-se assim, que o polímero orgânico apresentou um efeito positivo, em virtude da melhora no rendimento e eficiência que proporcionou ao tratamento biológico, auxiliando o sistema na redução deste parâmetro.

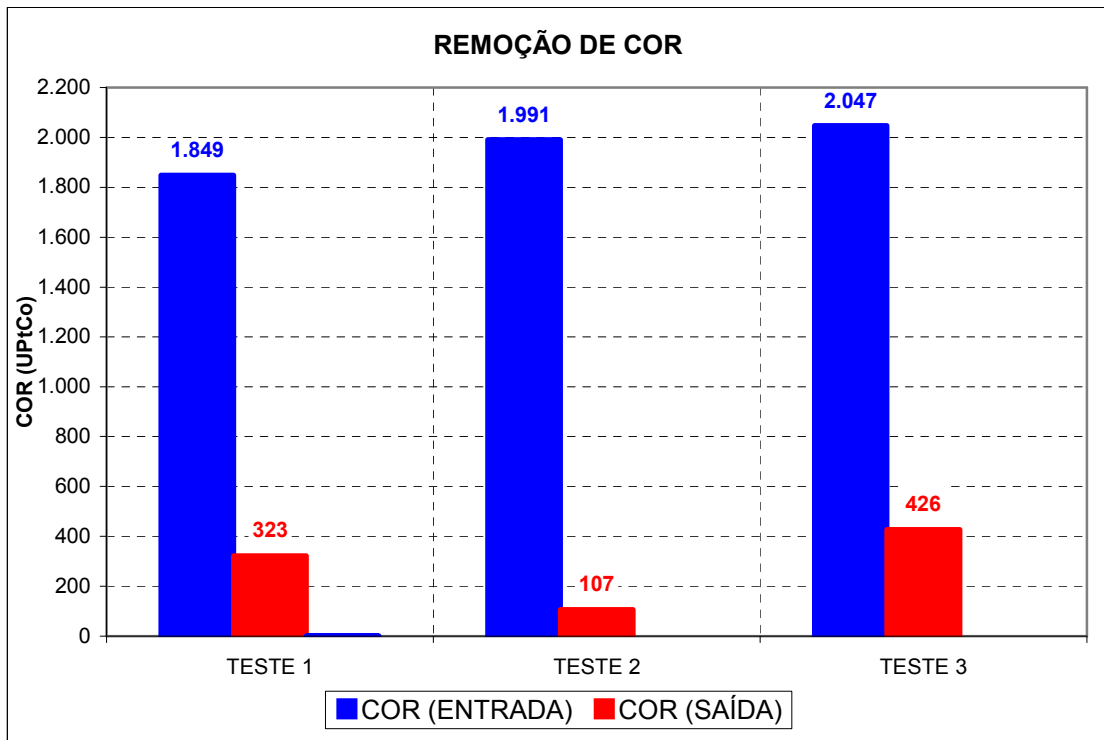


Figura 26 – Remoção de Cor na fase experimental em Planta

4.2.1.2 – DBO – DQO – Turbidez

Através da tabela 7 e das figuras 27, 28 e 29 verifica-se que o teste 2 apresentou o melhor resultado na redução de DBO, DQO e Turbidez, isso ocorre porque além desse polímero orgânico complexar os grupos cromóforos dos corantes, ele também possui propriedades complexantes para matéria orgânica, exatamente como os coagulantes químicos que conseguem remover parte da matéria orgânica quando adicionados a um efluente, a diferença está no mecanismo de reação, infelizmente, apesar desse polímero orgânico já existir a quase 20 anos e ser amplamente utilizado em tratamento de efluentes têxteis há aproximadamente 10 anos, ainda foram desenvolvidos estudos que se explica esse mecanismo.

Os resultados apresentados demonstram que o impacto do polímero orgânico sobre a DBO, DQO e Turbidez resulta em uma melhora em sua eficiência de remoção.

Tal resultado também foi observado por Pak & Chang (2001), em seu estudo foi realizado um tratamento de um efluente têxtil com Sulfato Ferroso em conjunto com escória de fundição com óxido de ferro magnetizado, contra os coagulantes inorgânicos. A mistura de Sulfato Ferroso também resultou em uma melhora significativa na remoção de DQO e turbidez.

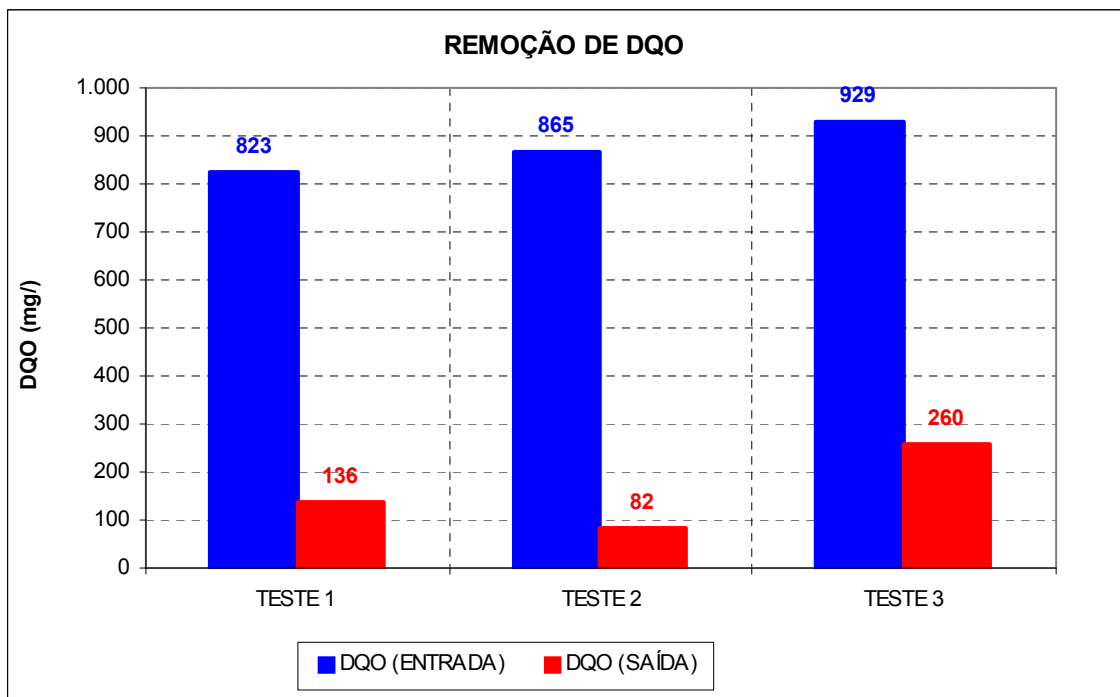


Figura 27 – Remoção de DQO na fase experimental em Planta

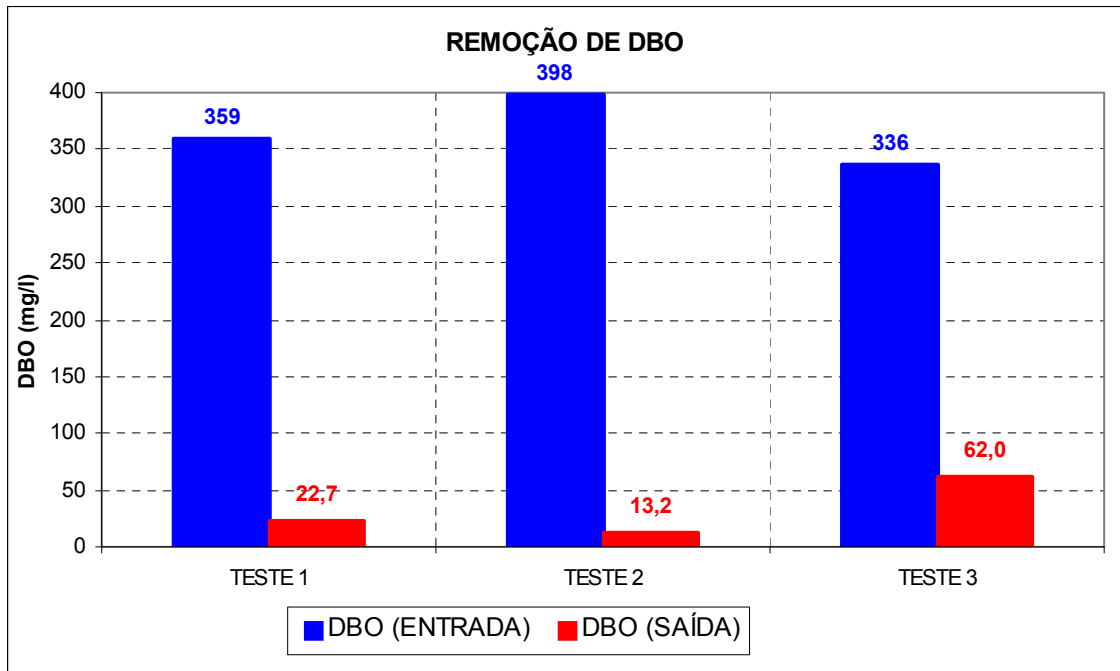


Figura 28 – Remoção de DBO na fase experimental em Planta

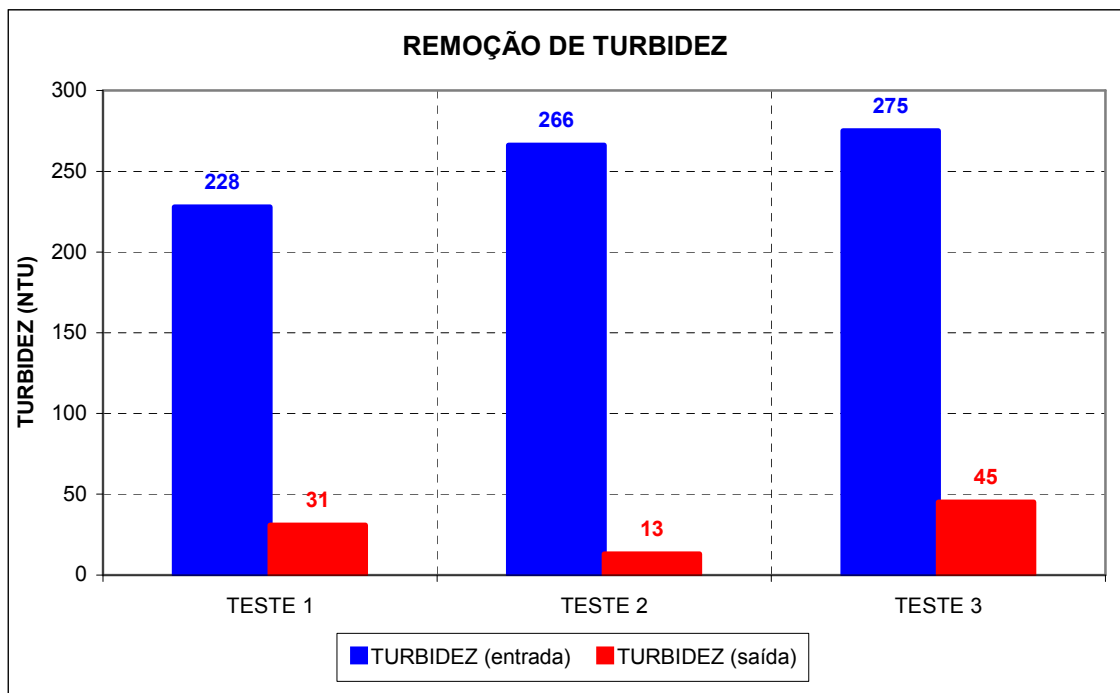


Figura 29 – Remoção de Turbidez na fase experimental em Planta

4.2.1.3 – Nitrogênio e Fósforo

N e P são os principais nutrientes, depois do C, na formação da estrutura celular e geração energética para as bactérias, com a diminuição do processo de depuração biológico ocorrerá naturalmente uma desaceleração ou até redução no processo de reprodução celular, com isso a disponibilidade desses nutrientes será maior que a demanda, conseqüentemente ocorrerá um índice maior desses nutrientes presentes no efluente.

Na remoção de N e P, conforme demonstrado na tabela 7 e figuras 30 e 31, os melhores resultados foram obtidos no teste 2, seguido do teste 1 e por último no teste 3. Portanto, a adição do polímero orgânico não interferiu nesses parâmetros.

O fator de maior contribuição para o resultado negativo no teste 3 foi a elevada temperatura do efluente, que contribuiu para a diminuição da atividade biológica, conforme demonstrado no item 4.2.3, o reflexo foi imediato sobre a remoção de N e P.

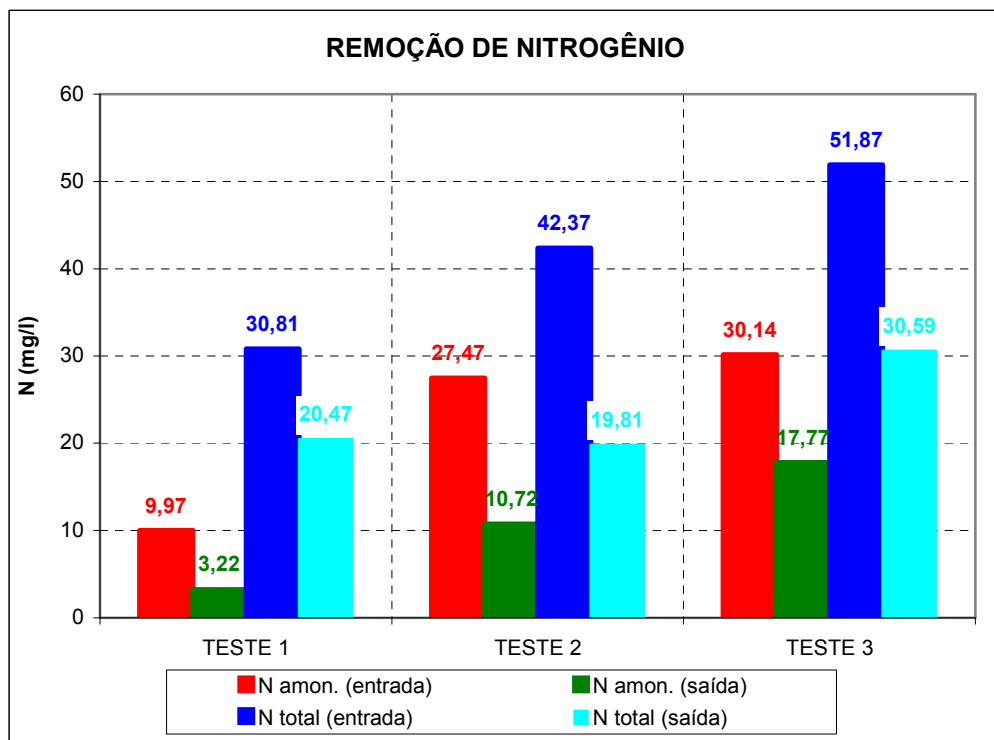


Figura 30 – Remoção de Nitrogênio na fase experimental em Planta

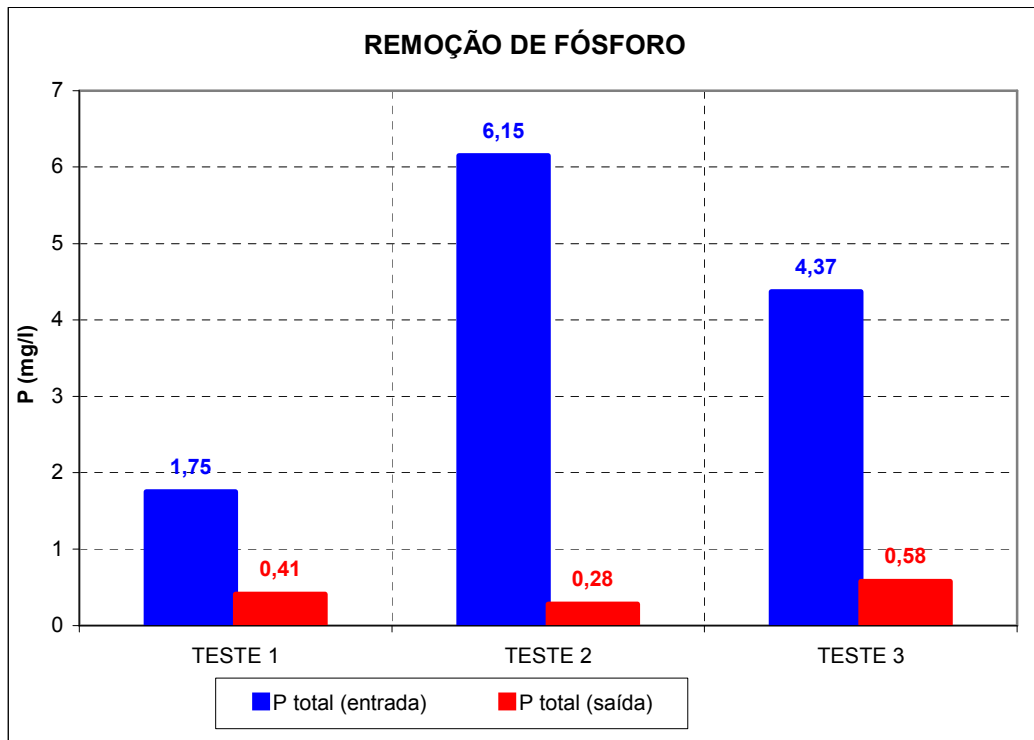


Figura 31 – Remoção de Fósforo na fase experimental em Planta

4.2.1.4- Temperatura e pH

No teste 3 aumentou-se a temperatura do efluente, figura 32, ocorrendo uma redução na remoção de cor de 15,4% comparando com o teste 2 e o lançamento do parâmetro de cor subiu para 426 UPtCo, significando uma diminuição da eficiência do tratamento biológico e da reatividade do produto.

O aumento da temperatura do efluente é um fator limitante, devido à própria natureza do tratamento biológico em questão, aeração rápida, bactérias mesófilas e a própria solubilidade do gás oxigênio, que diminui com o aumento da temperatura do fluido em que é injetado.

Com a diminuição da atividade biológica, o processo aeróbio sofre restrições, com isso o gás carbônico lançado no efluente pelas bactérias diminui, o gás carbônico em meio aquoso

forma o ácido carbônico, que resulta na neutralização do pH do efluente, pode-se verificar na figura 33 conforme se aumenta à temperatura eleva-se também o pH.

Lepisto & Rintala (1999) verificaram em seu estudo que o aumento da temperatura em um reator batelada nas faixas de 35°C, 55°C e 70°C, apresentou uma diminuição na eficiência de remoção de DQO gradativa quando a temperatura aumentava, indicando a diminuição da atividade biológica das bactérias.

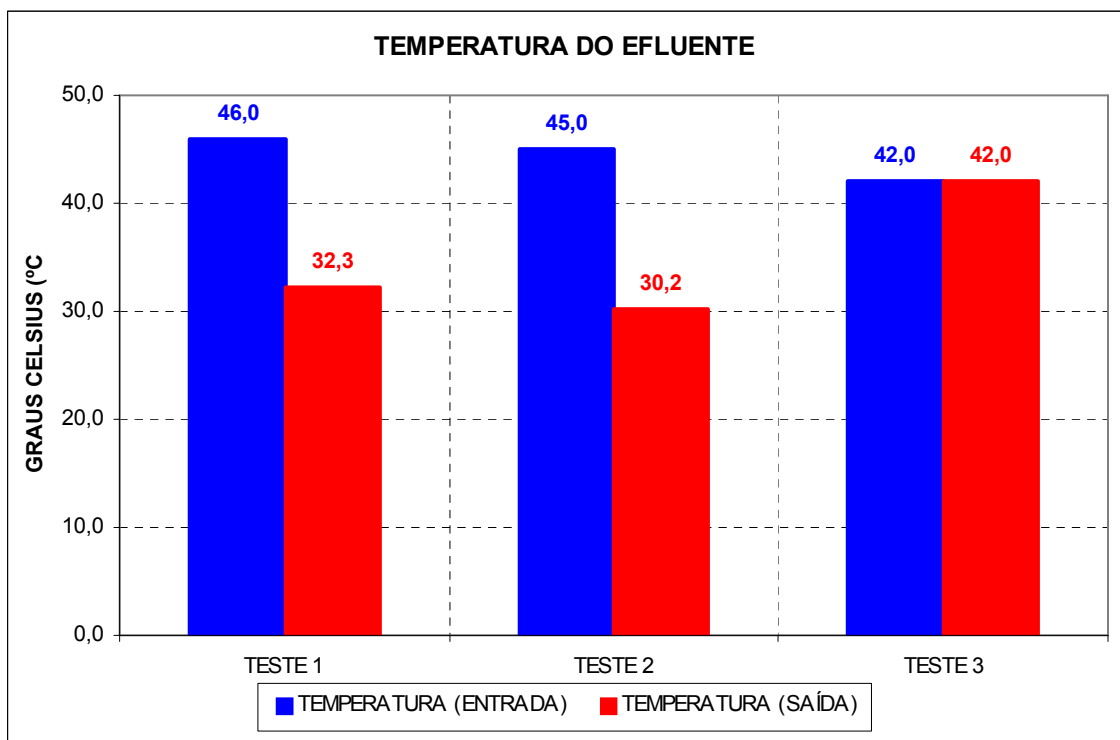


Figura 32 – Temperatura do efluente na fase experimental em Planta

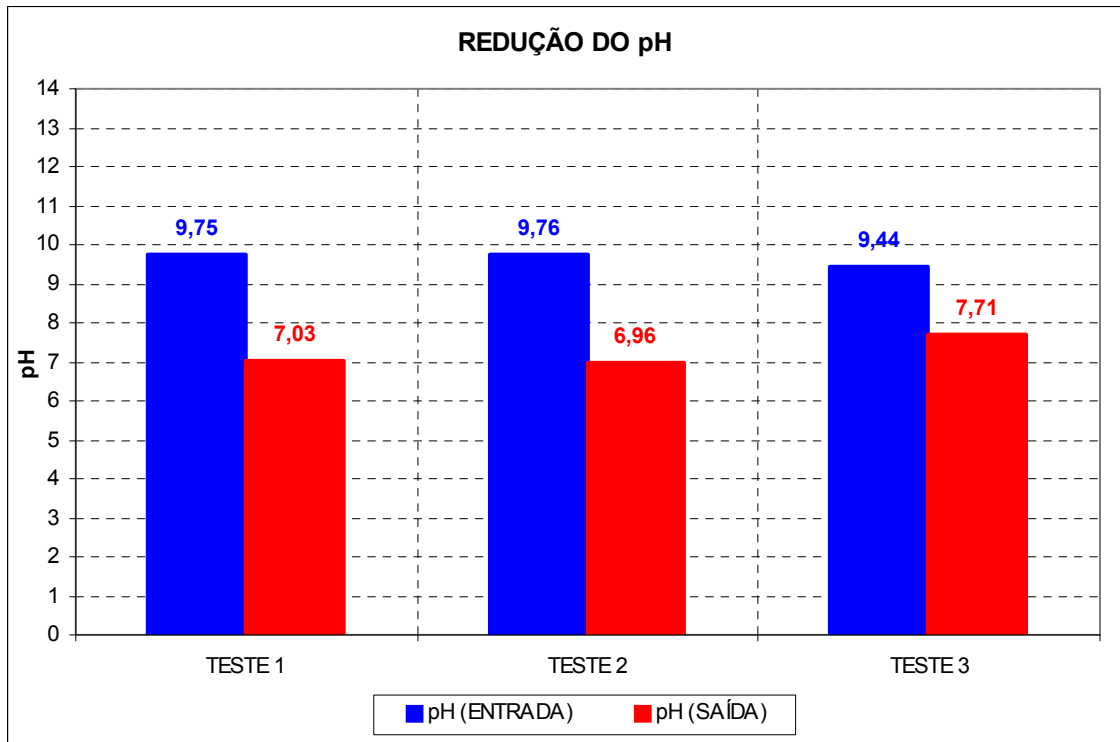


Figura 33 – Redução do pH na fase experimental em Planta

4.2.2. Avaliação Consumo de Oxigênio e Polímero Orgânico

Conforme demonstrado na tabela 8 e na figura 34, o polímero orgânico para remoção de cor também perde eficiência com o aumento da temperatura do efluente no qual está sendo empregado, mas, as variações apresentadas durante os testes não atingiram um nível prejudicial ao desempenho do polímero para remoção de cor, a temperatura máxima do efluente foi de 47,5°C.

Com o aumento da dosagem de polímero para remoção de cor em 192% no teste 3 em relação ao teste 2 e o aumento no consumo de oxigênio em 17%, quadro 10 e figura 42, todos os parâmetros analisados tiveram uma redução em suas eficiências, demonstrando diretamente que o aumento da temperatura afetou o desempenho da ETE e a reatividade do polímero para remoção de cor.

Então o aumento ocorrido no consumo de polímero para remoção de cor e oxigênio foram devido: a perda da eficiência do processo biológico na depuração do efluente, e a diminuição da solubilidade do oxigênio no efluente quente.

Tabela 8 – Consumo de Polímero Orgânico e Oxigênio

Parâmetros	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3
Polímero para remoção de cor	-	133	389
Oxigênio (mg/l)	405	412	474

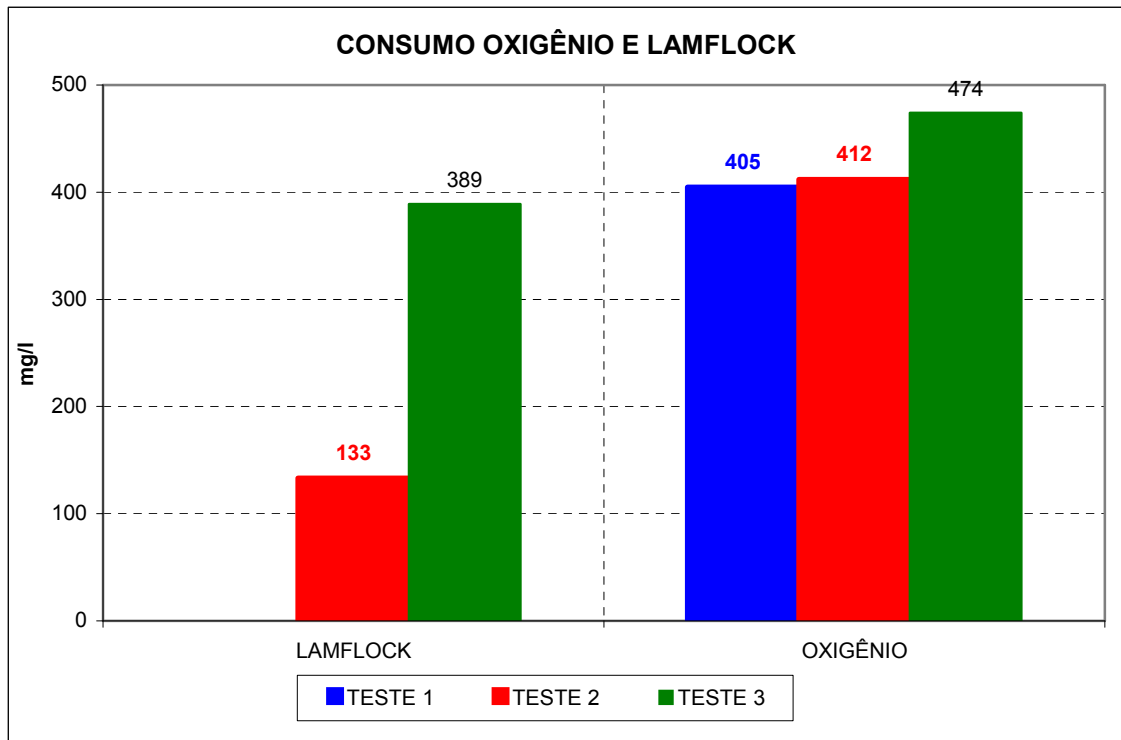


Figura 34 – Consumo de Oxigênio e Polímero Orgânico na fase experimental em Planta

4.2.3. Avaliação do SST e SSV do Lodo Biológico

O aumento da temperatura também reduziu o SST e SSV, tabela 9 e figura 35, demonstrando a inibição da atividade biológica, diminuindo a massa de lodo.

Morgan-Sagastune & Allen (2002), assim como Vollesten et al (1999) demonstraram em seus estudos o impacto da temperatura sobre a geração de biomassa (SST e SSV).

Como resultado final à biomassa do efluente reduzirá até atingir níveis que entrem em equilíbrio com a nova característica do meio, caso as condições não se tornarem tão agressivas que levem a uma total ruptura do ciclo de depuração biológica, inibindo integralmente esse processo. Tal fato não ocorreu no presente estudo, mesmo assim, a elevação da temperatura prejudicou o desempenho desses parâmetros na ETE, não sendo, portanto a condição ideal para a operação.

Conforme tabela 9 o SST aumentou no teste 2 e o IVL também, a princípio o que demonstra ser uma incoerência, é na realidade devido à própria natureza química do polieletrólito orgânico para remoção de cor, que apresenta como característica a formação de flocos mais leves, por isso, para facilitar na decantação sempre se adiciona um polímero de alto peso molecular, sem a adição desse segundo polímero, em estações com baixo tempo de residência no decantador secundário poderá ocorrer arraste de flocos.

Tabela 9 – Resultados do lodo do reator biológico

Parâmetros	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3
SST (mg/l)	4.548	6.617	3.974
SSV (mg/l)	2.835	4.916	2.614
SSed (ml/l)	410	650	510
IVL	90	98	128
SSV/SST (%)	62,3	74,3	65,8

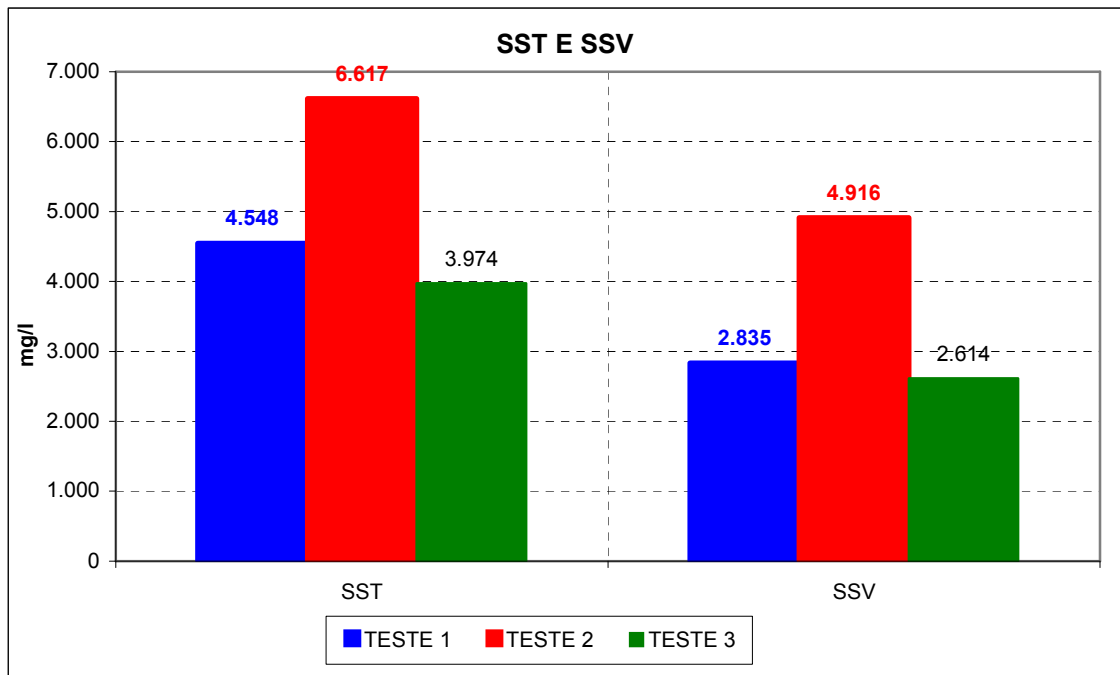


Figura 35 – Redução de SST e SSV na fase experimental em planta

5 – CONCLUSÕES

- A remoção da cor do efluente mostrou ser fortemente dependente do pH do efluente, quanto maior o pH, menor o rendimento do polímero para remoção de cor e maior a dosagem do mesmo. No teste com efluente bruto na dosagem de 700 mg/L o desempenho do polímero orgânico foi superior a todos os coagulantes inorgânicos, 52,0% em relação ao SAB, 21,1% em relação ao FeCl₃ e 23,3 % em relação ao PAC.
- O polímero para remoção de cor não somente removeu a cor do efluente têxtil como também apresentou um impacto benéfico sobre a turbidez, DQO e DBO, servindo como um polimento final, aumentando a eficiência da ETE de forma geral.
- A eficiência de remoção de cor do tratamento sem o polímero orgânico foi de 82,5% com o lançamento de efluente com uma cor de 323 UPtCo, com o uso do polímero a eficiência foi de 94,6% e a cor do efluente de 107 UPtCo. No caso da DBO a emissão sem o polímero era de 22,7 mg/L sendo reduzida para 13,2 mg/L com a utilização do polímero, bem como, a DQO que sem o polímero era de 136 mg/L e com o polímero foi reduzida para 82 mg/L.
- O polímero orgânico foi mais eficiente que os coagulantes inorgânicos, removendo a cor do efluente a um nível 50% maior que os coagulantes inorgânicos, consumindo uma dosagem 67% inferior da dosagem dos coagulantes inorgânicos, o que significa uma maior remoção de cor com uma menor geração de lodo, sendo este fato de grande importância na deposição dos resíduos sólidos gerados pela ETE.

- Quando a temperatura esteve acima de 40°C, todos os parâmetros apresentaram um rendimento muito inferior aos do efluente resfriado, com uma menor eficiência de remoção de Cor, DQO, DBO, turbidez, pH e menor formação de biomassa no reator biológico (SST e SSV), conseqüentemente obteve-se um maior consumo de oxigênio e polímero para remoção de cor, indicando que a melhor faixa para nosso estudo foi entre 30° - 36° C.
- O impacto sobre o SST/SSV com a adição do polímero para remoção de cor foi um aumento de 20% na biomassa e aumento de 10% no IVL, o consumo de oxigênio permaneceu praticamente inalterado (1% de aumento). A divergência entre o aumento da biomassa e aumento do IVL é devido ao fato de que o polieletrólito orgânico para remoção de cor forma flocos leves, por isso, obteve-se após a adição do polímero orgânico um valor maior do SST, também por isso sempre se adicionava um polímero de alto peso molecular, para acelerar a decantação do lodo formado. O valor do IVL no teste 1 foi de 90, no teste de 100, o que não prejudicou a sedimentação do lodo no decantador.

6- SUGESTÕES

- Apesar de existirem várias marcas comerciais, a base química desse produto é uma diciano diamida aromática de conhecida natureza tóxica, sendo estes produtos utilizados na maioria das indústrias têxteis do Vale do Itajaí, Jaraguá do Sul, Brusque e Joinville. Entretanto, não existe nenhum estudo sobre a toxicidade desse produto quando utilizado com efluentes têxteis.
- Também não existem estudos sobre o mecanismo de ação do produto sobre os grupos cromóforos, responsáveis pela coloração dos corantes e pigmentos presentes nos efluentes.
- Em relação ao processo verificou-se uma dificuldade para remoção de N (amoniaco) e N (total), indicando a necessidade de um sistema para o aperfeiçoamento na remoção desse elemento.
- Portanto, seria recomendável a realização de estudos sobre os itens mencionados, garantindo-se desta forma se a utilização desse produto é segura e confiável para uma aplicação nos efluentes têxteis lançados no meio ambiente.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil – 2002.

ALATON, I. A; BALCIOGLU, I. A; BAHNEMANN, D. W. (2002). **Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes.** Water Research, vol. 36, 1143-1154.

ALÉMS, S. P. (1983). **Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados: determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominante domésticos.** Revista DAE, 132, março.

ALVES, K. C. G. (2000). **Tratamento de Efluentes Têxteis Usando Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio com Pré ou Pós-Ozonização.** Dissertação apresentada à UFSC para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Março.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U. A. (1975). **Tópicos de Microbiologia Industrial.** 3ª edição. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo. Vol. 2: 231.

ARAÚJO, M. & CASTRO, E. M. M. (1987). **Manual de Engenharia Têxtil, Vol. II –** Fundação Colouste Gulbenkian, Lisboa.

BALAN, DORALICE S. L. (2001). **A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente, Tecnologia Limpa e Controle Ambiental.** Faculdade de Tecnologia de Americana. Revista Química Têxtil, Março.

- BERGNA, G.; BIANCHI, R.; MALPEI, F. (1999). **GAC Adsorption of Ozonated Secondary Textile Effluents for Industrial Water Reuse**. Water Science and Technology. Vol. 40, nº 4-5: 435-422.
- BISHOP, P. L. (1996). **The Biodegradation of Textile Dyes Using Biofilm Treatment Systems**. Biodegradación de Compuestos Orgánicos Industriales, México, vol 1, p 1-10.
- BITTENCOURT, E. (1992). **Estrutura e Mecanismo de Ação de Produtos Químicos Utilizados no Processamento Têxtil**. Proen – Projetos e Produtos de Engenharia Ltda. – Blumenau, SC. Vol. 2.
- BRAILE, P. M. (1979). **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo: CETESB.
- BRANDÃO, H. L. (1998). **Simulação numérica da biodegradação de efluentes líquidos multicomponentes em rios**. Dissertação apresentada à UFSC para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Março.
- BRANCO, S. M. (1978). **Hidrobiologia aplicada a Engenharia Sanitária**. 2ª edição. São Paulo. CETESB.
- BROWN, M. A.; DEVITO, S. C. (1993). **Critical Review**. Environmental Science & Technology, vol. 23:249.
- BUCKEY, C. A. (1992). **Membrane Technology for the Treatment of Dye house Effluents**. Water Science Technology. Vol. 25, nº 10: 203.
- CARLIELL, C. M.; BARCLAY, S. J.; NAIDOO, N.; BUCKLEY, C. A.; MULHOLLAND, D. A.; SENIOR, E. (1994). **Anaerobic decolorisation of reactive dyes in conventional sewage treatment process**. Water S.A. vol. 20, nº 4: 341-344.

- CARLIELL, C. M.; BARCLAY, S. J.; NAIDOO, N.; BUCKLEY, C. A.; MULHOLLAND, D. A.; SENIOR, E. (1995). **Microbial decolorisation of reactive azo dye under anaerobic conditions**. Water S.A. vol. 21 n° 1: 61-69.
- CHANG, CHENG-NAN; YU, RUEY-FANG; CHAO, A. C.; TOJO, S. (1994). **On-Line Monitoring and Control of Textile Wastewater Color Removal Process**. Water Science and Technology. Vol. 30, n° 3: 265-274.
- COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1988). **Manual Técnico da Microbiologia para Sistemas de Lodos Ativados Operados com Esgotos Domésticos**. São Paulo: CETESB.
- CUNHA, A. Q. (2001). **Estudo da fotocatalise como alternativa para o tratamento de efluente têxtil**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- DAVIS, R. J.; GAINER, J. L.; O'NEAL, G.; WU, I-WEN. (1994). **Photocatalytic Decolorization of Waste Water Dyes**. Water Environmental Research. Vol. 66, n° 1: 50-53.
- DURÁN N.; MORAIS, S. G.; FREIRE, R. S. (2000). **Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonization processes**. Chemosphere. Vol. 40: 369-373.
- DURÁN N.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; PELEGRINI, R.; FREIRE, M.; REYES, J.; MANSILLA, H. (1998). **Evaluation of ZnO, TiO₂ and supported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile Mill effluents**. Chemosphere. Vol. 36: 2119-2133.
- EPA – Environmental Protection Agency (1978). **Textile Processing**. EPA-625/778-002, Washington.

- FENG, J.; HU, X.; YUE, P. L.; ZHU, H. Y.; LU, G. Q. (2003). **Discoloration and mineralization of Reactive Red HE-3B by heterogeneous photo-Fenton reaction.** Water Research, vol. 37, 3376-3784.
- FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina – 1998
- FREITAS, F.; PIRES, T.; BARQUEIRO, R.; ALMEIDA, J. S.; REIS, M. A. (2001). **Carbon, Nitrogen and Phosphorus Removal Using a SBR Operated with high Frequency Oxygen Oscillations.** Universidade Nova de Lisboa.
- FRUTUOSO, A. M. A.; VASCONCELOS, J. D.; COSTA ESCALEIRA, R. P. (1996). **Processos de Tratamento de Águas Residuais.** Engenharia do Ambiente: Escola Superior de Biotecnologia – Universidade Católica Portuguesa.
- GALINDO C.; JACQUES, P.; KALT, A (2001). **Photooxidation of the phenylazonaphthol A020 on TiO₂: kinetic and mechanistic investigations.** Chemosphere. Vol. 45.
- GALINDO C.; JACQUES, P.; KALT, A (2001). **Photochemical and photocatalytic degradation of an indigoid dye: a case study of acid blue 74 (AB74).** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. Vol. 141: 47-56.
- GUARATINI, C. C. I. & ZANONI, M. V. B. (2000). **Textile deys.** Química Nova, 23(1): 71-78.
- HARMER, C.; BISHOP, P. (1992). **Transformation of azo dye AO-7 by wastewater biofilms.** Water Science and Technology. Vol. 26, nº 3-4: 627-636.
- HASSAMER, M. E. N. (2000). **Tratamento de Efluente Têxtil – Processo Físico-Químico com Ozônio e Flocculação em Meio Granular.** Dissertação apresentada à UFSC para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Março. Florianópolis, SC.

- HAWKES, D. L. (1980). **Factors affecting net energy production from mesophilic anaerobic digestion, in: International Symposium on Anaerobic Digestion.** University College Proceeding London. Applied Science: 131-150.
- HAWKES, D. L. (1963). **The Ecology of Wastewater Treatment.** Hungary. Pergamom Press Ltda.: 203
- HEINITZ, C. (1991). **Treatment of Wastewater from textile Dyeing Industry.** WLB Wasser, Luft Boden. Vol. 36, nº 6: 30.
- HERMANN, J. M.; VAUTIER, M.; GUILLARD C. (2001). **Photocatalytic degradation of dyes in water: case study of indigo and of indigo carmine.** Journal of Catalysis. Vol. 201: 46-59.
- HERMANN, J. M.; PUCHAT, P.; GUILLARD C. (1993). **Heterogeneous photocatalysis: an emerging technology for water treatment.** Catalysis Today. Vol. 17: 7-20.
- JAAKKOLA, J. J. K.; TUOMAALA, P.; SEPPANEN, O. (1994). **Textile Wall Materials and Sick Building Syndrome.** Archives of Environmental Health, 49: 175-181.
- JACQUES, A. C. (1984). **OP-01 Operação, Controle e Problemas Operacionais em Estações Biológicas.** São Paulo: NEOTEX.
- JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. (1995). **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3ª edição. Rio de Janeiro. ABES.
- KAKABADSE, G. (1979). **Chemistry of Effluent Treatment.** Department of Chemistry, University of Manchester Institute of Science and Technology, Manchester, UK.
- KARCHER, S.; KORNMULLER, A.; JEKEL, M. (1999). **Removal of Reactive Dyes by Sorption/Complexation with Curcubituril.** Water Science and Technology. Vol. 40, nº 4-5: 425-433.

- KIMURA, I. Y. (1998). **Adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana.** UFSC.
- KIRBY, N.; MC MULLAN, G.; MARCHANT, R. (1995). **Descolorisation of an artificial textile effluent by *Phanerochaete chrysosporium*.** *Biotechnology Letters* 17: 761-764.
- KOUBA, J. F.; PING, Z. (1994). **Color Removal for Textiles dyeing Wastewater.** *Fluid/Particle Separation Journal*. Vol. 7, nº 3: 87-90.
- LEE, B.; LIAW, W.; LOU, J. (1999). **Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension.** *Environmental Engineer Science*. Vol. 16, nº 3: 165-175.
- LEHNINGER, A. L. (1987). **Bioquímica.** 2ª edição. São Paulo. Editora Edgar Blücher. Vol. 2: 262.
- LEPISTO, R.; RINTALA, J. (1999). **Extreme Thermophilic (70°C), VFA-FED UASB Reactor: Performance, Temperatura Response, Load Potential and Comparison with 35 and 55°C UASB Reactors.** *Water Research*, vol. 33, nº 14, pp. 3162-3170.
- LIN, S. H.; CHEN, M. L. (1997). **Treatment of Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse.** *Water Research*. Vol. 31, 4: 868-876.
- LIN, S.H. AND LIN, C. M. (1993). **Treatment of textile waste effluents by ozonization and chemical coagulation.** *Water Research*. Vol. 27, 1743-1748.
- LIN, S. H.; PENG, C. F. (1996). **Continuous Treatment of Textile Wastewater by Combined Coagulation, Electrochemical oxidation and Activated Sludge.** *Water Research*. Vol. 30, 3: 587-592.
- LOPEZ, R.; GUITARRA, A. (2000). **Descoloração de águas residuais da indústria têxtil.** *Química Têxtil*, edição 59: 66-69.

- LOPEZ, A.; RICCO, G.; CIANNARELLA, R.; ROZZI, A.; Di PINTO, A. C.; PASSINO, R. (1999). **Textile wastewater reuse: ozonization of membrane concentrated secondary effluent**. Water Science & Technology. Vol. 40, nº 4-5: 99-105.
- LORA, ELECTO E. S. (2000). **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2ª edição. Brasília. ANEEL.
- MARTINS, G. B. (1997). **Práticas Limpas Aplicadas as Indústrias Têxteis de Santa Catarina**. Dissertação apresentada à UFSC para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.
- MATSUMOTO, M. R.; JENSEN, J. N.; REED, B. E.; LIN, W. (1996) **Physicochemical Processes**. Water Environmental Research. Vol. 68, nº 4: 431-444.
- MELO FILHO, L.C. (1997). **Efeito da Pré-ozonização na Geração de lodo em Processos de Coagulação-Floculação no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Dissertação apresentada à UFSC para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Julho, Florianópolis, SC.
- METCALF & EDDY, Inc. (1985). **Ingenieria Sanitaria**, 2ª edição. Editora Labor S. A. Barcelona, Espanha.
- MEYER, U. (1981). **Aerobic Bacterial Degradation of Azo Dyes**. FEMS Symp. Vol. 12: 387-399.
- MEYER, V.; CARLSSON, F. H. H.; OELLERMANN, R. A. (1992). **Descolorization of textile effluent using a low cost natural adsorbent material**. Water Science and Technology. Vol. 26, nº 5-6: 1205-1211.
- MORAIS, L. C., FREITAS, O.M., GONÇALVES, E.P., VASCONCELOS, L.T. and

- GONZÁLEZ BEÇA, C.G. (1999). **Reactive dyes removal from wastewater by adsorption on eucalyptus bark: variables that define the process.** Water Research, v. 33, nº 4, p. 979-988.
- MORGAN-SAGASTUME, F.; ALLEN, D. G. (2003). **Effects of temperature transient conditions on aerobic biological treatment of wastewater.** Water Research, vol. 37, pp. 3590-3601.
- NIGAN, P.; MARCHANT, R. (1995). **Selection of Substratum for composing Biofilm System of a Textile-Effluent Decolorizing Bacteria.** Biotechnology Letters. Vol. 17, nº 9: 993-996.
- NIGAN, P.; MARCHANT, R.; MULLAN, G. MC; BANAT, I. M. (1995). **Decolorisation of Effluent from the Textile Industry by a microbial consortium.** Biotechnology Letters. Vol. 18, nº 1: 117-120.
- NUNES, J. A. (1996) **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 2ª edição revista e complementada. Editora J. Andrade.
- ONG, S. K.; DEGRAEVE, G. M.; SILVA-WILKSON, R. A.; MCCABES, J. W. AND SMITH, W. L. (1996). **Toxicity and bioconcentration potential of adsorbable organic halides from bleached laundering in municipal wastewater.** Environmental Toxicology Chemic. Vol. 15, nº 2: 138-143.
- PAK, D.; CHANG, W. (2001). **Remoção de Cor e Sólidos Suspensos com uma Nova Tecnologia de Coagulação.** Instituto Coréia de Ciência & Tecnologia.
- PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T. (2003). **The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review.** Dyes and Pigments, vol. 58, pp. 179-196.

- PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. (1998). **Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis**. IPT – São Paulo. Revista Química Têxtil. Setembro 1998.
- PERES, C. S.; CASTELLAN, A; GREGLIER, S.; TERRONES, M. G. H.; MACHADO, A. E. H.; RUGGIERO, R.; VILARINHO, A L. (1998). **Photochemical bleaching of chemical pulps catalyzed by titanium dioxide**. Journal of Photochemistry A: Chemistry. Vol. 115: 73-80.
- POULIOS, I.; TSACHPINIS, I. (1999). **Photodegradation of the textile dye reactive black 5 in the presence of semiconducting oxides**. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Vol. 74: 349-357.
- POULIOS, I.; AETOPOULOU, I. (1999). **Photocatalytic degradation of the textile dye reactive orange 16 in the presence of TiO₂ suspensions**. Environmental Technology. Vol. 20: 479-487.
- RAIS. (1991). **Acervo Bibliotecário**. Federação das Indústrias de Santa Catarina / FIESC. Florianópolis.
- REIFE, A. (1990). **Waste Treatment of Soluble Acid, Direct, and a Reactive Dyes using a Sodium Hydrosulfite Reduction Pretreatment followed by Carbon Adsorption**. Am. Assoc. Textile. Chem. Color. Vol. 201.
- REED, B. E.; MATSUMOTO, M. R.; JENSEN, J. N.; VIADERO, R.; LIN, W. (1998). **Physicochemical processes**. Water Environmental Research. Vol. 70, nº 4: 449-465.
- ROBINSON, T.; MC MULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. (2001). **Remediation of dyes intextile efluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative**. Bioresource Technology, vol. 77, pp. 247-255.

- SALES, R. (1999). **Cinética de Degradação de Efluente Têxtil por Biofilme em Leito Trifásico Aeróbio**. Dissertação de Mestrado. UFSC
- SANIN, L. B. B. (1996). **Tecnologia e Meio Ambiente**. Associação Brasileira de Químicos Coloristas Têxteis. Vol. 4: 13-14.
- SANIN, L. B. B. (1997). **A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente**. Associação Brasileira de Químicos Coloristas Têxteis. Vol. 3: 13-34.
- SANTOS, MARIA A. dos (1998). **Remoção de Cor de Efluentes Têxteis através de um Processo Biológico**. Dissertação de Mestrado. UFSC.
- SAPARI, N. (1996). **Treatment and reuse of textile wastewater by overland flow**. Desalination, 106 (1-3): 179-182.
- SAUER, T. (2002). **Degradação Fotocatalítica de Corante e Efluente Têxtil**. Dissertação Mestrado. UFSC.
- SAUER, T.; CESCONE TO, G. N.; JOSÉ J.; MOREIRA. R. F. P. M. (2002). **Kinetics of photocatalytic of reactive dyes in a TiO₂ slurry reactor**. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.
- SCHRANK, S. G. (2000). **Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria têxtil**. Dissertação Mestrado. UFSC.
- SILVA, S. A. (1979). **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. CETESB. ABES. Editoria Rio de Janeiro. Vol. 1: 140.
- SINTEX – Sindicato da Indústrias de Fiação e Tecelagem – 2002
- SOARES, J. L. (1998). **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. Dissertação de Mestrado. UFSC

- SWISHER, R. D. (1987). **Surfactant Biodegradation**. Vol. 18, 2ª edição, 1085, Editora Marcel Dekker, New York.
- TANAKA, K.; PADERMPOLE, K.; HISANAGA, T. (2000). **Photocatalytic degradation of commercial azo dyes**. Water Research. Vol. 34, nº 1: 237-333.
- TANG, W. Z.; AN H. (1995). **UV/TiO₂ Photocatalytic oxidation of commercial dyes in aqueous solutions**. Chemosphere. Vol. 31, nº 9: 4157-4170.
- TANG, W. Z.; ZHANG A.; QUINTANA, M. O; TORRES, D. F. (1997). Environmental Technology. Vol. 8: 1.
- TROTMAN, E. R. (1984). **Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibers**. 6ª edição, 587. Editora Charles Griffin & Company Ltda., England.
- TUNAY, O. (1990). **Pretreatment of Textile Processing Wastewaters**. Water Science and Technology. Vol. 22, nº 17.
- VAZOLLER, R. F. (1989). **Microbiologia de Lodos Ativados**. São Paulo: CETESB.
- VOLLERTSEN, J.; ALMEIDA, M. C.; HVITEVED-JACOBSEN, T. (1999). **Effects of Temperature and Dissolved Oxygen on Hydrolysis of Sewer Solids**. Water Research, vol. 33, nº 14, 3119-3126.
- WHITE MARTINS (1996). **Tratamento de Efluentes Líquidos com Oxigênio Puro – Sistema Efluox**. Material White Martins. Novembro.
- WHITE MARTINS (1996). **Tratamento de Efluentes Líquidos com Oxigênio Puro – Sistema ISO**. Material White Martins. Novembro.
- WHITE MARTINS (1996). **Tratamento de Efluentes Líquidos com Oxigênio Puro – Sistema Mixflow**. Material White Martins. Novembro.

- WOLF, W. BRUIJIN, J. H. M.; SELNEN, W. HERMENS, J. L. M. (1992). **Influence of Biotransformation on between Bioconcentration Factors and octanol-Water partition Coefficients**. Environmental Science and Technology. Vol. 26 (6): 1197-1201.
- WOLFF, D. B. (1997). **Estudo da Tratabilidade de um Efluente Têxtil por Biomassa Fixa Através de um Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio**. Dissertação apresentada à UFSC para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC. Dezembro.
- ZHU C.; WANG, L.; LONG, L.; YANG, X.; ZHENG, S.; CHEN, F.; MAIZHI, F.; ZONG, H. (2000). **Photocatalytic degradation of AZO dyes by supported TiO₂ + UV in aqueous solution**. Chemosphere. Vol. 44: 303-309.
- ZIMMERMANN, T.; KULLA, H. G.; LEISINGER, T. (1982). **Properties of Purified Orange II azoreductase, the enzyme initiating azo dye degradation by Pseudomonas KF46**. Eur. J. Biochem. Vol. 129: 197-203.

APÊNDICE A
TESTE 1 EM PLANTA – EFLUENTE RESFRIADO – SEM POLÍMERO ORGÂNICO

PARAMETROS EFLUENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Cor (entrada)	1.657	1.537	1.464	1.636	1.496	1.717	1.742	2.481	1.856	2.188	2.047
Cor (final)	317	308	309	308	312	307	328	378	329	325	326	325
DQO (entrada)	913	847	839	713	782	796	762	777	976	860	824	782
DQO (saida)	121	128	134	159	139	128	125	144	140	141	138	136
DBO (entrada)	402	405	387	371	269	381	285	413	458	295	296	351
DBO (saida)	22	23	19	18	21	25	23	24	27	23	23	24
pH (entrada)	10,1	10,2	10,8	9,5	9,9	10,0	10,3	9,3	8,8	9,3	9,8	9,0
pH (saida)	7,0	6,8	6,7	7,1	7,5	7,4	7,1	7,0	7,0	7,0	6,8	7,0
Turbidez (entrada)	223	295	300	289	190	179	188	250	178	229	190	225
Turbidez (saida)	31	33	27	27	34	32	32	31	31	30	29	31
Temperatura (entrada)	45,3	47,5	48,0	42,4	45,0	46,2	45,8	44,0	47,0	46,5	46,9	47,0
Temperatura (saida)	30,3	32,9	33,0	29,8	33,0	33,9	32,3	32,7	32,5	33,1	31,9	33,0
Sól. Sed. (entrada)	0,8					0,1					0,1	
Sól. Sed. (saida)	<0,1					<0,1					<0,1	
N (amoniacoal / entrada)	16,98					6,49					6,43	
N (amoniacoal / saida)	2,66					3,97					3,02	
N (total / entrada)	25,93					28,04					38,45	
N (total / saida)	19,04					12,22					30,15	
P (total / entrada)	1,53					1,11					2,60	
P (total / saida)	0,17					0,10					0,14	
LODO BIOLÓGICO												
SST	4.110	4.014	4.353	4.853	4.004	4.875	4.715	4.311	5.662	4.743	4.811	4.108
SSV	2.307	2.381	2.558	2.880	2.542	3.112	2.993	2.816	3.600	2.991	3.209	2.630
SP	400	400	400	420	380	430	390	400	450	420	450	370
IVL	97	100	92	87	95	88	83	93	79	89	94	90
SSV/SSST	56,1	59,3	58,8	59,3	63,5	63,8	63,5	63,5	63,4	63,1	62,5	64
OXIGÊNIO												
OXIGÊNIO	433	474	417	479	289	402	376	468	482	326	321	392

APÊNDICE B
TESTE 2 EM PLANTA - EFLUENTE RESFRIADO – COM POLÍMERO ORGÂNICO

PARAMETROS	EFLUENTE															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cor (entrada)	1.875	1.773	1.646	1.863	1.669	1.977	1.824	2.381	2.088	2.347	2.376	2.228	2.045	1.714	1.999	2.056
Cor (final)	117	108	109	108	112	107	107	107	109	106	105	107	101	93	110	106
DQO (entrada)	933	857	859	813	882	769	726	827	989	900	842	872	895	763	969	969
DQO (saida)	91	98	84	89	67	68	55	64	90	91	98	96	83	74	88	82
DBO (entrada)	422	425	407	391	389	401	405	433	478	405	416	371	372	310	364	377
DBO (saida)	12	13	19	18	11	15	13	12	12	13	13	14	11	9	12	14
pH (entrada)	11,1	11,0	9,9	9,1	9,9	9,3	9,7	9,6	9,5	9,5	9,2	9,8	9,5	9,7	9,7	9,6
pH (saida)	6,8	7,2	6,7	7,0	6,8	6,8	7,0	6,6	7,3	7,1	6,9	7,0	7,1	7,1	7,0	7,0
Turbidez (entrada)	300	264	258	229	287	287	179	288	181	202	319	326	308	235	288	326
Turbidez (saida)	18	10	15	11	12	12	14	15	15	15	16	15	10	9	11	11
Temperatura (entrada)	33,0	45,7	44,5	42,4	45,0	40,2	40,2	40,5	40,0	43,8	42,9	43,9	44,0	45,6	45,9	44,8
Temperatura (saida)	33,9	32,5	31,5	32,6	30,0	28,5	28,1	27,5	26,9	31,4	30,8	32,7	32,3	31,7	32,2	30,6
Sól. Sed. (entrada)	0,1					0,2					0,5					
Sól. Sed. (saida)	<0,1					<0,1					<0,1					
N (amoniaco) / entrada	34,74					24,9					22,76					
N (amoniaco) / saída	10,80					2,31					8,97					
N (total) / entrada	45,61					37,29					44,19					
N (total) / saída	19,55					23,15					16,74					
P (total) / entrada	2,38					0,49					15,58					
P (total) / saída	0,29					0,17					0,37					
LODO BIOLÓGICO																
SST	5.763	6.706	6.741	7.427	8.323	6.964	5.611	7.944	7.462	7.865	6.244	6.593	5.168	5.378	5.512	6.169
SSV	4.582	4.908	4.842	5.594	6.295	4.919	4.102	5.839	5.973	5.156	4.506	4.894	3.569	4.056	4.397	4.529
SP	580	630	600	780	700	680	560	750	780	800	580	650	550	550	550	630
ML	101	94	89	105	84	98	98	94	105	102	93	99	106	102	100	102
SSV/SSST	79,5	73,2	75,3	75,3	75,6	70,6	73,1	73,5	80	75,8	72,2	74,2	69,1	75,4	79,8	73,4
OXIGÊNIO																
LAMFLOCK	149	144	123	122	130	154	159	125	120	122	135	140	126	123	132	127
OXIGÊNIO	332	373	417	480	339	402	577	388	482	426	421	392	413	361	379	435

APÊNDICE C
TESTE 3 EM PLANTA - EFLUENTE SEM RESFRIAMENTO – COM POLÍMERO ORGÂNICO

PARÂMETROS	EFLUENTE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cor (entrada)	2.315	2.360	2.025	1.640	1.980	2.031	2.150	1.875
Cor (final)	579	491	414	329	321	386	495	398
DQO (entrada)	924	829	861	977	949	954	1076	958
DQO (saída)	255	259	209	282	226	288	310	254
DBO (entrada)	310	325	350	300	397	310	357	341
DBO (saída)	60	78	55	41	80	54	63	68
pH (entrada)	9,9	9,6	9,2	9,5	9,5	9,5	9,3	9,0
pH (saída)	7,8	7,8	7,6	7,9	7,6	7,8	7,7	7,8
Turbidez (entrada)	273	384	232	206	396	203	262	250
Turbidez (saída)	51	48	44	40	42	45	49	44
Temperatura (entrada)	41,5	42,9	42,4	41,0	41,5	41,8	42,0	42,6
Sól. Sed. (entrada)	0,5		0,6		0,6		0,1	
Sól. Sed. (saída)	<0,1		<0,1		<0,1		<0,1	
N (amoniacoal / entrada)	52,52		18,22		19,67		30,14	
N (amoniacoal / saída)	38,06		15,88		6,86		10,26	
N (total / entrada)	69,11		37,52		48,99		51,87	
N (total / saída)	48,45		30,27		20,56		23,09	
P (total / entrada)	3,85		2,58		6,68		4,37	
P (total / saída)	0,31		0,41		0,59		0,44	
LODO BIOLÓGICO								
SST	4.084	4.558	4.329	4.565	3.817	3.557	3.452	3.431
SSV	2.780	2.827	2.715	2.790	2.547	2.456	2.381	2.422
SP	500	580	500	690	490	450	430	450
IVL	122	127	116	151	128	127	125	131
SSV/SSST	68,1	62	62,7	61,11	66,7	69	68,9	70,6
OXIGÊNIO								
LAMFLOCK	379	444	429	381	388	358	385	350
OXIGÊNIO	413	42	497	425	518	531	469	498