

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**REUSO DE ÁGUA NO PROCESSO DE TINGIMENTO DA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Rolf Guenter Twardokus

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza
Co-orientadora: Prof^a Dr^a. Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza

Florianópolis SC, Dezembro de 2004.

“Se a própria natureza faz da água um recurso renovável, quando esta é reciclada através de sistemas naturais por diversas vezes, por que o homem, que se beneficia deste recurso, não pode se dedicar ao melhor aproveitamento seja através da economia, limpeza ou do reuso planejado?.”

R. Bernardis

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida.

A minha querida esposa e minha filha pela alegria de tê-las comigo todos os dias.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu eterno amor, pois quem permanece no amor permanece em Deus, e Deus nele.

Ao professor Antônio Augusto Ulson de Souza e a professora Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, pela sua dedicação e orientação deste trabalho.

À empresa Lancaster Beneficiamentos Têxteis Ltda, pelo apoio na realização das análises químicas e físicas, cedendo equipamentos e materiais necessários à realização deste trabalho.

Ao Sr. Walter Luiz Persuhn, a professora Suely e aos companheiros de trabalho pelo apoio na realização deste trabalho.

As companheiras de mestrado Neseli Dolzan, Cátia Rosana Lange e Dinae K. Weiler pelo apoio, dedicação e amizade.

Ao Edevilson, pela paciência e ajuda na elaboração de atividades burocráticas.

Ao Anderson Bachtold e Geovani Zanella pela ajuda e colaboração da execução deste trabalho.

Ao PROJETO AGUATEX/FINEP – Racionalização do uso de água nas indústrias têxteis catarinenses, pelo apoio concedido.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

ÍNDICE

Lista de Tabelas	7
Lista de Figuras	9
Lista de Equações	13
Nomenclatura	14
Resumo	16
Abstract	17
1 - Introdução e Objetivos	18
2 - Revisão Bibliográfica	20
2.1 - Recursos Naturais	20
A Água no Brasil	22
Recursos Hídricos em Santa Catarina	23
A Água na Indústria Têxtil	27
2.2 - Fibras Têxteis	30
Algodão	31
2.3 - Corantes	33
Evolução dos Corantes	33
Mercado de Corantes para Fibras Celulósicas	34
Classificação dos Corantes	34
Interações dos corantes com o Substrato Têxtil	45
2.4 Colorimetria	48
2.5 - Beneficiamento Têxtil	50
Processo de Tingimento	55
Cinética e Termodinâmica no Processo de Tingimento	56
2.6 - Produtos Químicos Auxiliares da Indústria Têxtil	64
2.7 - Caracterização dos Efluentes Têxteis	66
2.8 - Reuso da Água nas Indústrias Têxteis	73

3 -	Material e Métodos	79
3.1 -	Material	79
	Substrato	79
	Corantes	79
	Produtos auxiliares	80
	Equipamentos	80
3.2 -	Metodologia	81
	Preparação dos corantes e produtos auxiliares para o tingimento ..	83
	Preparação dos substratos têxteis para o tingimento	83
	Preparação dos banhos de tingimento	83
	Padronização das amostras utilizadas	84
	Estrutura Química dos Corantes utilizados	85
3.3 -	Plano de Coleta das Amostras	90
	Tingimento e lavação utilizando receita padrão	90
	Esquema do fluxo de reuso das águas de tingimento e coleta das amostras	93
	Esquema do fluxo de reuso dos banhos de tingimento e 1º enxágüe com diluição com Água da E.T.A.	96
4 -	Resultado e Discussões	99
4.1 -	Curva de Calibração dos Corantes utilizados	99
4.2 -	Cor Clara – Bege	101
4.3 -	Cor Média – Laranja	106
4.4 -	Cor Escura – Marinho	113
5 -	Conclusões e Sugestões	125
	Referências Bibliográficas	128
	Apêndice	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Valores do rio Itajaí	23
Tabela 2.2 - Categorias consumidoras de água	25
Tabela 2.3 - Limites de tolerância da água para utilização nos processos têxteis	28
Tabela 2.4 - Consumo de água por setor de atividade	29
Tabela 2.5 - Parâmetros de efluentes por setor da indústria têxtil	29
Tabela 2.6 - Composição química do fio de algodão	31
Tabela 2.7 - Evolução dos corantes sintéticos	33
Tabela 2.8 - Classificação dos corantes por aplicação	36
Tabela 2.9 - Tabela de evolução dos corantes reativos	38
Tabela 2.10 - Produtos químicos auxiliares utilizados em tingimentos	65
Tabela 2.11 - Características dos efluentes dos diversos tipos de fibras e processos têxteis	70
Tabela 2.12 - Resultados dos banhos de tingimento com corantes reativos	74
Tabela 3.1 - Receitas padrões das cores selecionadas	84
Tabela 3.2 - Valores obtidos do corante amarelo intracron 3RL – C.I. 145	86
Tabela 4.1 - Valores de absorbância e concentração da curva de calibração dos corantes utilizados	135
Tabela 4.2 - Análise da água dos descartes e enxágües da cor clara	100
Tabela 4.3 - Análise da água dos descartes e enxágües com 100% de reuso das águas (cor clara)	100
Tabela 4.4 - Valores obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da e.t.a. (cor clara)	101
Tabela 4.5 - Valores obtidos da mistura das águas de 1º enxágüe com água da e.t.a. (cor clara)	101
Tabela 4.6 - Análise da água dos descartes e enxágües da cor média	105
Tabela 4.7 - Análise da água dos descartes e enxágües com 100% de reuso das águas (cor média)	106
Tabela 4.8 - Valores obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da e.t.a. (cor média)	107

Tabela 4.9 - Valores obtidos da mistura das águas de 1º enxágüe com água da e.t.a. (cor média)	107
Tabela 4.10 - Análise da água dos descartes e enxágües da cor escura	112
Tabela 4.11 - Análise da água dos descartes e enxágües com 100% de reuso das águas (cor escura)	112
Tabela 4.12 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da e.t.a. (cor escura)	113
Tabela 4.13 - Dados obtidos da mistura das águas de 1º enxágüe com água da e.t.a. (cor escura)	113
Tabela 4.14 - Análise da água dos descartes e enxágües da cor escura (tingimento duplicata)	117
Tabela 4.15 - Análise da água dos descartes e enxágües com 100% de reuso das águas (cor escura – tingimento duplicata)	118
Tabela 4.16 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da e.t.a. (cor escura – tingimento duplicata)	119
Tabela 4.17 - Dados obtidos da mistura das águas de 1º enxágüe com água da e.t.a. (cor escura – tingimento duplicata)	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Disponibilidade e consumo de água no mundo	21
Figura 2.2 - Apresentação das bacias hidrográficas de santa catarina	24
Figura 2.3 - Vista aérea do rio itajaí-açú cortando a cidade de blumenau	24
Figura 2.4 - Apresentação da bacia hidrográfica do ribeirão da velha	26
Figura 2.5 - Estrutura da cadeia celulósica	30
Figura 2.6 - Maiores produtores de algodão mundial	32
Figura 2.7 - Mercado mundial de fibras	32
Figura 2.8 - Mercado mundial de corantes	34
Figura 2.9 - Processo de tintura do algodão contendo o grupo sulfatoetilsulfona como centro reativo da molécula	37
Figura 2.10 - Mercado mundial dos corantes reativos por tipo de processo	39
Figura 2.11 - Exemplo de corante direto (corante vermelho congo) contendo grupos diazo como grupos cromóforos	40
Figura 2.12 - Estrutura molecular do corante ácido violeta	41
Figura 2.13 - Processo de redução do corante á cuba com ditionito de sódio	42
Figura 2.14 - Reação de corantes contendo grupo tiosulfato com íon sulfeto e subsequente formação dos corantes com pontes de dissulfeto	43
Figura 2.15 - Exemplo de corante solubilizado temporariamente através de reação de hidrólise (v-corante vermelho de lonamina ka)	43
Figura 2.16 - Exemplo de tingimento da lã com o corante pré-metalizado cromo/ corante 1:1 através do grupo amino como ligante e o centro metálico do corante	44
Figura 2.17 - Exemplo de corante branqueador (corante fluorescente 32) contendo o grupo triazina usado no branqueador de algodão, poliamida, lã e papel celulose	45
Figura 2.18 - Interação Iônica entre um corante e a fibra da lã	46
Figura 2.19 - Interação entre o corante sulfonado e a fibra da lã	47
Figura 2.20 - Exemplo da interação covalente entre um corante contendo grupos reativos (triazina) e grupos hidroxila presentes na celulose da fibra de algodão	47

Figura 2.21 - Eixo de cromaticidade e luminosidade das cores	49
Figura 2.22 - Etapas do processo produtivo têxtil	54
Figura 2.23 - A cinética e termodinâmica no processo de tingimento	57
Figura 2.24 - Curva de esgotamento de um tingimento	60
Figura 2.25 - Curva da isoterma de equilíbrio de nernst	62
Figura 2.26 - Curva da isoterma de equilíbrio de langmuir	62
Figura 2.27 - Curva de isoterma de equilíbrio de freundlich	63
Figura 3.1 - Equipamento de laboratório utilizado para o tingimento	80
Figura 3.2 - Material utilizado no laboratório para o processo de tingimento	84
Figura 3.3 - Fórmula estrutural dos corantes utilizados	85
Figura 3.4 - Gráfico de tingimento e lavagem: cor clara – bege	87
Figura 3.5 - Gráfico de tingimento e lavagem: cor média – laranja	88
Figura 3.6 - Gráfico de tingimento e lavagem: cor escura – marinho	89
Figura 3.7 - Fluxograma padrão do tingimento da cor clara – bege	90
Figura 3.8 - Fluxograma padrão do tingimento da cor média – laranja	91
Figura 3.9 - Fluxograma padrão do tingimento da cor escura – marinho	92
Figura 3.10 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: cor clara – bege	93
Figura 3.11 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: cor média – laranja	94
Figura 3.12 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: cor escura – marinho	95
Figura 3.13 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte do tingimento com a água da e.t.a. (cor clara)	96
Figura 3.14 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte da 1º lavagem com água da e.t.a. (cor clara)	96
Figura 3.15 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte do tingimento com água da e.t.a. (cor média)	97
Figura 3.16 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte da 1º lavagem com água da e.t.a. (cor média)	97
Figura 3.17 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte do tingimento com água da e.t.a. (cor escura)	98
Figura 3.18 - Fluxograma do reuso das correntes aquosas: água do banho de descarte da 1º lavagem com água da e.t.a. (cor escura)	98
Figura 4.1 - Curva de calibração do corante amarelo	135
Figura 4.2 - Curva de calibração do corante vermelho	136

Figura 4.3 - Curva de calibração do corante preto	136
Figura 4.4 - Tingimento e lavagem da cor clara	99
Figura 4.5 - Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor clara	102
Figura 4.6 - Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor clara	102
Figura 4.7 - Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor clara	103
Figura 4.8 - Variação da absorvância conforme as descargas dos efluentes no processo tingimento e lavagem da cor clara	103
Figura 4.9 - Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor clara	104
Figura 4.10 - Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor clara	104
Figura 4.11 - Tingimento e lavagem da cor média	105
Figura 4.12 - Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	108
Figura 4.13 - Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	108
Figura 4.14 - Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	109
Figura 4.15 - Variação da absorvância conforme as descargas dos efluentes no processo tingimento e lavagem da cor média	109
Figura 4.16 - Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	110
Figura 4.17 - Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	110
Figura 4.18 - Variação da solidez a lavagem no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor média	111
Figura 4.19 - Tingimento e lavagem da cor escura	111
Figura 4.20 - Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	114

Figura 4.21 - Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	114
Figura 4.22 - Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	115
Figura 4.23 - Variação da absorbância conforme as descargas dos efluentes no processo tingimento e lavagem da cor escura	115
Figura 4.24 - Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	116
Figura 4.25 - Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	116
Figura 4.26 - Variação da solidez a lavagem no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	117
Figura 4.27 - Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	120
Figura 4.28 - Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	120
Figura 4.29 - Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	121
Figura 4.30 - Variação da absorbância conforme as descargas dos efluentes no processo tingimento e lavagem da cor escura	121
Figura 4.31 - Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	122
Figura 4.32 - Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	122
Figura 4.33 - Variação da solidez a lavagem no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da cor escura	123

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 - Equação do sistema colorimétrico cielab	49
Equação 2.2 - Equação do sistema colorimétrico cmc	49
Equação 2.3 - Equação de fick	58
Equação 2.4 - Equação da velocidade de tingimento	59
Equação 2.5 - Equação da velocidade instantânea do tingimento	59

NOMENCLATURA

E.T.E.	-	Estação de tratamento de efluentes.
E.T.A.	-	Estação de tratamento de água.
AMi	-	Amostra de substrato têxtil tingido.
Ei	-	Amostra de banho das correntes efluentes.
R.B.	-	Relação de banho.
DBQ	-	Demanda bioquímica de oxigênio.
DQO	-	Demanda química de oxigênio.
ST	-	Sólidos totais.
MES	-	Material em suspensão.
Cel	-	Celulose.
WO	-	Lã.
S	-	Seda.
CA	-	Acetato.
CT	-	Triacetato.
PA	-	Poliamida.
PES	-	Poliéster.
PAC	-	Acrílico.
PAV	-	Álcool polivinílico.
ΔE	-	Variação de tonalidade.
E0 a E2	-	Efluentes do processo de tingimento e enxágüe da cor clara (padrão).
E3 a E8	-	Efluentes do processo de tingimento e enxágüe da cor média (padrão).
E9 a E16	-	Efluentes do processo de tingimento e enxágüe da cor escura (padrão).
E17 a E19-	-	Efluentes do processo de tingimento da cor clara (reuso).
E20 a E25-	-	Efluentes do processo de tingimento da cor média (reuso).
E26 a E33-	-	Efluentes do processo de tingimento da cor escura (reuso).
AM01	-	Amostra do substrato tingido da cor clara (padrão).
AM02	-	Amostra do substrato tingido da cor média (padrão).
AM03	-	Amostra do substrato tingido da cor escura (padrão).

- AM04 a AM06 - Amostra do substrato tingido da cor clara (reuso).
- AM07 a AM12 - Amostra do substrato tingido da cor média (reuso).
- AM13 a AM20 - Amostra do substrato tingido da cor escura (reuso).
- AM21 a AM23 - Amostra do substrato tingido da cor clara (reuso-diluição da corrente efluente E0).
- AM24 a AM26 - Amostra do substrato tingido da cor clara (reuso-diluição da corrente efluente E1).
- AM27 a AM29 - Amostra do substrato tingido da cor média (reuso-diluição da corrente efluente E3).
- AM30 a AM32 - Amostra do substrato tingido da cor média (reuso-diluição da corrente efluente E4).
- AM33 a AM35 - Amostra do substrato tingido da cor escura (reuso-diluição da corrente efluente E9).
- AM36 a AM38 - Amostra do substrato tingido da cor escura (reuso-diluição da corrente efluente E10).

RESUMO

A escassez dos recursos naturais tem levado a leis ambientais cada vez mais rígidas, e os custos envolvidos com o uso destes recursos vem se tornando mais crescentes no setor industrial, levando as indústrias a buscar alternativas que minimizem estes custos procurando desta forma reduzir os impactos ambientais. As indústrias têxteis apresentam uma elevada relação de volume de água consumido por volume de material têxtil processado, conseqüentemente a geração de efluentes líquidos e a carga poluente são elevadas. Contudo, tem-se buscado alternativas para um menor consumo de água e técnicas de reuso e reciclagem em seus processos de forma a não comprometer a qualidade do produto. O objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade de reuso direto das correntes líquidas de efluentes têxteis, oriundas do processo de tingimento e enxágüe de tecidos com composição de 100% algodão tingidos com corantes reativos, determinando limites de tolerância para aprovação da tonalidade do substrato tinto como variação da tonalidade (ΔE), intensidade da cor e teste de solidez final do substrato têxtil. Foram analisados nos banhos parâmetros de pH, condutividade, absorvância e sólidos totais. Todos os tingimentos e as análises foram feitos em escala laboratorial em uma empresa têxtil de grande porte de Santa Catarina. Foram realizados tingimentos em três padrões de cores diferentes, como cor clara com até 0,5% de corante, cor média com até 1,5 % de corante e cor escura com mais de 1,5% de corante sobre o peso do material têxtil. Alguns limites de tolerâncias para o reuso direto do efluente e algumas alternativas para o reuso indireto destas correntes foram estabelecidos.

ABSTRACT

The scarceness of the natural resources has led to stricter and stricter environmental laws, and the costs implied in the reuse of these resources have become increasing in the industrial sector, bringing these industries to a search of alternatives which minimize these costs, and hence trying to reduce the environmental impacts. The textile industries show a high relation of volume of water consumed per volume of textile material processed. Consequently, the generation of liquid effluents and of polluting load is high. Nevertheless, alternatives for a lower consumption of water and of techniques of reuse and recycling in their processes have been searched in order not to damaged the product quality. The objective of this work is to demonstrate the viability of the direct reuse of the liquid streams of textile effluents resulting from the dyeing and rinsing process of fabrics with a composition of 100% cotton dyed with reactive dye, determining limits of tolerance for the approval of the shade of the dyed substratum as variation of the shade (ΔE), degree of the color and test of final solidity of the textile substratum. Parameters of pH, conductivity, absorbance and total solids were analyzed in the baths. All the dyeing and analyzes were accomplished in laboratorial scale in a large textile company in Santa Catarina. Dyeing has been accomplished in three different patterns of color, such as light color with up to 0,5% of dye, medium color with up to 1,5% of dye, and dark color with more than 1,5% of dye on the weigh of the textile material. Some limits of tolerance for the direct reuse of the effluent and some alternatives for the indirect reuse of these streams have been established.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Com a globalização do mercado muitas empresas procuraram se modernizar objetivando tornarem-se mais competitivas. Com o aumento industrial os recursos naturais apresentam-se mais escassos, levando a leis ambientais mais rígidas, tornando de extrema importância o aspecto ecológico para os países industrializados desenvolvidos e uma necessidade a curto e médio prazo para aqueles que se encontram em vias de desenvolvimento.

Os maiores setores consumidores de água doce disponível são a agricultura e as indústrias, sendo o setor têxtil responsável por quinze por cento da água consumida pelas indústrias.

O complexo industrial têxtil do Estado de Santa Catarina encontra-se concentrado no Vale do Rio Itajaí, basicamente na Bacia do Rio Itajaí-Açú onde se encontram setenta e cinco indústrias, sendo trinta e seis têxteis, o que gera grande preocupação regional em resolver os problemas de poluição ambiental decorrentes desta atividade industrial.

A indústria têxtil apresenta níveis elevados de consumo de água por quilo de malha processada, podendo variar dependendo do tipo de equipamento, processo ou fibra utilizada.

Devido a maior cobrança na utilização racional dos recursos naturais por parte dos órgãos ambientais, as indústrias têxteis tem buscado modernizar seus equipamentos e buscar produtos e processos ecologicamente corretos, visando uma menor utilização desses recursos.

A água na indústria têxtil já está sendo avaliada como um componente a mais nas planilhas de custos das empresas e não somente como um veículo no processo de tingimento de custo irrisório; observa-se que as indústrias vem buscando e investindo cada vez mais em maneiras de se reutilizar os banhos de descarte diretamente ou indiretamente, procurando utilizar o mínimo de tratamento possível, de forma a se viabilizar o reuso sem afetar a qualidade do produto final ou aumentar excessivamente o custo do processo.

No presente trabalho serão investigadas as alternativas de reuso de água no processo de tingimento de fibras de algodão com corantes reativos. O trabalho de pesquisa será direcionado à determinação dos efeitos do reuso de água do processo na qualidade do substrato tingido.

Este trabalho possui como objetivo demonstrar a viabilidade de reuso direto das correntes líquidas de efluentes têxteis, oriundas do processo de tingimento e enxágüe.

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, caracterizou-se os banhos de descarte e os substratos tingidos, sugerindo-se algumas alternativas para sua reutilização.

A presente dissertação é composta de cinco Capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos encontrados na literatura, enfocando os recursos hídricos, a matéria-têxtil, produtos químicos e corantes utilizados, beneficiamento, geração e tratamento de efluentes, recuperação e minimização de efluentes.

Capítulo 3 – Material e Métodos

É apresentado neste capítulo o material e o procedimento experimental utilizados para a elaboração deste trabalho, bem como os métodos utilizados para a determinação de pH, condutividade, sólidos totais, absorbância, análise espectrofotométrica e solidez à lavagem.

Capítulo 4 – Resultados e Discussões

No capítulo quatro são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos neste trabalho, incluindo a caracterização dos efluentes e substratos das cores clara, média e escura.

Capítulo 5 – Conclusões e Sugestões

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recursos Naturais

Com a globalização do mercado, aliada à escassez de alguns recursos naturais como a água, e à crescente exigência por processos ambientalmente corretos torna imprescindível o uso racional destes recursos naturais. As indústrias e o mercado necessitam adaptarem-se cada vez mais rápido às tendências mundiais e as constantes mudanças nos conceitos de gestão, a fim de estarem prontas para as oportunidades que são criadas com a introdução de novas tecnologias, de novas idéias e de novos valores para os produtos.

A água é a substância mais abundante na Terra e o estoque natural de água existente no planeta é da ordem de 1.386 milhões de km³. A água doce corresponde a uma fração mínima do capital hídrico mundial, sendo que cerca de 97,5% da água do mundo corresponde à massa líquida dos oceanos, mares e lagos salgados, sendo, portanto, imprópria para o consumo humano. Apenas 2,5% restantes correspondem às águas doces, desse total 90% estão nos mananciais subterrâneos e apenas 10% estão na superfície. Do total de água disponível para o consumo mundial, cerca de 70% são utilizadas na agricultura. A indústria é responsável por apenas 22%, ficando os restantes 8% para uso doméstico (TOLEDO, 2004).

Segundo SANIN (1997), os maiores setores consumidores de água doce disponível são a agricultura e à indústria, sendo o setor têxtil responsável por 15% da água consumida pelas indústrias.

De acordo com BERNARDIS (2002), estima-se que a demanda mundial por água deva crescer 17% até 2005, levando-se em conta apenas o aumento populacional e a necessidade de incrementar a produção de alimentos em países como o Brasil, onde não faltam rios, mas existem cidades que não dispõem de mananciais capazes de garantir seu abastecimento.

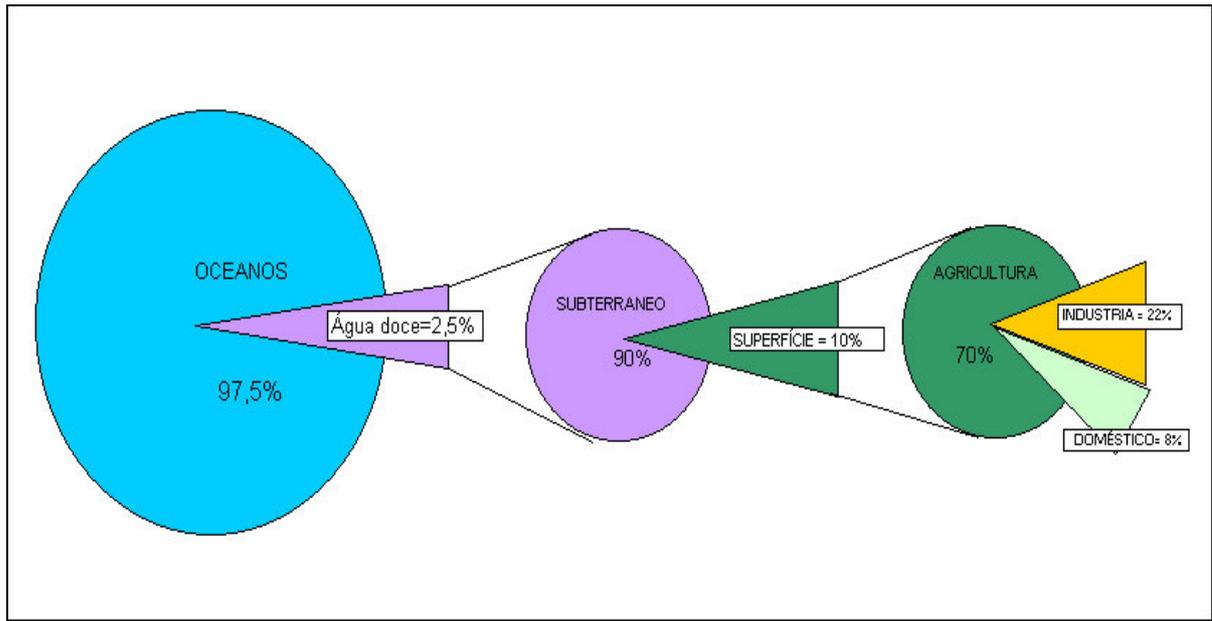


Figura 2.1 - Disponibilidade e Consumo de Água no Mundo.

Fonte: TOLEDO, 2004.

Para TOLEDO (2004), até 2025, as indústrias serão responsáveis por 24% do consumo mundial de água. Em torno de 2 bilhões de toneladas de lixo/dia são atirados em rios, lagos e riachos. As indústrias despejam de 300 a 500 milhões de toneladas de metais pesados e outros dejetos nas águas. Estima-se que em 2025, haverá um aumento de 50% no consumo de água nos países em desenvolvimento e de 18% nos países desenvolvidos.

Mais de 2,2 milhões de pessoas morrem anualmente vítimas de doenças relacionadas à ingestão de água contaminada e da falta de saneamento. Cinquenta por cento da população dos países em desenvolvimento está exposta a fontes de águas impróprias para o consumo humano. Acredita-se que o mundo tenha hoje 12 mil km³ de água poluída. Esse valor é maior do que a quantidade de água existente nas dez bacias hidrográficas do mundo (TOLEDO, 2004).

Através de toda a problemática envolvendo os recursos hídricos, BERNARDIS (2002) ainda faz o seguinte questionamento: “Se a própria natureza faz da água um recurso renovável, quando esta é reciclada através de sistemas naturais por diversas vezes, por que o homem, que se beneficia deste recurso, não pode se dedicar ao seu melhor aproveitamento seja através da economia, limpeza ou do reuso planejado?”.

Segundo SANTOS (2002), a aplicação de mecanismos de gestão que incentivem o uso mais racional da água poderia reverter os problemas dos recursos hídricos, ou seja, incentivar a todos aqueles que usam a água de forma ineficiente a pagar pelo seu uso ou desistir e transferir a água para usos de valor maior, entre eles, inclusive, os usos ambientais.

A Água no Brasil

Setenta por cento dos lençóis de águas do mundo está no Brasil, porém este potencial de recurso hídrico para os rios está ameaçado pela contaminação do solo e a perfuração excessiva dos poços tubulares, pois são abertos anualmente aproximadamente 10.000 poços no território nacional (TOLEDO, 2004).

A ilusão de abundância de água no Brasil esconde a péssima gestão e o problema de distribuição dos recursos hídricos, ressalta BELLO (2000).

Atualmente estão sendo tomadas algumas medidas em nível governamental a respeito dos recursos hídricos e entre elas está a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Para DUTRA e ANTUNES, a promulgação da lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 constitui um marco para o setor de recursos hídricos no Brasil. Além de instituir a Política Nacional dos Recursos Hídricos, foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, a partir de seus fundamentos, diretrizes e instrumentos, a gestão de recursos hídricos vem avançando de forma bastante rápida em todo país. Em 2000, foi publicada a Lei nº 9.084, que criou a Agência Nacional de Água – ANA, entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e, desde então, muito se tem feito em gestão de águas no Brasil.

Segundo GARRIDO (2003), a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos de política para o setor, previsto na legislação federal e nas leis estaduais. Esse instrumento vem juntar-se aos demais com o objetivo de induzir o usuário da água a uma postura de racionalidade quando da tomada de suas decisões de consumo em relação a esse recurso natural.

Recursos Hídricos em Santa Catarina

O Estado possui 22 bacias hídricas apresentadas da Figura 2.2, entre elas destaca-se neste trabalho a bacia do rio Itajaí.

Segundo dados coletados do COMITE DO ITAJAI (2004), a Bacia do rio Itajaí localiza-se na unidade fisiográfica litoral e encostas de Santa Catarina. Possui aproximadamente 15.500 km² (16,15% do território catarinense e 0,6% da área nacional), estando distribuída atualmente em 47 municípios.

Os municípios da Bacia do Itajaí contribuem com 28% do PIB global/SC e também com 1% do PIB brasileiro.

O maior curso d'água da bacia é o rio Itajaí-Açu, suprido por 54 rios e ribeirões. Seus formadores são os rios Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul. Estes rios encontram-se no município de Rio do Sul, onde juntos, passam a se chamar rio Itajaí-Açú.

O rio Itajaí percorre cerca de 200 km desde suas nascentes até a foz no Oceano Atlântico, localizada entre as cidades de Itajaí e Navegantes.

Na Bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açú encontram-se setenta e cinco indústrias, sendo trinta e seis têxteis, o que gera grande preocupação regional em resolver os problemas de poluição ambiental.

Na Tabela 2.1 são apresentados alguns dados do rio Itajaí.

Tabela 2.1 - Dados do rio Itajaí

Parâmetros	Medições
Vazão média	140 m ³ /s
em Blumenau	
Vazão mínima	15 m ³ /s
de estiagem	
Vazão máxima	5.000 m ³ /s
em enchentes	
Largura do rio	50 a 150 m

Fonte: COMITÊ DO ITAJAÍ, 2004.

Na Figura 2.2 é apresentada a localização das bacias hidrográficas em Santa Catarina.

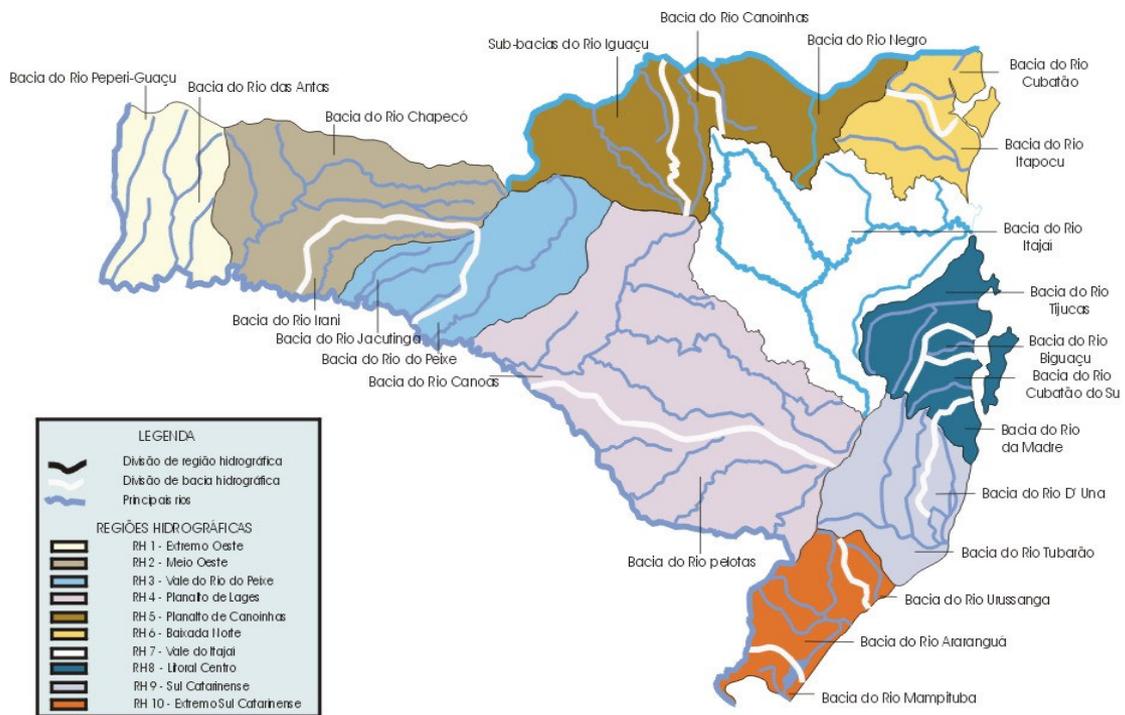


Figura 2.2 - Apresentação das Bacias Hidrográficas de Santa Catarina.

Fonte: COMITÊ DO ITAJAI, 2004.

Na Figura 2.3 observa-se o deslocamento do Rio Itajaí-açu na cidade de Blumenau.



Figura 2.3 - Vista Aérea do rio Itajaí-Açu cortando a cidade de Blumenau.

Fonte: COMITÊ DO ITAJAI, 2004.

Como se pode observar na Tabela 2.2, das categorias consumidoras de água e geradores de efluentes no estado, o consumo de água pelas indústrias é da ordem de 10% do consumo destinado à irrigação.

Tabela 2.2 - Categorias consumidoras de água.

Categorias	Usuários	Consumo anual Estimado (m³)
Abastecimento E esgotamento Sanitário	SAMAES de Blumenau, Gaspar, Brusque e Pomerode	27.969.075
	CASAN em 41 municípios	31.462.287
Geração de Energia Elétrica	Celesc Pequenas Centrais Hidroelétricas	3.122.841.600
Agropecuária	Irrigação (3278 irrigantes, 23978 há de área cultivada)	300.000.000
	Dessedentação de animais e lavação	24.754.956
Indústrias	Indústrias	31.451.000
	Frigoríficos	295.680

Fonte: COMITÊ DO ITAJAÍ, 2004.

A empresa Lancaster, onde foi desenvolvido o presente trabalho, capta a água que consome para seu processo produtivo da sub-bacia do ribeirão da Velha, a qual segundo dados do IPA (2000) apresenta as seguintes características:

Perímetro = 29,30 km

Comprimento = 12,97 km

Área da bacia = 31,05 km²

Atualmente a Lancaster processa em torno de 450 ton/mês de artigos têxteis, em sua maioria composta de artigos 100% algodão, gerando uma necessidade de consumo de água na ordem de 0,0222 m³/s.

Segundo estudo realizado pelo IPA em junho de 2000, o ribeirão da Velha próximo a captação da Lancaster, possuía uma vazão de 0,07095 m³/s. Neste levantamento realizado foi constatado que haverá um decréscimo da vazão específica média da bacia da ordem de 1,5% para o ano de 2020 e de 2,2% para o ano de 2030, tomando como base três componentes principais:

- estudo demográfico da bacia contribuinte;
- estudo de uso e ocupação do solo;
- estudo de escoamentos mínimos.

Estes estudos são correlacionados entre si a fim de estabelecer uma relação do comportamento futuro do regime hídrico do ribeirão para a área de interesse.

Na Figura 2.4 é apresentada a Bacia do ribeirão da Velha e o local de captação de água da empresa Lancaster.

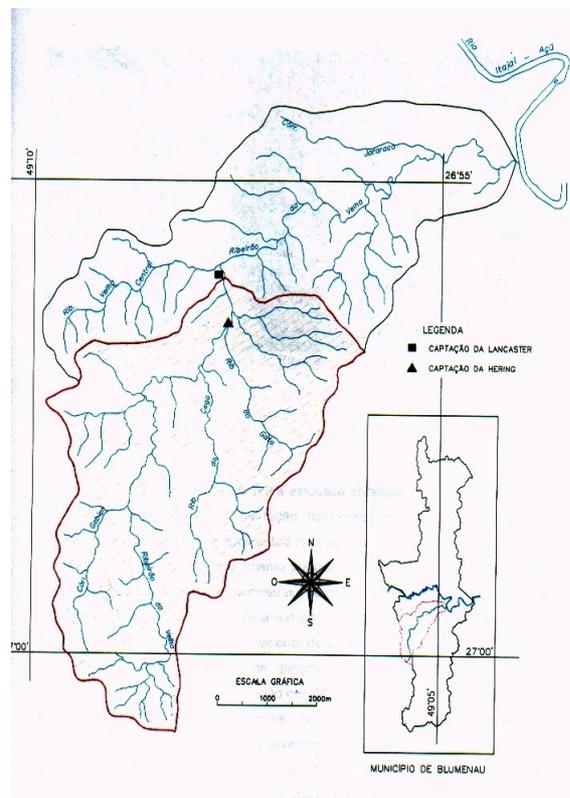


Figura 2.4 - Apresentação da Bacia Hidrográfica do ribeirão da Velha.

Fonte: IPA, 2004.

A água na Indústria Têxtil

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

De acordo com MORAN et al. (1997) e TALARPOSHTI et al. (2001), as indústrias têxteis possuem uma das mais altas cargas poluidoras em seu efluente, devido às variações em seus processos e produtos utilizados torna seus efluentes um composto complexo.

A água é usada na indústria têxtil como meio de transporte para os produtos químicos que entram no processo, bem como para a remoção do excesso daqueles produtos considerados indesejáveis para o substrato têxtil. A maior parte da carga contaminante dos efluentes aquosos contém impurezas inerentes à matéria-prima, tais como os produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem, produtos químicos auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas do acabamento. A quantidade e a qualidade da carga poluidora se encontra intimamente relacionada com as fibras utilizadas para elaborar os tecidos crus.

A racionalização do uso da água na indústria têxtil é possível ser conseguida com a modernização dos equipamentos e incremento tecnológico nos processos e produtos visando uma menor utilização desse recurso natural tão escasso. Para minimizar o consumo de água é necessário o monitoramento dos desperdícios diários no processo produtivo do mesmo modo que se procede com outros insumos como o ar comprimido, energia térmica ou energia elétrica, visando a contenção de despesas na empresa.

Para CORRÊA JR. e FURLAN (2003), o desafio é reduzir o consumo de água sem afetar a otimização do processo, isto é, buscar a redução da captação sem afetar a rentabilidade do negócio. Eles ainda salientam que certamente este tema ganhará destaque crescente, pois, em maior ou menor medida, a escassez de água tende a ser um problema universal em futuro não tão distante.

A utilização da água dentro de uma indústria têxtil, mais especificamente no beneficiamento, ocorre basicamente em todas as etapas, de modo direto nos processos de lavagem, tingimento e amaciamento, e de modo indireto para realizar aquecimento ou resfriamento nos processos do beneficiamento.

A qualidade da água utilizada no processo têxtil possui limites de tolerância e restrições que variam conforme o autor. Para LITTLE (1975) nem todos os processos precisam ter a mesma exigência de qualidade. Na Tabela 2.3 contem os limites de tolerância que definem os padrões de qualidade da água para utilização no processo têxtil.

Tabela 2.3 - Limites de tolerância da água para utilização nos processos têxteis.

Qualidade ou Substância	Tolerância (mg/L)	Qualidade ou Substância	Tolerância (mg/L)
Turbidez	< 5	Sulfato	< 250
Sólidos suspensos	< 5	Sulfito	< 1
Cor	< 5 (unidade PtCo)	Cloreto	< 250
pH	7 – 9	Fosfato	Sem limite
Acidez/alcalinidade	<100 como CaCO ₃	Oxigênio dissolvido	Sem limite
Dureza	< 70 como CaCO ₃	Dióxido de carbono	< 50
Ferro	< 0,3	Nitrito	< 0,5
Manganês	< 0,05	Cloro	< 0,1
Cobre	< 0,01	Amônia	< 0,5
Chumbo e metais Pesados	< 0,01	Óleos, graxas, gorduras, sabões	1
Alumínio	< 0,25	Agentes de clareamento fluorescentes	< 0,2
Sílica	< 10	Sólidos totais	< 500

Fonte: LITTLE, 1975

Segundo HART (1994) em um levantamento realizado em cem empresas, verificou-se uma grande variação no consumo de água em diferentes etapas do processo produtivo têxtil, notadamente entre aquelas que têm água abundante e de baixo custo, e as que pagam preço elevado.

Enquanto uma tinturaria na Alemanha o consumo de água é de 80 L/kg de malha beneficiada, em alguns países na América Latina este consumo chega a 150 L/kg, utilizando o mesmo substrato, no caso 100% algodão e corantes reativos do mesmo fornecedor (HART, 1994). É interessante observar que os equipamentos utilizados são de tecnologia similar e com controladores automáticos. Na avaliação dos dois casos, conclui-se que o consumo de água ocorre principalmente nas fases de preparação e lavação.

Na Tabela 2.4 são apresentados os dados dos consumos por setor de atividade;

Tabela 2.4 - Consumo de água por setor de atividade.

Tingimento de:	Consumo de água L/kg produzido	Intervalo de variação (L/kg)
Fios acrílicos e nylon	130	80-170
Fios acrílicos, nylon e algodão	180	130-350
Malha de algodão	120	80-160
Malha de algodão e poliéster	110	90-170
Tecido plano de algodão	110	85-130
Tecido plano de seda e viscose	100	80-150

Fonte: Hart, 1994.

A relação de banho utilizada nas máquinas para o tingimento, influencia diretamente a quantidade de água gasta. A indústria têxtil de fios tem menor carga orgânica e concentração salina do que o segmento de tecido plano e malha.

Parâmetros importantes no controle da qualidade de efluentes aquosos para alguns setores da indústria têxtil são apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Parâmetros de efluentes por setor da indústria têxtil

Parâmetros do Efluente	Unidades	Setores da Indústria Têxtil				
		Fios acrílicos e nylon	Fios acrílicos, nylon e algodão	Malhas 100% algodão com baixo% sintético	Tecido plano 100% algodão	Tecido plano, seda, viscose e acetato
pH	---	3 - 5	8 - 11	9 - 11	8 - 11	8 - 10
DBO5	mg/l	100 - 200	400 - 600	400 - 600	800 - 1500	100 - 300
DQO	mg/l	500 - 800	800 - 1200	800 - 1200	800 - 1200	300 - 600
Dureza Total	CaCO3	40 - 100	40 - 50	40 - 60	50 - 100	30 - 70
Óleos/graxas	mg/l	15 - 70	20 - 120	20 - 70	10 - 80	40 - 150
Sólidos suspensos	mg/l	40 - 100	100 - 200	200 - 300	200 - 300	100 - 200
Sólidos sedimentáveis	ml/l	1 - 10	1 - 10	0,1 - 5	0,1 - 5	0,1 - 2
Sólidos totais	mg/l	2000 - 3000	2000 - 3000	2500 - 4000	2000 - 3000	3000 - 4500
Cor	mg pt/CO	200 - 300	300 - 400	500 - 700	200 - 400	500 - 7000
Condutividade	u S/cm	1200 - 1600	1500 - 2500	1500 - 3000	1500 - 4000	1500 - 4000

Fonte: Hart, 1994.

A água na indústria têxtil já está sendo avaliada como um componente a mais nas planilhas de custos das empresas e não apenas como um veículo no processo de tingimento de custo irrisório, está se buscando uma maneira de reutilizar os banhos de descarte diretamente ou indiretamente, após o mínimo de tratamento possível, de forma a se viabilizar o reuso sem afetar a qualidade do produto final ou aumentar excessivamente o custo do processo.

2.2 Fibras Têxteis

As fibras têxteis podem ser divididas em dois grandes grupos denominadas fibras naturais e sintéticas.

As fibras naturais vegetais, são fibras essencialmente constituídas de celulose, a qual se encontra sempre na natureza em combinação com outras substâncias, sendo a mais comum à lignina. Contêm, também, impurezas tais como gomas, resinas, gorduras, ceras e pigmentos.

A análise por raios-X mostra que a celulose tem estrutura cristalina, sendo um polisacarídeo de longa cadeia e alto peso molecular. As fibras celulósicas naturais têm regiões amorfas, além de cadeias cristalinas e orientadas paralelamente. As regiões amorfas se caracterizam por não possuírem um ordenamento das moléculas, estando estas portanto de forma aleatória. No tingimento de fibras celulósicas os corantes penetram na fibra pelas regiões amorfas.

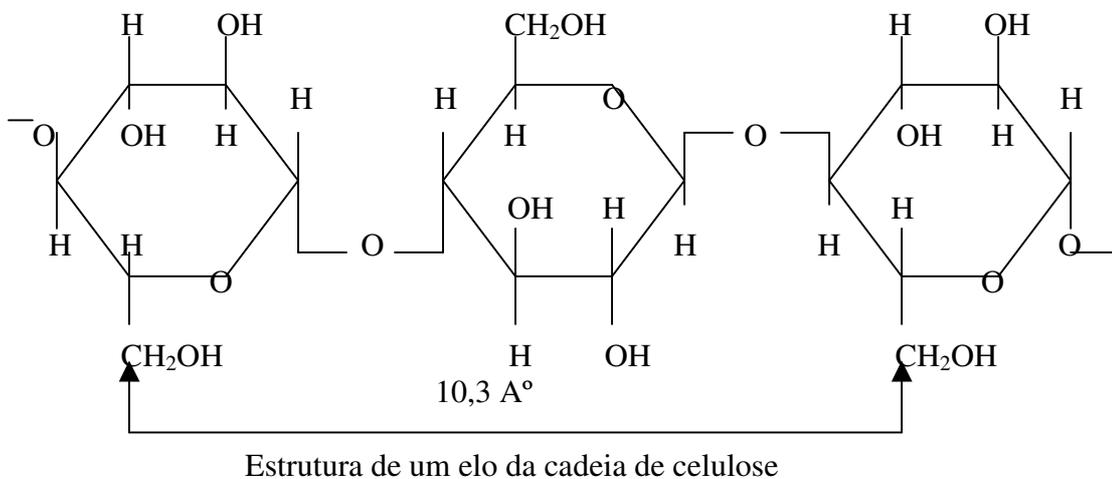


Figura 2.5 - Estrutura da Cadeia Celulósica.

Fonte: SALEM, 2000.

Algodão

A fibra de algodão existe na natureza envolvendo sementes de várias plantas do gênero *Gossypium*.

Entre as propriedades químicas do algodão, pode-se afirmar que os ácidos inorgânicos diluídos a frio não atacam o algodão, porém, se após a impregnação com estes ácidos, secarmos o substrato, este será danificado fortemente. O ácido sulfúrico concentrado e em ação prolongada transforma o algodão em compostos solúveis como a dextrina. O algodão pode ser fervido em soluções alcalinas sem ser prejudicado, sendo, porém, recomendável a eliminação do ar, pois na presença do mesmo pode enfraquecer a fibra pela formação de oxícelulose.

Na Tabela 2.6 é apresentado a composição química do fio de algodão.

Tabela 2.6 - Composição Química do fio de Algodão:

Elemento	Porcentagem (%)
Celulose	80,0 - 85,0
Água	6,0 - 8,0
Compostos minerais	1,0 - 1,8
Compostos nitrogenados	1,0 - 2,8
Ceras	0,5 - 1,0
Material péctico	0,4 - 1,0
Resíduo de cascas	3,0 - 5,0
Parafina	0,2 - 3,0

Fonte: SALEM, 2000.

No mercado mundial o Brasil está entre os menores produtores mundiais com apenas 1,8 milhões de fardos, destacando-se a China com 19,8 milhões de fardos, os Estados Unidos com 13,8 milhões de fardos e a Índia com 13 milhões de fardos/ano, conforme pode observar na Figura 2.6.

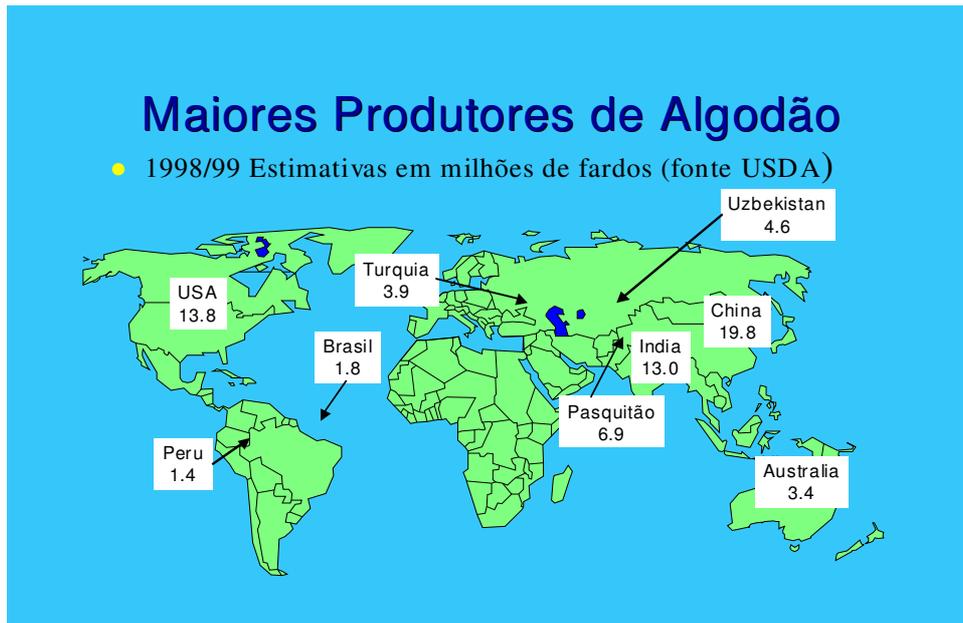


Figura 2.6 - Maiores Produtores de Algodão Mundial.
Fonte: Ciba, 2001.

Na Figura 2.7 é apresentado o mercado de fibras no Mundo, onde se observa que o algodão ainda é a fibra mais comercializada no mundo com uma participação de 40,1% do mercado seguida do poliéster com 34,2 %.

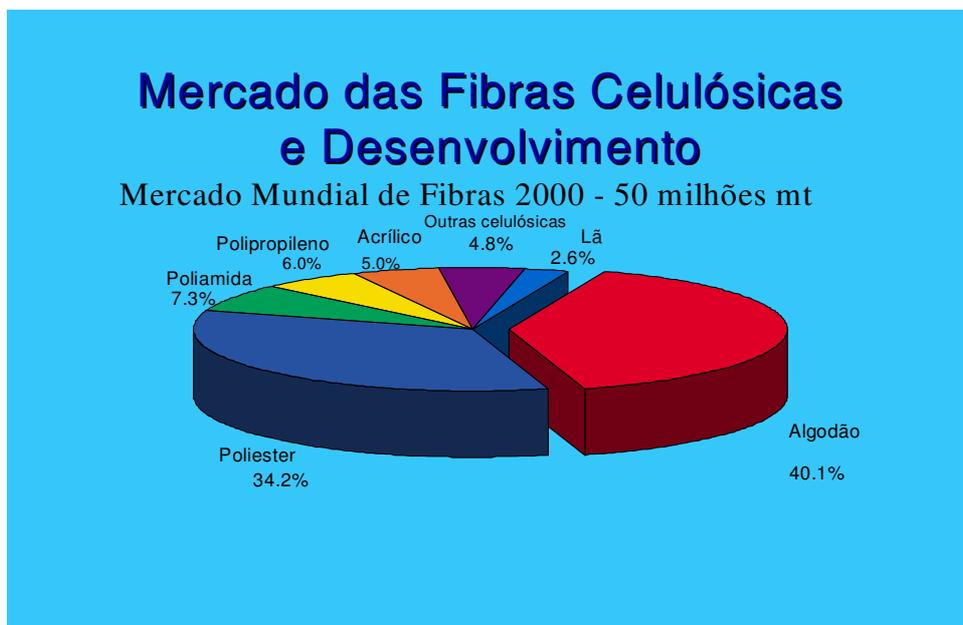


Figura 2.7 - Mercado Mundial de Fibras .
Fonte: Ciba, 2001.

2.3 Corantes

Evolução dos Corantes

Segundo GUARATINI e ZANONI (2000) até a metade do século XIX, todos os corantes eram derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e substâncias extraídas de animais. Mesmo tendo sua origem na Europa desde o século XVI, a indústria de corantes têxteis teve seu primeiro corante sintético descoberto apenas em 1856 na Inglaterra por Perkin. Devido a grande inovação tecnológica tida em torno de 1915, a Alemanha manteve o monopólio sobre a produção de corante sintético até a Segunda Guerra Mundial. Atualmente a indústria de corantes dos Estados Unidos é a maior fonte exportadora destes produtos, colocando no mercado aproximadamente 2.000 tipos diferentes de corantes sintéticos.

A Tabela 2.7 são apresentados as principais descobertas de corantes sintéticos, ocorridas desde a síntese da malveína.

Tabela 2.7 - Evolução dos Corantes Sintéticos.

Ano	Ocorrência
1856	Síntese da malveína (Perkin)
1858	Reação de diazotação (Griess)
1859	Síntese da magenta (Verguin)
1862	Reação de sulfonação (Nicholson)
1873	1º Corante Sulforoso (Croissant e Brentoniere)
1876	Síntese da crisoidina: 1º Corante Azo
1880	1º Corante azóico (Thomas e Robert Holliday)
1884	1º Corante direto: vermelho congo
1894	Síntese do Índigo
1901	1º Corante à Tina
1922	Corantes indigosois (Tina pré-reduzida)
1924	Corantes Dispersos
1935	Corantes de ftalocianina
1956	Corantes reativos: DCT
1960	Corantes catiônicos modificados

Fonte: SALEM, 2000.

Mercado de Corantes para Fibras Celulósicas

Na Figura 2.8 é apresentado o mercado mundial de corantes para fibras celulósicas, onde se destaca o corante reativo com 33% do mercado mundial.



Figura 2.8 - Mercado Mundial de Corantes.

Fonte: Ciba, 2001.

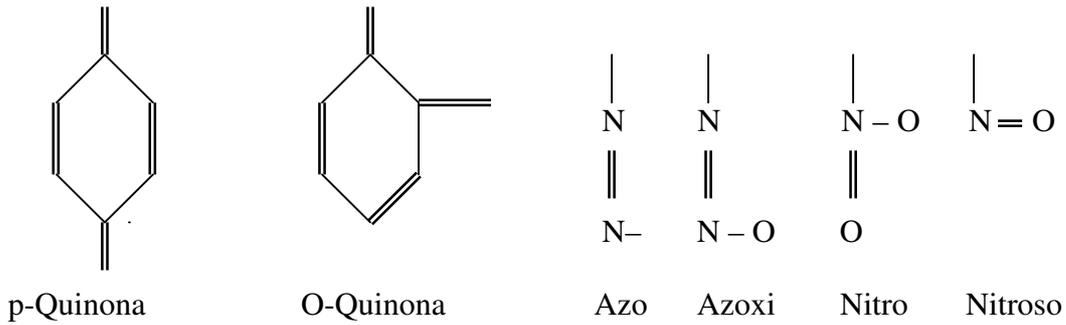
Classificação dos Corantes

Os corantes são classificados por sua estrutura química ou por sua aplicação. Pela estrutura química podem ser classificados como: nitrofenol, nitrosofenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinilsulfônico, pirimidina e triazina, por aplicação ele é classificado de acordo com o tipo de fibra a ser tinta.

Constituição Química dos Corantes

Os principais grupos funcionais dos corantes estão representados a seguir:

a) *Grupos cromóforos responsáveis pela cor:*



b) *Grupos Auxocromos:*

Intensificam as cores

Proporcionam qualidades tintoriais

Amino: $-NH_2$

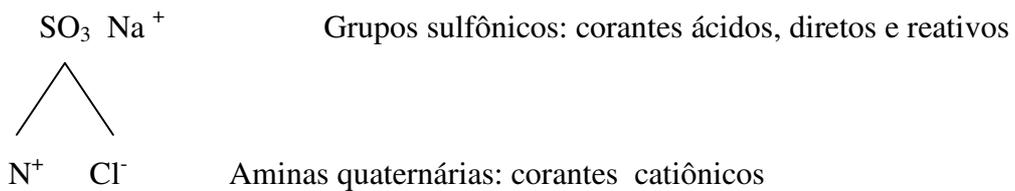
Amino substituídos: $-NHR$ ou $-NR_2$

Carboxílicos: $-COOH$

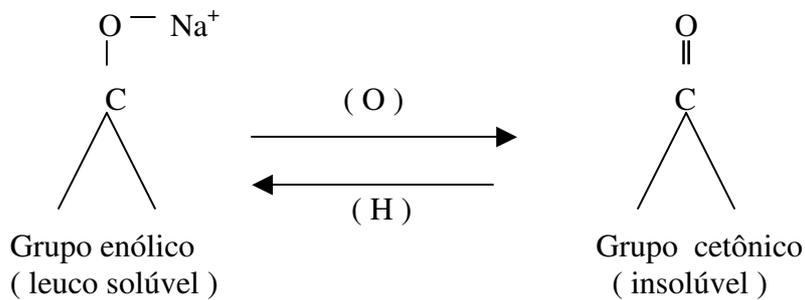
Hidroxílicos: $-OH$

c) *Grupos solubilizantes:*

Proporcionam solubilidade permanente:



Proporcionam solubilidade temporária



Classificação dos Corantes por Aplicação

Os corantes podem ser classificados de acordo com a fibra a que se deseja tingir, sendo apresentada esta classificação na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Classificação dos Corantes por Aplicação.

Corantes / Fibras	Cel	WO	S	CA	CT	PA	PES	PAC
Diretos	X		X					
Reativos	X		X					
Sulfurosos	X							
Azóicos	X							
A Tina	X							
Leuco Ésteres	X							
Catiônicos								X
Ácidos		X	X			X		
Complexos Metálicos		X	X			X		
Cromo		X				X		
Dispersos				X	X		X	

Fonte: SALEM, 2000.

* Cel = Celulose

* WO = Lã

* S = Seda

* CA = Acetato

* CT = Triacetato

* PA = Poliamida

* PES = Poliéster

* PAC = Acrílico

Classificação dos Corantes por Estrutura

Corantes Reativos

São corantes contendo um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupo hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas. Existem numerosos tipos de corantes reativos, porém os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos. Neste tipo de corante, a reação química se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose. Um exemplo é aquele do tingimento usando compostos contendo sulfatoetilsulfona, cuja adição do corante à fibra requer apenas a prévia eliminação do grupo sulfato em meio alcalino gerando o composto vinilsulfona, conforme apresentado na Figura 2.9.

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

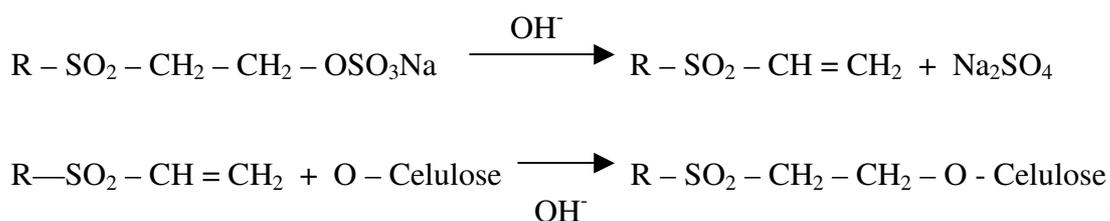


Figura 2.9 - Processo de tintura do algodão contendo o grupo sulfatoetilsulfona como centro reativo da molécula.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

A Evolução dos Corantes Reativos

Segundo SALEM (2000) inicialmente, antes do surgimento dos corantes reativos, as fibras celulósicas eram tingidas seguindo três princípios:

- 1) o corante era adsorvido pela fibra, realizando ligações por pontes de hidrogênio, como por exemplo os corantes diretos;
- 2) Por adsorção com mecanismos semelhantes a dos corantes diretos seguida da insolubilização do corante por oxidação, onde se destaca os corantes à tina e ao enxofre;
- 3) E na construção de corantes insolúveis na fibra, os corantes azóicos.

Os primeiros corantes reativos foram lançados no mercado somente em 1956 pela ICI, sendo estes obtidos a partir do Cloreto Cianúrico. Onde os grupos reativos eram os Dicloro triazina e Monocloro triazina. A partir desta descoberta, ocorreu um grande desenvolvimento científico e tecnológico e foram criados inúmeros grupos químicos reativos que possibilitavam ligações mais ou menos estáveis com a celulose. Com o surgimento dos corantes reativos estabeleceu-se um quarto princípio para o tingimento de fibras celulósicas (SALEM, 2000).

Na Tabela 2.9 é apresentada a evolução dos corantes reativos com seus diversos fabricantes.

TABELA 2.9 - Tabela de Evolução dos Corantes Reativos

Ano	Grupo Reativo	Fabricante	Nome Comercial
1956	Dicloro triazina	ICI	Procion
1957	Monocloro triazina	Ciba	Cibacron E/P
1957	Vinilsulfônico	Hoechst	Remazol
1960	Tricloro pirimidina	Sandoz / Geigy	Drimaren Z/X Cibacron T-E
1961	Dicloro quinoxalina	Bayer	Levafix E
1971/72	Diflúor cloro pirimidina	Sandoz / Bayer	Drimaren R/K Levafix E-A
1978	Monoflúor triazina	CiGy / Bayer	Cibacron F/ Levafix E-N
1980	Heterofuncional: Monoclorotriazina/ Vinilsulfônico	Sumitomo	Sumifix supra
1981	Flúor cloro metil Pirimidina	Bayer	Levafix P-N
anos 90	Heterofuncional: Flúor-triazina / Vinilsulfônico	CiGy	Cibacron C
1997	Heterofuncional	Clariant	Drimaren CL

Fonte: SALEM, 2000.

Mercado Mundial de Corantes Reativos

Como já dito anteriormente, o algodão é a fibra mais comercializada no mundo, com isto, tem-se uma classe de corante vem se destacando, que é a de corantes reativos. Esta classe de corantes tem 33% do mercado mundial de corantes, seguida por 21% dos corantes sulfurosos e 18% dos corantes diretos, conforme demonstra a Figura 2.10.

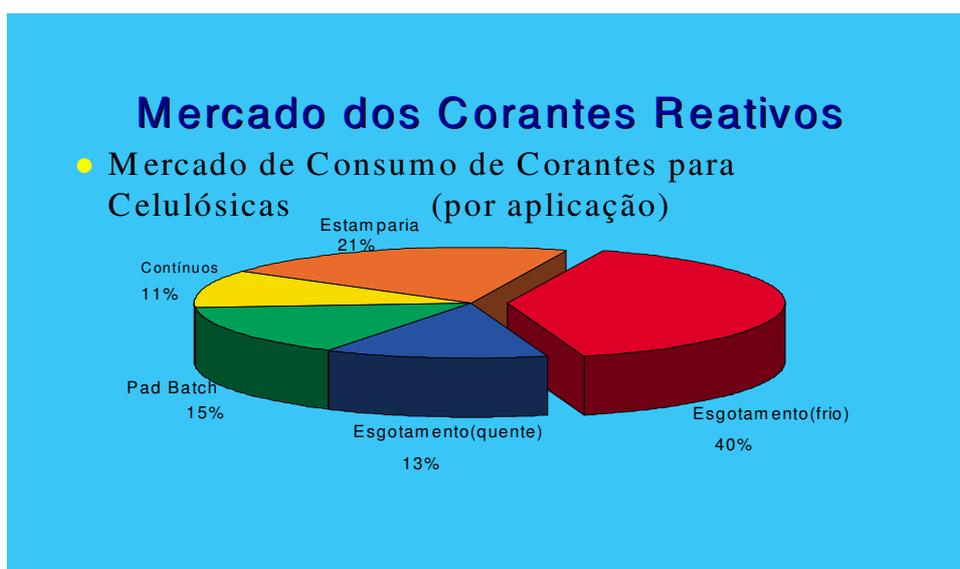


Figura 2.10 - Mercado Mundial dos Corantes Reativos por Tipo de Processo.

Fonte: CIBA, 2001.

Corantes Diretos

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

Na Figura 2.11 é apresentado um exemplo da estrutura de um corante direto, contendo grupos diazo como grupos cromóforos.

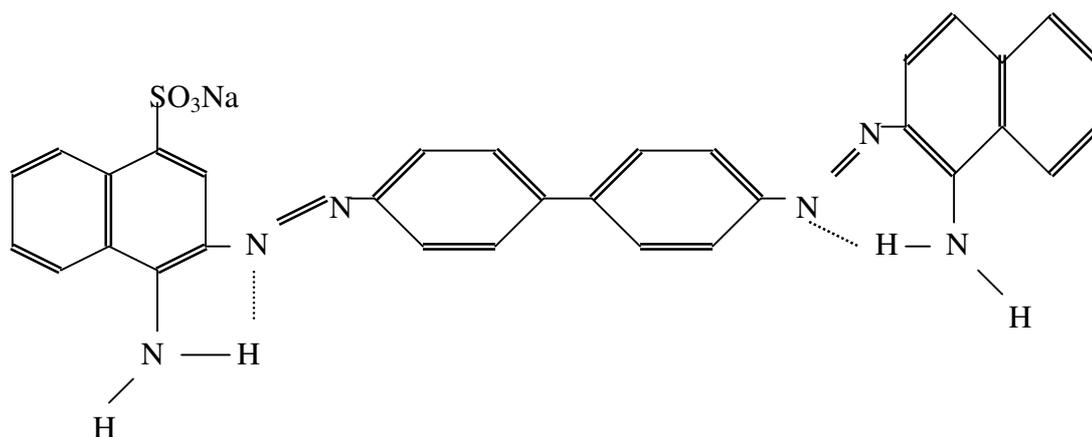


Figura 2.11- Exemplo de Corante Direto (Corante Vermelho Congo) contendo grupos diazo como grupos cromóforo.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

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

Corantes Azóicos

São compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento (agente naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio (RN_2^+) provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra e produz um corante insolúvel em água.

O fato de usar um sistema de produção do corante diretamente sobre a fibra, através da combinação de um corante precursor sem grupos sulfônicos e a formação de um composto solúvel, permite um método de tingimento de fibras celulósicas (especificamente alongadas) com alto padrão de fixação e alta resistência contra luz e umidade.

Corantes Ácidos

O termo corante ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes grupos substituintes ionizáveis tornam o corante solúvel em água, e têm vital importância no método de aplicação do corante em fibras protéicas (lã e seda) e em fibras de poliamida sintética. No processo de tintura, o corante previamente neutralizado (solução contendo cloreto, acetato, hidrogenossulfato, etc) se liga à fibra através de uma troca iônica envolvendo o par de elétrons livres dos grupos amino e carboxilato das fibras protéicas, na forma não-protonada. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornece uma ampla faixa de coloração e grau de fixação.

Na Figura 2.12 é apresentado um exemplo da estrutura de um corante ácido.

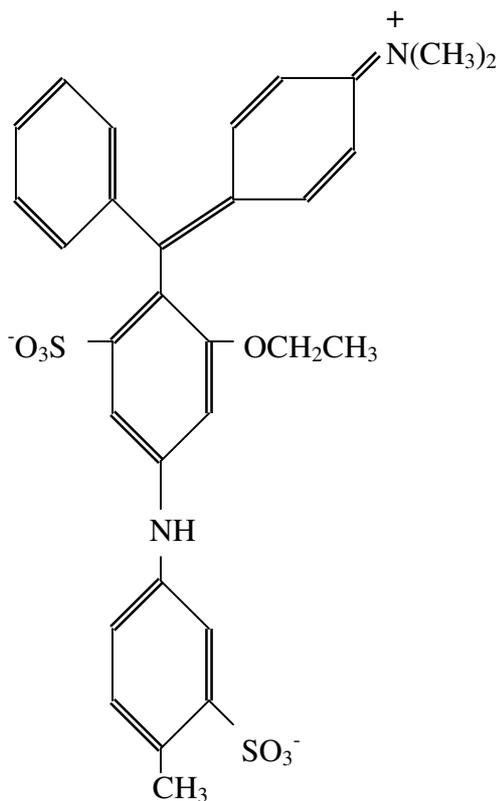


Figura 2.12 - Estrutura molecular do Corante Ácido Violeta.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Corantes a Cuba

É uma grande e importante classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. Eles são aplicados praticamente insolúveis em água, porém durante o processo de tintura eles são reduzidos com ditionito, em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel (forma leuco), conforme apresentado na Figura 2.13. Posteriormente, a subsequente oxidação pelo ar, peróxido de hidrogênio, etc., regenera a forma original do corante sobre a fibra.

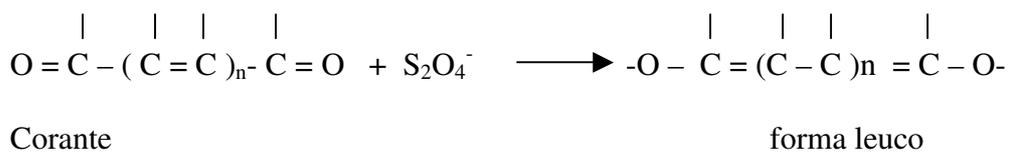


Figura 2.13 - Processo de redução do Corante á Cuba com ditionito de sódio.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Neste tipo de corante, o grupo carbonila pode estar situado no grupo etilênico ou em subunidades alicíclicas, onde n=1: índigo, n=2: ANTRAQUINONA< N+\$: pirantrona, etc. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura do algodão, embora devido às suas excelentes propriedades de fixação, outros materiais também tem sido utilizados. Entretanto, como a produção química de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ecológicos, o custo desta classe de corantes tem sido bastante alto.

Corantes de Enxofre

É uma classe de corantes que após a aplicação se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos (-sn-), os quais são altamente insolúveis em água. Em princípio são aplicados após pré-redução em banho de ditionito de sódio que lhes confere a forma solúvel, são reoxidados subsequente sobre a fibra pelo contato com o ar.

Na Figura 2.14 é apresentado um exemplo da reação de corantes contendo grupo tiosulfato com íon sulfeto e subsequente formação dos corantes com pontes de dissulfeto.

Estes compostos têm sido utilizados principalmente na tintura de fibras celulósicas, conferindo cores preto, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação. Entretanto, estes corantes usualmente apresentam resíduos altamente tóxicos.

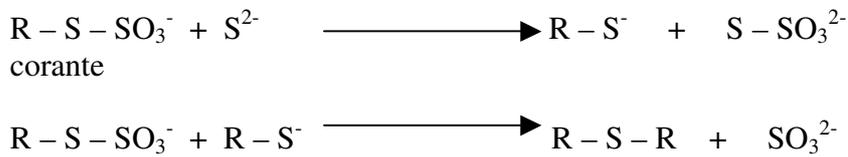


Figura 2.14 - Reação de corantes contendo grupo tiosulfato com íon sulfeto e subsequente formação dos corantes com pontes de dissulfeto.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Corantes Dispersos

Constitui uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão (partículas entre 1 a 4 micra). Durante o processo de tintura o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finalmente dividido) sobre o acetato de celulose. O grau de solubilidade do corante deve ser pequeno, mas definido e influencia diretamente o processo e a qualidade da tintura, conforme é apresentado na Figura 2.15. Usualmente o processo de tintura ocorre na presença de agentes dispersantes com longas cadeias que normalmente estabilizam a suspensão do corante facilitando o contato entre o corante e a fibra hidrofóbica. Esta classe de corantes tem sido utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas, tais como: acetato de celulose, nylon, poliéster e poliacrilonitrila.

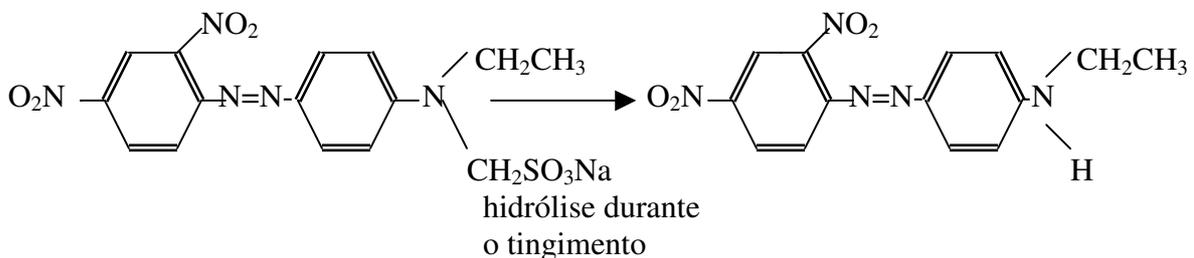


Figura 2.15 - Exemplo de corante solubilizado temporariamente através de reação de hidrólise (V-Corante Vermelho de Lonamina KA).

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Corantes Pré-Metalizados

São úteis principalmente para tintura de fibras protéicas e poliamida. Os corantes são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. Neste tipo de tintura explora-se a capacidade de interação entre o metal e os agrupamentos funcionais portadores de pares de elétrons, como aqueles presentes nas fibras protéicas. Exemplos mais comuns deste grupo são os complexos estáveis de cromo: CORANTE (1:1) ou (1:2), conforme é apresentado na Figura 2.16. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito.

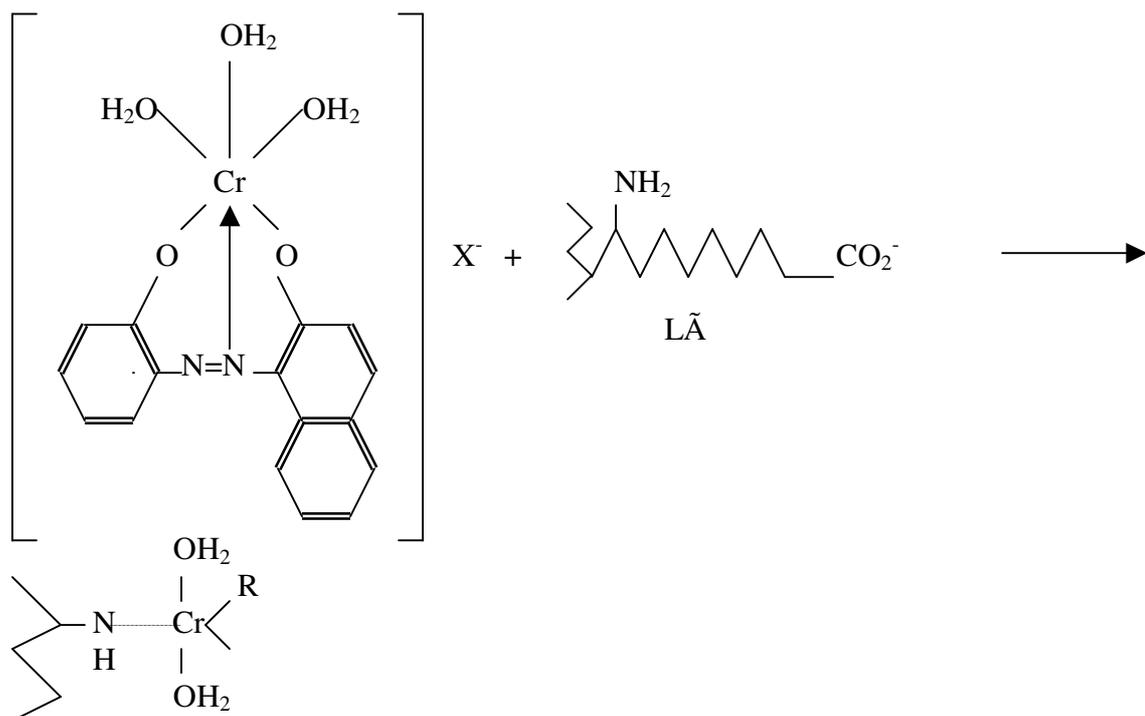


Figura 2.16 - Exemplo de tingimento da Lã com o Corante Pré-Metalizado cromo/corante 1:1 através do grupo amino como ligante e o centro metálico do corante.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Interações Iônicas

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

Na Figura 2.18 é apresentado um exemplo da interação iônica entre o corante (D) e os grupos amino da Fibra da lã.

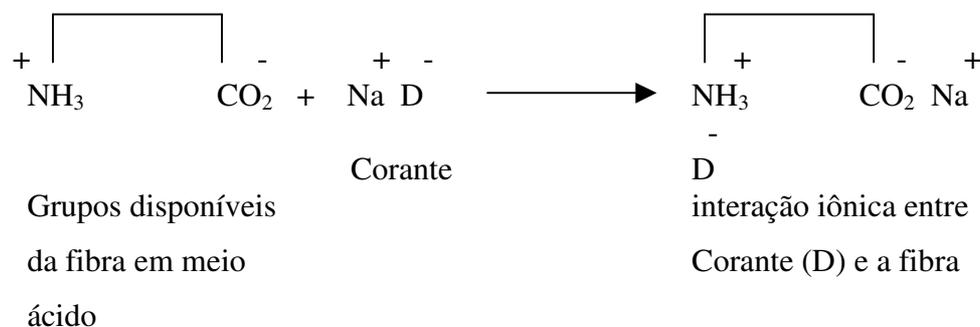


Figura 2.18 - Interação Iônica entre um Corante e a Fibra da Lã.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Interações de Van der Waals

São tingimentos baseados na interação proveniente da aproximação máxima entre orbitais π do corante e da molécula da fibra, de tal modo que as moléculas de corante são “ancoradas” firmemente sobre a fibra por um processo de afinidade, sem formar uma ligação propriamente dita. Esta atração é especialmente efetiva quando a molécula do corante é linear/longa e/ou achatada e pode assim se aproximar o máximo possível da molécula da fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são encontrados na tinturaria de lã e poliéster com corantes com alta afinidade por celulose.

Interações de Hidrogênio

São tinturas provenientes da ligação entre átomos de hidrogênio covalentemente ligados no corantes e pares de elétrons livres de átomos doadores em centros presentes na fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são encontradas na tintura de lã, seda e fibras sintéticas como acetato de celulose.

Na Figura 2.19 é apresentado um exemplo de interação de hidrogênio entre o corante sulfonado e os grupos carboxilas da fibra de lã.

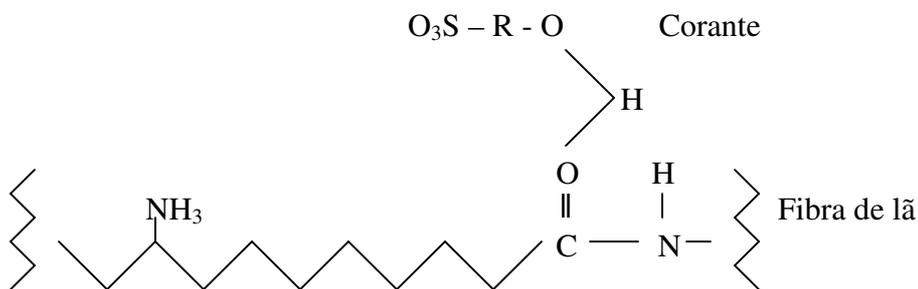


Figura 2.19 - Interação entre o corante sulfonado e a fibra da Lã.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

Interações Covalentes

São provenientes da formação de uma ligação covalente entre a molécula do corante contendo grupo reativo (grupo eletrofílico) e resíduos nucleofílicos da fibra. Exemplos característicos deste tipo de interação são tinturas de fibra de algodão, conforme apresentado na Figura 2.20.

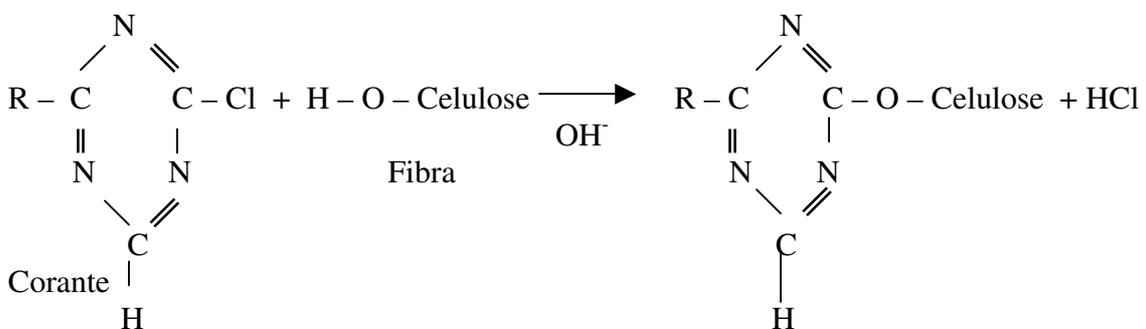


Figura 2.20 - Exemplo da Interação Covalente entre um corante contendo grupos reativos (triazina) e grupos hidroxila presentes na celulose da fibra de algodão.

Fonte: GUARATINI e ZANONI, 2000.

2.4 Colorimetria

A Cor

Define-se cor como uma percepção subjetiva causada no cérebro em consequência de uma certa energia radiante transmitida aos olhos (SALEM, 2000).

Segundo CRISMENT (1998), a cor é um mistério, um ponto entre o racional e o irracional, entre as ciências exatas e as ciências humanas.

Colorimetria

Para CRISMENT (1998), a colorimetria é uma técnica de medição da cor. A cor medida em um objeto é em função da fonte luminosa, da característica do material do objeto e das respostas tricromáticas do observador. Estes dados, extremamente precisos e quantificados, caracterizam perfeitamente a cor, porque a experiência demonstra que três únicos valores numéricos bastam para identificar o espectro colorido da superfície de um objeto e da fonte de luz. Esta extraordinária simplificação constitui um eixo fundamental da visão tricromática, ou dizer, somente trivariante visual.

Na Figura 2.21 é apresentado o sistema cromático das cores, onde os valores positivos do eixo a demonstram que a tonalidade está amarelada e os valores negativos demonstram que a cor está azulada. No eixo b, valores positivos demonstram que a tonalidade está avermelhada e valores negativos, que ela está esverdeada. No eixo L, os valores positivos demonstram que a intensidade está menor (mais clara) e valores negativos, que ela está maior (mais escura), onde ΔE corresponde a diferença (variação) total da cor.

No decorrer dos anos foram desenvolvidas numerosas equações matemáticas no sentido de criar outros sistemas de coordenadas, sempre, procurando definir espaços colorimétricos equidistantes. Atualmente existem vários sistemas utilizados na indústria têxtil, entre eles se destaca o CIELAB e o CMC. Nestes sistemas o valor de ΔE indica a variação total da cor.

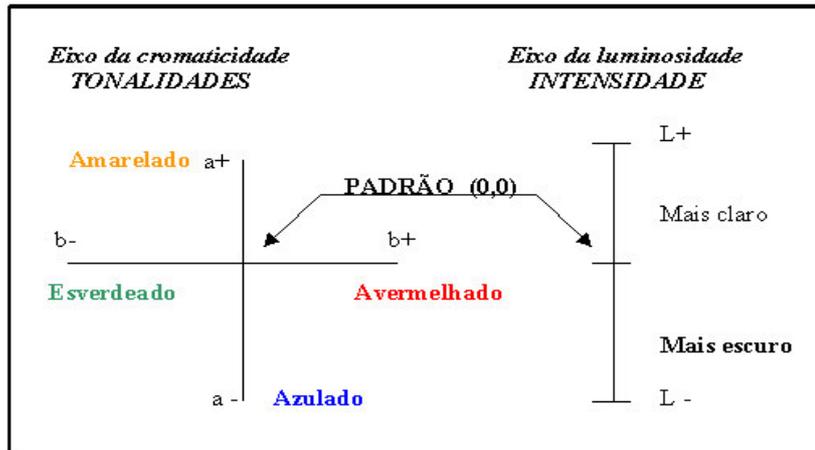


Figura 2.21 – Eixo de cromaticidade e luminosidade das cores.

Fonte: CRISMENT, 1998.

Sistema CIELAB:

$$\Delta E = \left[(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Sistema CMC:

$$\Delta E = \left[\frac{\Delta L^*}{1S_L} \right]^2 + \left[\frac{\Delta C^*}{cS_C} \right]^2 + \left[\frac{\Delta H^*}{S_H} \right]^2 \quad (\text{Eq. 2.2})$$

onde: para S_L

$$\text{se } L^* < 16 \Rightarrow S_L = 0,511$$

$$\text{se } L^* \geq 16 \Rightarrow S_L = \frac{0,040975 \cdot L^*}{1 + 0,01765 \cdot L^*}$$

para S_C

$$S_C = \frac{0,0638 \cdot C^*}{1 + 0,0131 \cdot C^*} + 0,638$$

para S_H

$$S_H = (FT + 1 - F) S_C$$

$$\text{onde: } F = \left(\frac{C^{*4}}{C^{*4} + 1900} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{y } T = 0,36 + |0,4 \text{ Cos } (35+h)|$$

salvo se $164^\circ < h < 345^\circ$

$$\text{o } T = 0,56 + |0,2 \text{ Cos } (168+h)|$$

onde: | representa o valor absoluto.

2.5 Beneficiamento Têxtil

O Beneficiamento têxtil consiste em um conjunto de processos aplicados aos materiais Têxteis objetivando transforma-los, a partir do estado cru, em artigos brancos, tingidos, estampados e acabados (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

O processo têxtil basicamente é dividido em fiação, tecelagem e beneficiamento. No processo de fiação a matéria-prima (algodão) é processada nos abridores, batedores, cardas, passadores, maçaroqueiras, filatórios, retorcedeiras e conicaleiras. Nesta etapa não há geração de efluentes líquidos, devido a todas estas operações ocorrerem na ausência de água. Na etapa de tecelagem ou malharia os fios tintos ou crus são transformados em tecidos ou malhas nos teares. Esta etapa também é um processo que ocorre a seco, não ocorrendo geração de efluentes líquidos.

Na etapa de beneficiamento o substrato têxtil é tratado com o objetivo de adquirir características como cor, toque e estabilidade dimensional. Esta etapa conforme ARAÚJO e CASTRO (1984), é dividida em:

- Tratamento prévio ou Preparação - Nesta etapa elimina-se a impureza das fibras e melhora-se a estrutura do substrato têxtil para prepara-lo para as operações de tingimento, estamparia e acabamento;
- Tingimento - Nesta etapa os substratos têxteis são coloridos;
- Estamparia - Etapa em que é aplicado um desenho colorido sobre o substrato têxtil já tratado;
- Acabamento - São operações que conferem as características desejáveis ao substrato têxtil como brilho, toque, caimento, estabilidade dimensional e outros acabamentos ditos especiais como anti-ruga, impermeável e antichama.

As fibras celulósicas são constituídas essencialmente de celulose acompanhada de outros componentes como proteínas, ceras, graxas e gorduras saponificáveis, materiais minerais, açúcares e pigmentos.

Os pigmentos, as gorduras e as impurezas nitrogenadas são responsáveis pela coloração natural da fibra, que varia de acordo com sua procedência e forma de cultivo.

O algodão egípcio, por exemplo, apresenta uma coloração que varia de amarelo a azul; o turco é avermelhado; já o algodão indiano é ligeiramente escuro (BARCELLOS et al., 2002).

Engomagem

Este processo tem como característica a aplicação de uma goma sobre os fios de urdume com o objetivo de aumentar a sua resistência mecânica, de forma a resistirem os esforços nos teares durante o processo de tecelagem. Em sua maioria são utilizados dois tipos de goma: goma de fécula de mandioca e gomas sintéticas, a base de poli-acrilato, carboximetilcelulose e álcool polivinílico (PVA). As gomas naturais produzem um efluente biodegradável e são por este motivo preferidas às sintéticas (TRALLI, 2000).

Desengomagem

É o tratamento destinado a eliminar a goma e os demais produtos usados na engomagem dos fios de urdume. A desengomagem consiste no tratamento do material têxtil com um produto que torne a goma solúvel em água, facilitando a sua remoção do tecido através de lavagens. A remoção da goma torna o material mais absorvente, proporcionando melhores condições para os tratamentos a úmido subsequentes (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

Purga

A purga tem como objetivo remover as impurezas dos substratos têxteis com óleo, ceras e gorduras oriundas da natureza da fibra ou do seu processo de fabricação. Este processo pode ser realizado tanto em fibras sintéticas quanto em fibras naturais, e geralmente é aplicado um detergente e um emulgador em meio alcalino (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

Pré-alveamento

É um processo em meio aquoso alcalino que consiste em um tratamento oxidativo, no qual a cor natural da fibra é eliminada pela ação oxidante de agentes específicos. Este processo também confere ao material têxtil o melhoramento da hidrofiliidade, que é muito importante para as etapas subseqüentes na cadeia têxtil (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

Alveamento

É o tratamento do material têxtil com produtos químicos, objetivando conferir-lhes brancura, preparando o substrato têxtil para tratamentos subseqüentes com o tingimento ou estampagem. Com o processo de alveamento elimina-se a coloração amarelada do material têxtil, possibilitando chegar ao branco total ou a tingimentos claros e limpos. Os alvejantes químicos mais comuns são o hipoclorito de sódio, o peróxido de hidrogênio e o clorito de sódio. A seleção do alvejante depende do tipo e do equipamento disponível (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

Mercerização

O algodão, quando tratado a frio em uma solução de NaOH 30° Bé, se torna semitransparente, com estrutura arredondada quando visto no microscópio e encolhe muito no sentido longitudinal. A fibra entra em combinação com o álcali formando o composto denominado álcali-celulose:



A álcali-celulose quando entra em contato com a água de lavagem, é decomposta formando celulose hidratada, diferindo da original nas características físicas e químicas. Esta reação, descoberta por John Mercer em 1848, deu origem ao processo de mercerização, no qual o algodão em peças ou fio é tratado, sob tensão e a frio, em uma solução concentrada de NaOH (27° a 32° Bé) e, em seguida, lavado e neutralizado sempre sob tensão. O algodão adquire com a mercerização um aspecto brilhante e tem um aumento de resistência e de afinidade para com os corantes (SALEM, 2000).

Estamparia

A estamparia é o beneficiamento têxtil que tem por finalidade imprimir desenhos coloridos nos tecidos. Os tecidos são muitas vezes estampados com cores e estampas usando uma variedade de técnicas e tipos de equipamentos. O processo de estamparia pode ser o toque final para os produtos já confeccionados, que receberão estampas por quadros, ou seja, a estampagem é feita em algum ponto de sua extensão física.

Para os tecidos, que receberão estamparia em toda a sua extensão, são usados rolos (cilindros de cromo-níquel perfurados) gravados que alcançam toda a peça. Das numerosas técnicas de estampar, a mais comum é tela rotativa (rolos). São usados pigmentos em cerca de 75 a 85% do total das operações de estampagem; não são necessárias etapas de lavagem após o processo de fixação da estampa. Comparados com os corantes, os pigmentos são tipicamente insolúveis e não tem afinidade pelas fibras. Resinas ligantes são usadas para aderir os pigmentos aos substratos. Solventes são usados como veículos para transportar a mistura pigmento e resina para o material têxtil. Após a evaporação dos solventes, permanece a camada de resina e pigmento fixa. Grandes quantidades de água são utilizados na limpeza dos rolos (telas rotativas) e quadros de estamparia (EPA, 1997).

Acabamento

O acabamento é o último beneficiamento recebido pelo material têxtil antes de seguir para o mercado consumidor ou para as confecções. O acabamento tem por finalidade conferir ao material têxtil aspectos que atenda aos desejos do consumidor, atribuindo propriedades especiais ou alterando as características de um determinado artigo (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1987).

Este processo pode ser realizado por meio mecânico ou químico no material têxtil, seja ele fibra, fio ou tecido, de forma a melhorar a aparência, brilho, toque, caimento, resistência e estabilidade dimensional. O acabamento mecânico pode envolver cardação, calandragem ou outros tratamentos físicos usados para aumentar o brilho e toque aos produtos têxteis. O acabamento químico pode conferir aos produtos têxteis uma variedade de propriedades, desde diminuição da eletricidade estática ao aumento de resistência propagação de chama (ignifugação) (EPA, 1997).

Na Figura 2.22 é apresentado um fluxograma do processo produtivo têxtil destacando-se as etapas onde ocorre o consumo de água e geração de efluentes aquosos.

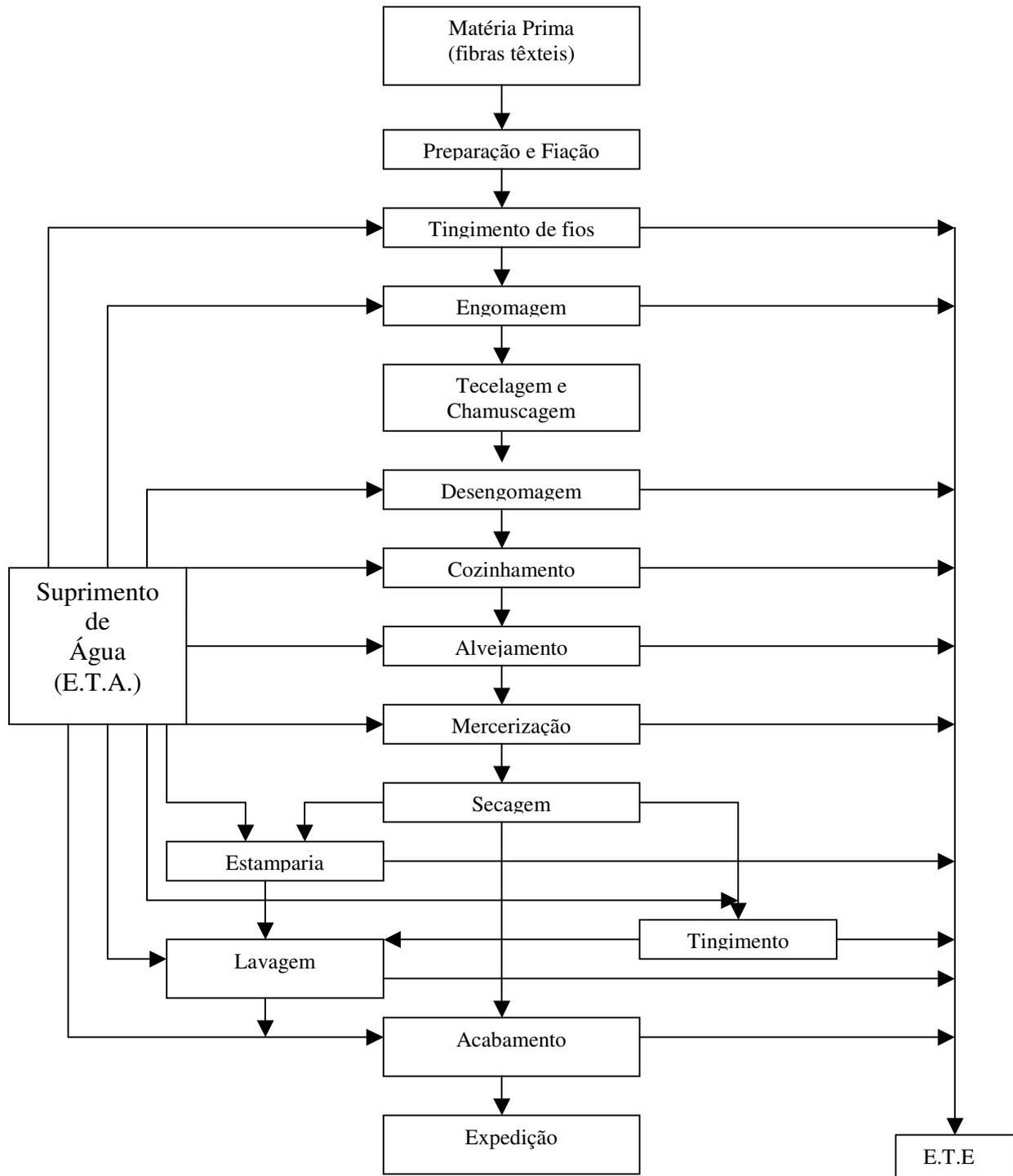


Figura 2.22 - Etapas do processo produtivo têxtil.

Fonte: BRAILE e CAVALCANTI, 1993.

Processo de Tingimento

O tingimento é o processo no qual são aplicados corantes ao material têxtil. O processo de tingimento é uma das etapas determinantes do sucesso comercial dos produtos têxteis. Além da padronização da cor, o consumidor exige algumas características básicas do produto, como, elevado grau de solidez em relação à luz, lavagem e transpiração, tanto inicialmente quanto após uso prolongado. Para garantir essas propriedades, as substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda serem economicamente viáveis.

Segundo GUARATINI e ZANONI (2000) devido à grande exigência do mercado, milhões de compostos químicos coloridos têm sido sintetizados nos últimos 100 anos, dos quais cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial. Entretanto, estima-se que atualmente 2.000 tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil. Este grande número de corantes é justificado pela diversidade de fibras existentes, uma vez que cada tipo de fibra a ser colorida requer corantes com características próprias e bem definidas, e principalmente devido à grande demanda de novas cores e de corantes com maior capacidade de fixação e especificidade às fibras.

O processo de tingimento causa uma modificação físico química do substrato de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Os produtos que provocam estas modificações são denominados de matérias corantes. Estas substâncias são compostos orgânicos capazes de colorir substratos têxteis ou não têxteis, de forma que a cor seja relativamente resistente (sólida) a luz e a tratamentos úmidos.

Os corantes são solúveis ou dispersos no meio de aplicação (água). No tingimento, os corantes são adsorvidos e se difundem para o interior da fibra.

Processo Contínuo

Neste processo o banho de impregnação permanece estacionado enquanto o substrato passa continuamente por ele, é espremido mecanicamente e fixado por calor seco ou vapor ou por repouso prolongado.

O corante é deslocado do banho para a fibra. Nesse processo, há contato freqüente entre o banho e a fibra mediante movimentação de um deles ou dois, o corante se desloca do banho para a fibra devido a substantividade. Substantividade é a propriedade do corante de se deslocar do banho de tingimento para a fibra.

Processo Descontínuo (Esgotamento)

No processo por esgotamento o corante é deslocado do banho para a fibra. Nesse processo, há contato freqüente entre o banho e a fibra mediante movimentação de um deles ou dos dois, o corante se desloca do banho para a fibra devido a substantividade. Substantividade é a propriedade do corante de se deslocar do banho de tingimento para a fibra.

Durante o processo de tingimento três etapas são consideradas importantes: a “montagem”, a fixação e o tratamento final. A fixação do corante à fibra é feita através de reações químicas, da simples insolubilização do corante ou de derivados gerados, e ocorre usualmente em diferentes etapas durante a fase de montagem e fixação. Entretanto todo processo de tintura envolve como operação final uma etapa de lavagem em banhos correntes para retirada do excesso de corante original ou corante hidrolisado não fixado nas etapas precedentes.

Cinética e Termodinâmica no Processo de Tingimento

É muito importante o conhecimento deste processo, com ele conseguimos compreender melhor o mecanismo de reação corante/fibra e contribui também para o desenvolvimento de novos corantes, conhecimentos estes que não seriam alcançados baseando-se somente em experiências práticas.

O processo de tingimento pode ser analisado por dois importantes aspectos:

- Cinética: determina a velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, a velocidade de difusão e de adsorção dentro dela, assim como, as influências de concentração de corante e eletrólitos, pH, temperatura e relação de banho sobre estas velocidades.
- Termodinâmica: analisa os fatores que favorecem a fixação do corante na fibra, sendo denominados de “afinidade”.

Na Figura 2.23 é apresentado a Cinética e a Termodinâmica no processo de tingimento.

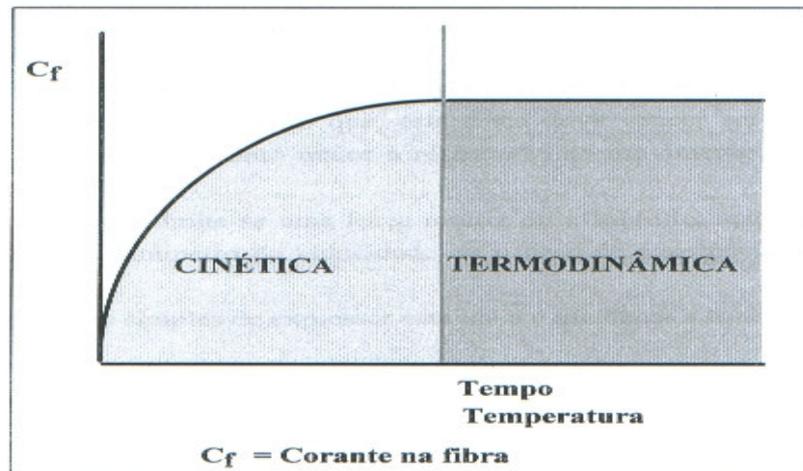


Figura 2.23 - A Cinética e Termodinâmica no Processo de Tingimento

Fonte: SALEM, 2000.

Fase Cinética

É a etapa na qual se determina a velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, a sua velocidade de adsorção e de difusão dentro dela e as influências de concentração de corante e eletrólitos, pH, temperatura e relação de banho sobre estas velocidades.

Nesta fase ocorrem as seguintes etapas:

- Transferência do corante do banho para a fibra;
- Adsorção do corante na superfície da fibra;
- Difusão do corante para o interior da fibra.

A difusão ocorre conforme a “equação de Fick”, a seguir:

$$\frac{ds}{dt} = -D.A \frac{dc}{dx} \quad (\text{Eq.2.3})$$

onde:

$$\frac{ds}{dt} = \text{Velocidade de difusão};$$

$$\frac{dc}{dx} = \text{Gradiente de concentração};$$

$$D = \text{Coeficiente de difusão};$$

$$A = \text{Área.}$$

Na fase cinética é que ocorre a maior parte dos problemas de tingimento. O fator determinante para se conseguir um tingimento igualizado e bem difundido reside no controle da velocidade de adsorção do corante pela fibra.

O estudo da cinética do tingimento é, portanto, tão importante quanto à fase de equilíbrio, (fase termodinâmica).

Velocidade Instantânea de Tingimento

Segundo M.R. Costa em SALEM (2000), geralmente se confunde a velocidade em que o processo ocorre (cinética) e a grandeza da força que provoca o processo. A existência de uma força motriz em um sistema mecânico não é suficiente para garantir um movimento, visto que, esta força deve vencer certa resistência antes que o movimento seja possível. Quanto maior a resistência ao movimento, menor a velocidade para uma determinada força.

No tingimento admite-se uma força motriz ou afinidade, responsável para a ocorrência do fenômeno e um parâmetro de velocidade ou o grau de resistência à difusão do corante no interior da fibra.

A forma mais simples de expressar esta idéia é mediante a equação da velocidade de tingimento:

$$V_t = \frac{Ft}{R} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

onde:

V_t = Velocidade de tingimento;

Ft = Força motriz de tingimento;

R = Resistência à penetração das moléculas de corante;

ou

$$V_t = Ft \times \frac{1}{R} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

onde:

Ft = Parâmetro de afinidade;

$\frac{1}{R}$ = Parâmetro de velocidade;

A velocidade instantânea do tingimento, portanto, depende de dois fatores:

- Parâmetro de velocidade, diretamente ligado à cinética;
- Parâmetro de afinidade, ligado à termodinâmica do processo.

Na Figura 2.24 é apresentada a curva de esgotamento que relaciona o tempo de tingimento em função da porcentagem total de corante que é transferido à fibra, ao alcançar o equilíbrio, tanto quanto requerido para alcançar meio esgotamento.

Muitos fatores críticos são importantes para boa igualização e reprodutibilidade do tingimento. A forma destas curvas dependerá das condições de tingimento, variações da temperatura, pH e eletrólitos.

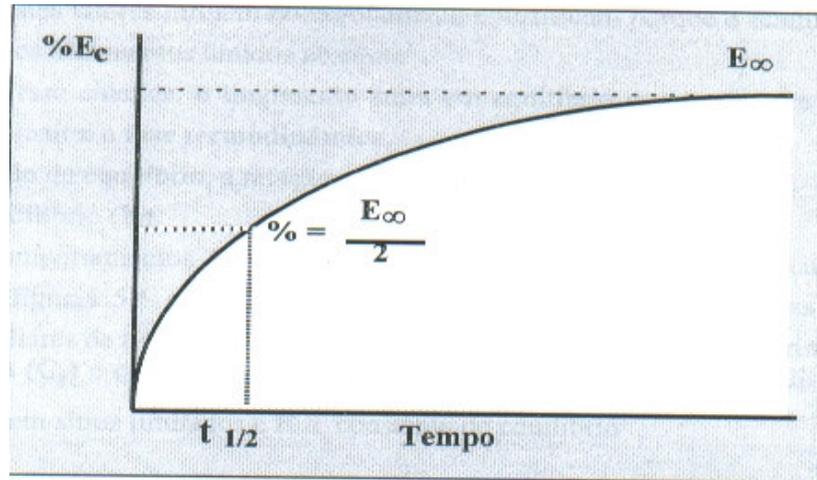


Figura 2.24 - Curva de Esgotamento de um Tingimento

Fonte: SALEM, 2000.

E_{∞} = Esgotamento alcançado no equilíbrio

$\frac{E_{\infty}}{2}$ = Meio esgotamento

$t_{\frac{1}{2}}$ = Tempo de meia tintura

Termodinâmica do Tingimento

A termodinâmica do tingimento permite a análise dos fatores que favorecem a fixação do corante na fibra, sendo denominados de “afinidade”.

As moléculas de qualquer composto, na forma de gás, líquido ou solução, se encontram em um grau de liberdade de movimentação, tendendo a distribuir-se sobre o volume máximo acessível a elas. Ao proporcionar-lhes um maior volume, tratará de distribuir-se no volume total. Para reduzirmos o espaço ocupado se faz necessário uma força externa.

A tendência de um sistema passar espontaneamente de um estado de alta energia a outro de menor energia é estudado pela termodinâmica, a qual relaciona as mudanças de energia no início e no final do processo, quando ocorre o equilíbrio, não considerando as fases intermediárias.

Em um sistema de tingimento pareceria existir uma contradição ao princípio de liberdade de movimento: uma solução relativamente diluída de corante se transfere em pouco tempo para um espaço bem mais reduzido na fibra. Uma força interveio para forçar as moléculas dos corantes a permanecer na fibra; esta força se conhece por “afinidade”.

A permanência do corante na fibra é afetada por vários fatores:

- Vibração da estrutura molecular da fibra, a cada momento, tomando novas configurações;

- Durante o tingimento existe um constante choque entre as moléculas da água e o corante, dificultando sua fixação na fibra.

- Com o aumento da temperatura do sistema, aumenta a vibração das moléculas da fibra e o bombardeio das moléculas da água.

Todos estes fatores influem no esgotamento e justificam porque o rendimento não é total, nem a solidez aos tratamentos úmidos absoluta.

Após a fase cinética, o tingimento entra em equilíbrio com o corante remanescente no banho, o que constitui a fase termodinâmica.

No estado de equilíbrio, a relação corante na fibra / corante no banho é expressa por uma constante de equilíbrio “K”.

Três comportamentos de equilíbrio são representados pelas curvas isotérmicas mostradas nas Figuras 2.25 a 2.27. Estas curvas, são afetadas de diferentes formas por pH, eletrólitos, auxiliares de tingimento e temperatura.

Cada curva isotérmica exprime a relação entre:

C_f = Concentração de Corante na fibra;

C_b = Concentração de Corante remanescente no banho;

S_f = Limite de saturação (quando a fibra tem sítios limitados);

K = Constante de equilíbrio.

A Figura 2.25 ilustra a curva de isoterma de equilíbrio de Nernst. Trata-se da curva de equilíbrio de corantes e fibras não iônicas (Corantes Dispersos / Poliéster). A distribuição é por solubilidade do corante na fibra.

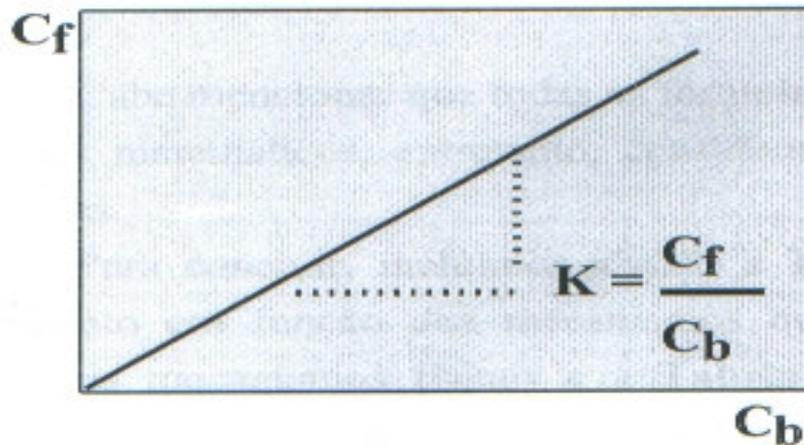


Figura 2.25 - Curva da isoterma de equilíbrio de Nernst.

Fonte: SALEM, 2000.

A Figura 2.26 ilustra a curva da isoterma de equilíbrio de Langmuir. Nesta curva:

- Corantes e fibra interagem fortemente;
- Corantes e fibras tem polaridade oposta;
- Corante tem afinidade específica (limite de saturação – a fibra tem sítios limitados).

Esta curva representa o equilíbrio entre:

- Corantes ácidos e Lã;
- Corantes Ácidos e poliamida;
- Corantes Catiônicos e Fibras Acrílicas;

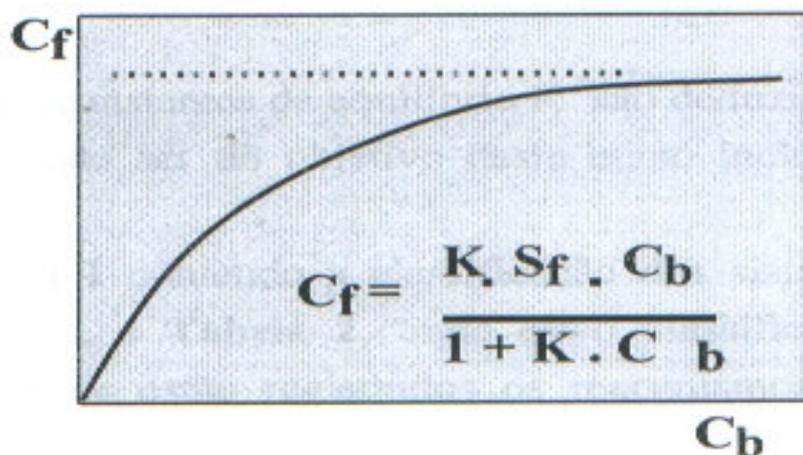


Figura 2.26 - Curva da isoterma de equilíbrio de Langmuir.

Fonte: SALEM, 2000.

A Figura 2.27 ilustra a curva da isoterma de equilíbrio de Freundlich, cujas principais características são:

onde:

C_f = Concentração de Corante na fibra;

- Corante e fibra tem a mesma polaridade;
- A interação Corante / Fibra é fraca;
- As ligações Corantes / Fibra são por Pontes de hidrogênio ou Forças de Van der Walls

Esta curva representa o equilíbrio entre:

- Corantes Diretos e Fibras Celulósicas.

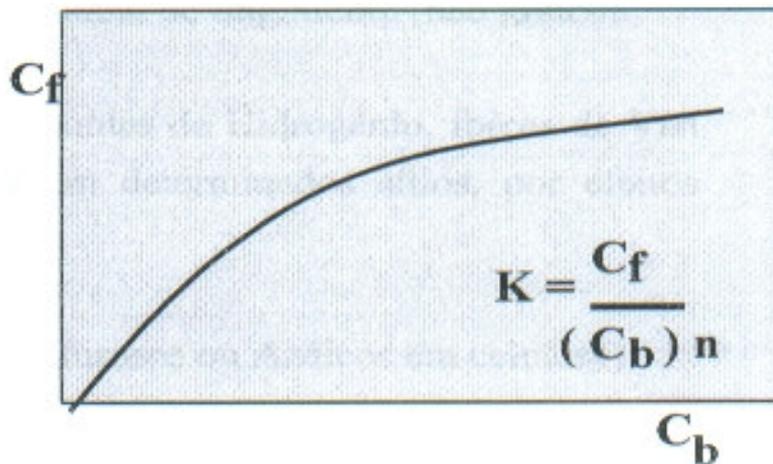


Figura 2.27 - Curva da isoterma de equilíbrio de Freundlich.

Fonte: SALEM, 2000.

2.6 Produtos Químicos Auxiliares da Indústria Têxtil

Conforme descreve STEINHART (2000), na sua maioria, os produtos auxiliares utilizados no processo de tingimento na indústria têxtil são formulações a base de tensoativos. São substâncias constituídas por uma parte hidrófila (polar) e uma hidrófoba (apolar) que têm a propriedade de reduzir a tensão superficial dos líquidos. Conforme são combinados os diferentes tensoativos obtém-se uma determinada ação e conseqüentemente uma diferente aplicação. A formulação normalmente baseia-se em uma base (tensoativa ou não) e demais tensoativos auxiliares.

A ação dos tensoativos nas diferentes aplicações têxteis é definida por Steinhart (2000) da seguinte forma:

- Amaciantes: Conferem a sensação de maciez e volume, que é dada pela parte hidrófoba da base amaciante. Por esse motivo, a adsorção de água dos materiais têxteis fica comprometida quando da aplicação de amaciantes;
- Antiespumantes: Agem na estrutura da espuma fazendo com que a mesma perca elasticidade e se rompa;
- Carriers: Possuem como base de formulação substâncias não tensoativas, porém contêm tensoativos em sua formulação;
- Detergentes: São tensoativos que possuem a propriedade de umectar os substratos têxteis, permitindo que, pela quebra da tensão superficial da água, as impurezas sejam facilmente removidas do material têxtil para a fase líquida. Mantém em suspensão as partículas removidas, não permitindo que se reaglomerem e se depositem na superfície do substrato. Têm a propriedade de emulsionar as gorduras ou óleos presentes nos substratos têxteis;
- Dispersantes: também denominado colóide protetor, tem como principal característica impedir a reaglomeração dos sólidos;
- Igualizantes: São produtos específicos para determinadas fibras e corantes. Existem três tipos de ação dos igualizantes; ter afinidade com a fibra, ter afinidade com o corante e ter sua ação exclusivamente na alteração da tensão superficial, não possuindo afinidade com o corante ou fibra;
- Retardantes: São igualizantes constituídos por tensoativos catiônicos.

Na Tabela 2.10 são apresentados os produtos químicos auxiliares mais utilizados no tingimento.

Tabela 2.10 - Produtos Químicos Auxiliares utilizados em Tingimentos.

Descrição	Composição	Função
Sais	Cloreto de sódio Sulfato de sódio	Retardantes
Ácidos	Acético e sulfúrico	Controle de pH
Bases	Hidróxido de sódio Carbonato de sódio	Controle de pH
Seqüestrantes	EDTA	Seqüestrantes
Dispersantes e Surfactantes	Aniônicos, catiônicos e não-iônico	Amaciante dispersantes de corantes
Agentes oxidantes	Peróxido de hidrogênio Nitrito de sódio	Insolubilizantes de corantes
Agentes redutores	Hidrossulfito de sódio Sulfeto de sódio	Remoção de corantes não reagidos; solubilizantes
Carriers	Organoclorados	Aumento da adsorção

Fonte: PERES e ABRAHÃO, 1998.

2.7 Caracterização dos Efluentes Têxteis

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

Desde modo, métodos para remoção da cor das águas de rejeito têm recebido enorme atenção nos últimos anos. De um modo geral, a efetividade da remoção da cor pode ser avaliada por um padrão espectrofotometricamente permitido, o qual pode ser usado para controlar a diluição do corante nas águas dos rios. Assim, através da comparação direta entre absorvância da amostra de um efluente e o padrão de qualidade requerido para coloração em rios, é possível avaliar o grau de contaminação previsto (COOPER, 1993).

Segundo Abraham (1993), (in TALARPOSHTI et al. 2001), 700.000 toneladas de corantes têxteis são produzidos anualmente, onde, 50% são compostos azo (-N=N-) que, devido o seu comportamento ambiental ser ainda desconhecido, são considerados especialmente perigosos (BUSTARD et al., 1998). Laing (1991), coloca que de 2 a 10% dos corantes aplicados em processos de tingimento são descarregados no efluente, dependendo da tonalidade e do corante utilizado (in ROZZI et al, 1998). De acordo com ARSLAN et al. (2000), pesquisas mais recentes indicam que aproximadamente 12% de corantes sintéticos são perdidos anualmente durante a fabricação e em processos de tingimento, sendo que nesse caso, 20% da cor resultante é deixada no ambiente através de plantas de tratamento de efluentes.

O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de efluentes tem sido objetivo de grande interesse nos últimos tempos devido ao aumento da conscientização e rigidez das leis ambientais. As principais técnicas para o descoloramento das águas no rejeito envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, fotoquímica e biodegradação (HITZ, 1978).

Segundo HITZ (1978), as técnicas de adsorção têm se baseado na remoção do corante através da passagem da amostra em carvão ativo, sílica gel, bauxita, resinas de troca-iônica, derivados de celulose, entre outros. Em geral, oferecem um método lento, não econômico, porém efetivo principalmente para volumes de pequena escala.

O uso de membranas especiais (nanofiltração e osmose reversa) também tem sido proposto propiciando uma boa remoção da cor. Em ambas as técnicas, a metodologia consiste na separação efetiva de moléculas de corantes com dimensão suficientemente grande para serem separadas do efluente. A técnica permite o tratamento de grandes volumes, de modo rápido e satisfatório, porém o custo é alto e a limpeza das membranas é problemática (HITZ, 1978).

Para COOPER (1993) o uso da técnica de coagulação/floculação usando polieletrólitos e/ou floculantes inorgânicos (sais de ferro e alumínio) apresenta grau variável de sucesso como tratamento terciário para remoção da cor do efluente têxtil. O método pode efetivamente remover a coloração de rejeitos tratados logo na fonte de saída, ou seja, antes da descarga nos reservatórios a níveis de padrão permitidos. O resultado depende do tipo de corante a ser removido, composição, concentração e fluxo de produção do rejeito. Entretanto, para se obter uma alta eficiência da técnica normalmente utiliza-se um excesso de polieletrólito ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, amônia, etc.) que por sua vez irá acrescentar um resíduo potencial no efluente.

As técnicas de tratamento utilizando-se degradação química baseiam-se principalmente na reação oxidativa pelo cloro ou ozônio. 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 (corantes dispersos e diretos), além de apresentarem a vantagem adicional de não produzir íons inorgânicos, como no tratamento com cloro. O método é baseado na remoção da cor do efluente através da clivagem das moléculas do corante em processo catalítico ou radiação ultravioleta. Tais técnicas podem ser usadas em grandes volumes de efluentes, sendo razoavelmente rápidas, porém apresentam um alto custo (GOULD, 1987).

De acordo com GUGLIELMETTI (1980), o método de degradação baseado em reações fotoquímicas tem se mostrado importante como etapa primária na degradação de alguns corantes, uma vez que os corantes sintéticos apresentam a princípio alta estabilidade quando submetidos à luz visível ou ultravioleta. O uso de radiação eletromagnética para produzir intermediários mais reativos, capazes de promover degradação subsequente mais rápida ou mais eficiente, tem sido empregado para melhorar sua aplicação como método de tratamento.

Com relação a esta técnica, BROWN (1983) comenta que alguns trabalhos têm demonstrado que a combinação de reação de degradação seguida de métodos de adsorção pode aumentar o sucesso da técnica.

Em seu trabalho, FREITAS (2002) caracterizou os efluentes das etapas de preparação e tingimento, visando aumentar a eficiência no uso de insumos, água e energia, através da minimização ou reciclagem de efluentes gerados no processo produtivo da Indústria têxtil. Os parâmetros determinantes foram: cor; turbidez, temperatura, pH, alcalinidade parcial e total, condutividade, ferro, sólidos totais dissolvidos, suspensos totais e fixos, e matéria orgânica determinada pela demanda química de oxigênio, de uma indústria têxtil de grande porte de Santa Catarina. FREITAS (2002) estabeleceu uma estratégia para o reuso de efluentes oriundos do processamento de malhas dos lotes de cores brancas, preta, de intensidade clara, média e escura. No caso dos efluentes que não permitiram reutilização direta foi proposto algumas alternativas de pré-tratamento para viabilizar o seu reuso.

Em sua conclusão, FREITAS (2002) coloca que os efluentes gerados nas diversas fases no processo têxtil estudado apresentam teores de contaminantes distintos, e variáveis, característicos a cada tipo de preparação e tingimento, dificultando o seu reuso direto.

FREITAS (2002) a princípio propõem o reaproveitamento dos efluentes baseando-se na individualização das correntes de efluentes de cada fase, de todas as etapas do processo.

O reuso direto das correntes efluentes, apresentado em seu trabalho, consiste no reciclo das correntes que possuem menor concentração de contaminantes, para as fases que ocasionarão uma emissão de efluentes com concentrações bem superiores que a corrente afluente, no mesmo processo.

Segundo FREITAS (2002), a recuperação de energia pode ser possível na maioria dos casos; quanto ao reuso dos efluentes de forma direta, existem algumas restrições e, de forma indireta, o reuso dependerá de tratamentos prévios, utilizando-se processos adsortivos e de separação por membranas, que em muitos casos são de difícil viabilidade econômica.

Através dos resultados obtidos, FREITAS (2002) concluiu que há a possibilidade de reuso de forma direta de aproximadamente 37,17% e indireta de 61,05%, para os efluentes selecionados nas tonalidades de cores estudadas em seu trabalho.

Como sugestão para futuros trabalhos FREITAS (2002) sugere a realização de testes piloto para verificar se a qualidade do produto final é afetada pelo reuso direto, e testar a reutilização do banho de tingimento na fase de fixação para não causar manchamento. Ambas as sugestões apresentadas por FREITAS (2002) estão sendo exploradas no presente trabalho.

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

Para CORREIA (1995), antes de se aplicar tecnologias de diminuição de poluição, é necessário identificar os tipos de águas vindas dos diversos processos empregados pela indústria.

Na Tabela 2.11 são apresentadas as características dos efluentes de diversos tipos de fibras e processos têxteis.

Tabela 2.11 – Característica dos Efluentes dos diversos tipos de Fibras e Processos Têxteis.

Fibra	Processo	pH	DBO (mg/L)	S.T.	Uso de água (L/kg)
Algodão	Desengomagem	. - - .	1700-5200	16000-32000	3 - 9
	Purga	10 - 13	50-2900	7600-17400	26 - 43
	Alvejamento	8,5 - 9,6	90-1700	2300-14400	3 - 124
	Mercerização	5,5 - 9,5	45-65	600-1900	232 - 308
	Tingimento	5 - 10	11-1800	500-14100	8 - 300
Lã	Purga	9 - 14	30000-40000	1129-64448	46 - 100
	Tingimento	4,8 - 8	380-2200	3855-8315	16 - 22
	Lavação	7,3 - 10,3	4000-11455	4830-19267	334 - 835
	Neutralização	1,9 - 9	28	1241-4830	104 - 131
	Alvejamento	6	390	908	3 - 22
Nylon	Purga	10,4	1360	1882	50 - 67
	Tingimento	8,4	308	641	17 - 33
Acrílico	Purga	9,7	2190	1874	50 - 67
	Tingimento	1,5 - 3,7	175-2000	833-1968	17 - 33
	Lavação	7,1	668	1191	67 - 83
Poliéster	Purga	. - - .	500-800	. - - .	25 - 42
	Tingimento	. - - .	480-27000	. - - .	17 - 33
	Lavação	. - - .	650	. - - .	17 - 33
Viscose	Purga	8,5	2832	3334	17 - 33
	Tingimento	6,8	58	4890	4 - 13
Acetato	Purga/Tingimento	9,3	2000	1778	33 - 50

Fonte: CORREIA, 1995.

Em sua conclusão, CORREIA (1995) diz que devido os efluentes têxteis terem um alto volume e uma composição química muito variada que podem incluir desde corantes não biodegradáveis á substâncias tóxicas, é difícil determinar qual seria o tratamento ideal para ser aplicado, porem é claramente possível se aplicar técnicas de tratamento em água de efluentes individualmente nos processos geradores de efluentes líquidos. CORREIA (1995) conclui ainda que técnicas de tratamento de efluentes apropriadas somente serão empregadas onde às descargas de efluentes forem severamente exigidas e ou o tratamento de efluentes tiver algum valor agregado.

Um grande número de substâncias químicas orgânicas sintéticas são lançadas ao meio ambiente devido à atividade industriais. Os efluentes têxteis contêm uma gama extensiva de combinações não-polar e polar, mas as polares são predominantes. Eles incluem substâncias que são usadas como insumos e produtos auxiliares em processos têxteis são removidos dos tecidos pelas águas de lavagem. Estes poluentes orgânicos polares em efluentes têxteis podem dar origem a problemas devido ao fato que eles são não biodegradáveis e a eliminação deles é incompleta, e além disso alguns contaminantes têm um efeito tóxico às bactérias aplicadas no processo de tratamento biológico dos efluentes têxteis (CASTILLO e BARCELÓ, 2000).

Segundo CASTILLO e BARCELÓ (2000) uma variedade de combinações não polares é geralmente determinada em águas de efluentes como ftalatos, fosfatos e aromáticos. Porém, muitas substâncias polares, iônicas, pesadas e termicamente instáveis não podem ser analisadas através de técnicas de cromatografia gasosa.

O trabalho destes autores está baseado na extração da fase sólida (SPE) combinada com a fração tóxica, seguindo através de espectrometria de cromatografia de massa líquida (LC-MS). Eles utilizaram magna de *Daphnia* como o organismo designado para identificar as combinações tóxicas nas diferentes frações.

CASTILLO e BARCELÓ (2000) concluíram que há a necessidade de combinar análise química baseada em extração fracionada dos extratos seguida por cromatografia líquida ou gasosa com avaliação de toxicidade com uma bactéria de teste seguro.

FORGACS et al. (2004) apresentam em seu trabalho os vários métodos de remoção dos corantes sintéticos de efluentes têxteis. Segundo eles os corantes sintéticos apresentam uma diversidade estrutural considerável, a classe química de corantes sintéticos mais frequentemente empregada nas plantas industriais são os Azo. Por este motivo os tratamentos de efluentes tradicionais provaram ser notadamente ineficazes na remoção dos corantes sintéticos dos efluentes líquidos, devido à estabilidade química destes poluentes.

Para FORGACS et al. (2004) algumas tendências como a aplicação da microbiologia tem papel decisivo nas tecnologias futuras. A combinação de técnicas que utilizam decomposição de microbiologia e substâncias químicas ou tratamentos físicos para aumentar a eficácia da decomposição microbiológica pode ser esperada no futuro destaca FORGACS et al (2004).

Segundo FORGACS et al. (2004), os microorganismos geneticamente criados podem realizar degradação de corantes sintéticos que persistem sob condições normais. Em hábitat natural, comunidades de microbial/macrobial complexas levam a cabo a biodegradação.

TAKATSUJI et al. (1999), estudaram a remoção do sal e ácidos orgânicos por eletrodiálise, precipitação e adsorção, onde observaram que a capacidade de saturação diminui com o aumento da concentração do sal, mas a constante de equilíbrio não mudou. Combinado a eletrodiálise e adsorção, o sal e os ácidos orgânicos poderiam ser removidos enquanto que os aminoácidos eram repelidos. Considerou-se que a solução filtrada era satisfatória para seu reuso.

CARNEIRO et al. (2004), avaliaram a remoção de cor e a degradação do corante reativo por meio de um eletrodo macro-filme de TiO₂, observando que após 20 min. De fotoeletrocatalise com um potencial de 1,0 V em baixa concentração de tintura a remoção da cor era de 100%, observou-se ainda que os melhores meios para remoção do NaCl do banho foi em pH >10 e o Na₂SO₄ foi em pH 6.

PEARCE et al. (2003), investigaram a remoção da cor de águas de correntes efluentes têxteis utilizando bactérias, demonstrando o grande potencial deste tipo de tratamento na remoção de corantes Azo, presente no efluente têxtil. Eles relatam que para baixas condições anaeróbicas, neste sistema podem alcançar remoção total da cor com curto tempo de exposição.

KOYUNCU (2002), estudou a remoção de corante e sal por nanofiltração, os efeitos de concentração e a velocidade de fluxo, de forma a reciclar os corantes e o sal filtrado. Observou-se que em concentrações de sal fixas o fluxo diminuiu com o aumento da concentração dos corantes e a remoção da cor diminui com o aumento da concentração de sal.

BOWEN et al. (1998), apresentam uma base teórica na determinação de membranas de nanofiltração para fluxos aquosos contendo corantes e sal. Eles relatam que os melhores métodos atualmente disponível estão baseados no uso da equação de Nernst-Plank, caracterizando a membrana em termos dos raios de poros efetivos (r_p), onde relaciona a densidade de custo efetivo e a relação de densidade de membrana efetiva para a porosidade de membrana. Segundo BOWEN et al. (1998), quando as gamas de tais parâmetros para

membranas de nanofiltração comercialmente disponíveis forem conhecidas, será possível usar o método numérico e escolher melhor a membrana para cada processo particularmente.

Por exemplo, se a exigência for à remoção de sal, escolhe-se uma membrana com baixo valor de X_d (custo de membrana efetivo) e baixo valor de A_x/A_k (densidade da membrana efetiva/ porosidade efetiva da membrana), e quando a exigência for à remoção de cor, então se utiliza membranas com alto valor de r_p e um alto valor de X_d .

2.8 Reuso da Água nas Indústrias Têxteis

Segundo MORELL, ROSELL e SANCHES (1996), à medida que a disponibilidade de água de qualidade se reduz e a legislação dos países industrializados fica mais restrita no tocante a carga contaminante dos efluentes, torna-se cada vez mais necessário o uso racional da água.

Duas importantes rotas podem contribuir para o uso racional da água:

- O aprimoramento técnico das novas máquinas, que permitam trabalhar com relações de banho cada vez menores, para diminuir o consumo de água e de outros reativos, e reduzir o gasto de energia;
- Redução nas instalações atuais se os banhos de tingimento forem reutilizados tantas vezes quantas forem possíveis, uma vez que sua qualidade não afete desfavoravelmente o resultado do tingimento.

O trabalho realizado pelos autores supracitados resultou da realização de vários processos de tingimento com corantes diretos, tinas, reativos e ao enxofre, sobre popeline de algodão 100%, em Jigger de laboratório. Estes ensaios tiveram a finalidade de alcançar um duplo objetivo: determinar a carga contaminante gerada em cada processo e estabelecer a possibilidade de reutilização dos efluentes.

Tabela 2.12- Resultados dos banhos de tingimento com Corantes Reativos.

Parâmetros	Unidades	Tintura		Enxágües		Ensaboamento		Enxágües		Fixado c/ amac.		Água
		Banho	Banho	Quente	Frio	Banho	Banho	Quente	Frio	Quente	Frio	
		Inicial	Final			Inicial	Final					
pH	---	12,86	12,36	11,79	10,73	7,81	9,56	9,38	8,47	7,64	6,31	7,19
Condutividade	MS	63	39,9	19,7	10,8	3,12	6,7	5,4	3,51	3,09	3,78	3,1
M.E.S.	mg/L	42,6	879,6	474,0	244,6	4,9	29,3	62	17,5	72,9	87,6	0
S.T.	mg/L	60085	37580	17499	7983	1848	4264	2665	2009	1881	2141	1715
D.Q.O	mg O ₂ /L	1975	1247	527	463	279	391	359	92	479	229	36
NaOH	mg/L	3320	540	0	0	---	---	---	---	---	---	---
Na ₂ CO ₃	mg/L	10490	7897	4410	2016	---	---	---	---	---	---	---
Corante	mg/L	3000	428	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Esgotamento	%	86	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: MORELL, 1996.

Através dos dados da Tabela 2.12 pode-se concluir que os banhos residuais dos tingimentos com corantes reativos são os que apresentam maiores dificuldades para sua reutilização, devido à presença do corante hidrolizado, não sendo possível o seu aproveitamento, além de diminuir a qualidade do tingimento.

No caso do banho de enxágüe a quente é citado a possibilidade de ser reutilizado para a mesma operação, se seu conteúdo de corante for suficientemente baixo. Em contrapartida, as possibilidades de reutilização da água de enxágüe a frio são maiores, ainda que só uma vez, e para tingimentos com os mesmos corantes.

Pelos mesmos motivos descritos acima, os autores não aconselham a reutilização do banho de ensaboamento, salvo quando observarmos que sua coloração é suficientemente baixa. A reutilização da água de enxágüe a quente posterior ao ensaboamento pode ocorrer para realizar outro ensaboamento e em enxágüe a frio em processo contracorrente.

O banho residual da fixação e do amaciamento pode ser reutilizado para a mesma operação, sendo necessário, em alguns casos, realizar a sua filtragem depois de várias operações. Finalmente, apresenta-se as possibilidades de economia de água com os corantes reativos neste tipo de processo (popeline 100% algodão tinto em jigger) podendo chegar a uma faixa de 25% a 30% do consumo.

Segundo NIETO (2000), se os efluentes das indústrias têxteis apresentarem sistemas de tratamento corretamente dimensionados e operados, não causam impacto ambiental significativo. Mas ressalta, que no processo industrial, algumas modificações (tecnologias mais limpas) podem ser introduzidas, de modo a resultar na utilização de menos quantidade de água e geração de efluentes líquidos menos contaminantes. Estes efluentes se submetidos aos processos usuais de tratamento, acrescidos de unidades de tratamento terciário (avançado), muitas vezes poderão ser recirculados para o processo produtivo, “*o que já é feito por algumas empresas do setor têxtil*”. Como por exemplo é o caso de uma empresa que recircula cerca de 10m³/h de efluente para o processo produtivo após o efluente ser submetido a acerto de pH, equalização, dosagem de nutrientes, sistema de lodos ativados e um tratamento terciário constituído de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Na Dinamarca foi montada uma pequena fábrica de acordo com o estudo de recuperação e reuso de água do processo de tingimento de corantes reativos no tingimento de algodão realizado por WENZEL et al. (1995). Neste trabalho são apresentadas as experiências com recuperação de reuso no tingimento de algodão com corantes reativos utilizando técnicas de precipitação química, filtração por membrana, adsorção com carvão ativado e condensação/evaporação. É apresentada uma solução geral, baseado na tecnologia de membranas, para as águas de lavagem e adsorção com carvão ativado para o banho de tingimento. A solução inclui o reuso da água quente em lavagens, reuso da sobra da filtração das correntes efluentes em digestores anaeróbios, e reuso da água do banho de tingimento e sais.

Segundo WENZEL et al. (1995), a solução seria de separar a água do processo de tingimento e lavagem em dois tipos de águas: o banho de tingimento mais o primeiro enxágüe, e o segundo a água dos enxágües. Sugere-se que o banho de tingimento seja recuperado pela adsorção do corante e os sólidos totais em carvão ativado. É proposta a reutilização da água de tingimento recuperada, incluindo o conteúdo do sal, o que parece possível nos estudos realizados em nível piloto. De acordo com o autor o valor do sal contido no banho de tingimento é igual ao preço da recuperação, tornando a solução economicamente viável.

Quanto às águas de enxágües, WENZEL et al. (1995) sugerem que as receitas de enxágüe possam ser alteradas de forma a eliminar agentes dispersantes e complexantes

completamente, desde que o pré-tratamento seja bem desempenhado e que água pura (sem sais que provoquem espuma) seja usada para o enxágüe.

A água de enxágüe pode ser recuperada por Nanofiltração ou Osmose Reversa e reutilizada para fins de enxágüe. A operação a 90°C mostrou-se praticável gerando fluxos muito altos e permitindo a recuperação e a reutilização direta de água quente sem troca suplementar de calor. A reutilização de água quente acelera o processo de enxágüe praticamente duas vezes a mais comparada á receita convencional, aumentando substancialmente, desta forma, a capacidade de produção do equipamento. Uma avaliação do ciclo de vida demonstrou que são grandes os melhoramentos ambientais por meio desta nova rota baseada em recuperação e reutilização de água por filtração em membrana. Os corantes residuais provenientes da filtração em membrana são degradados em digestão anaeróbica sem influência negativa no desempenho do digester.

Em FARIA (2004), apresenta uma sugestão de reuso das correntes de efluentes aquosos em refinarias de petróleo, onde segundo FARIA (2004), a relação de volume de água bruta por volume de petróleo processado é elevada. Em seu trabalho FARIA (2004) apresenta oito modelos matemáticos objetivando o consumo mínimo de água e o mínimo custo envolvido, considerando diversas opções características do reuso de efluentes aquosos, criando desde redes simples até redes mais complexas.

FARIA (2004) realizou um estudo de caso de uma refinaria de petróleo constituída de seis operações que usam água e três processos regenerativos, estando presentes quatro grupos de contaminantes. Neste estudo FARIA (2004) obteve a redução de 76,82% no consumo de água e 64,68% no custo operacional.

MELO (2004) apresenta um algoritmo computacional para a determinação das possibilidades de reuso das correntes efluentes da etapa de lavagem no processo têxtil. Em seu artigo, é apresentado um estudo de caso de lavanderia contínua com três caixas, onde está presente uma corrente de reciclo.

Segundo MELO (2004), o programa computacional foi desenvolvido no ambiente Matlab (Matricial Laboratory), possui uma interface amigável com o usuário, permitindo que o mesmo seja assistido na entrada de dados, no acompanhamento do processamento e na escolha dos relatórios de dados da etapa pós-processamento. Os dados numéricos são transformados em gráficos para sua melhor compreensão, sendo esta etapa de visualização

dos dados uma parte importante na simulação, pois facilita a rápida verificação da tendência dos dados pelo operador.

Em sua conclusão MELO (2004) coloca que o programa computacional desenvolvido permite a simulação das concentrações transientes das diferentes caixas do lavador contínuo, constituindo-se em uma importante ferramenta para a definição de estratégias de otimização para o reuso de água na Indústria têxtil.

De acordo com MATTIO (1999), o reuso de efluentes líquidos industriais pode ser otimizado através da utilização de oxidantes específicos como oxigênio, peróxido de hidrogênio e o ozônio, usados independentemente ou de forma combinada podem atingir os níveis compatíveis para a finalidade determinada. A otimização através da oxidação avançada permite maximizar o custo global do tratamento. No entanto, devido à complexidade dos rejeitos industriais é necessário um estudo aprofundado caso a caso através de ensaios de laboratório e de planta piloto.

MATTIO (1999) destaca que existem diferentes critérios de classificação para a água de acordo com a finalidade requerida:

- Reuso: A água é utilizada mais de uma vez dentro da planta;
- Reciclagem: A água é recuperada e reutilizada no mesmo processo;
- Reaproveitamento: a água é recuperada e reutilizada em processo diferente da origem, normalmente em quantidades menores e qualidade inferior.

Segundo MATTIO (1999), a indústrias que não necessitam de água de processo com qualidade potável são as que têm maior potencial para o reaproveitamento. O autor apresenta várias técnicas de oxidação química objetivando eliminar compostos poluentes presentes nos efluentes, obtendo como produtos finais CO_2 e H_2O .

As principais aplicações são:

- Eliminação de cor;
- Eliminação de matéria orgânica;
- Desinfecção;
- Oxidação de sulfetos;
- Oxidação de tensoativos;
- Oxidação de pesticidas;
- Oxidação de fenol;
- Oxidação de cianetos e nitritos.

Em sua conclusão MATTIO (1999) diz que a utilização de compostos oxidantes como o oxigênio, peróxido de hidrogênio ou o ozônio permitem otimizar os sistemas de tratamento de efluentes que visam o reuso/reciclo da água industrial complementando tecnologias convencionais, com a vantagem de não gerar subprodutos que prejudiquem o reaproveitamento.

Um denominador comum entre estas tecnologias reside na facilidade de combinação entre elas, permitindo uma flexibilidade importante na remoção dos poluentes, através de unidades modulares, acrescenta MATTIO (1999).

JIRARATANANON et al. (2000), investigaram o desempenho de membranas de nanofiltração em efluentes têxteis, onde as concentrações de sais e corantes são elevados. Eles utilizaram membranas carregadas negativamente e membranas neutras. A membrana neutra exibiu uma retenção de corante mais alta do que as membranas carregadas negativamente, porém as membranas carregadas reterão mais sal, observando-se também um declínio de fluxo, principalmente causado pela pressão osmótica, sendo destacado que este tipo de aplicação na indústria tem-se mostrado atraente, porém sugere testes mais detalhados nesta área antes de sua aplicação na indústria.

No presente trabalho será investigado as alternativas de reuso de água no processo de tingimento de fibras de algodão com corantes reativos. O trabalho de pesquisa será direcionado à determinação dos efeitos do reuso de água do processo na qualidade do substrato tingido.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados o material utilizado no desenvolvimento deste projeto incluindo os principais reagentes e equipamentos, assim como a metodologia empregada para a elaboração dos ensaios experimentais.

3.1 Material

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados substratos têxteis e produtos auxiliares de mesma procedência garantindo a reprodutibilidade do processo.

Substrato

O tecido de algodão utilizado para estes testes é composto de fio 30/1 cardado do fornecedor Integrada S/A, com uma gramatura de 160 g/m² e já preparado para tingir (pré-alvejado).

Corantes

Os corantes Amarelo e Vermelho utilizados são da marca Yorkcheire (reativos bifuncionais) e o Corante Preto é da Marca Dyestar do Brasil (reativo monofuncional), sendo a relação de corantes apresentados a seguir:

Amarelo Intracron 3RL;

Vermelho Intracron 3SR;

Preto Remazol B;

Produtos auxiliares

Cloreto de Sódio: marca Diana com índice de dureza de 5° d (89 mg/L Ca_2CO_3);

Dispersante: Sidertex DS 208, produto a base de ácido acrílico com poder de dispersão de 10.000 mg/L de dureza (cálcio e magnésio);

Carbonato de Sódio (Barrilha): álcali na forma de pó fornecido pela ALCALIS DO BRASIL com pureza de 99,5%;

Hidróxido de Sódio (Soda Cáustica): álcali na forma líquido fornecido pela DECUSA S/A a uma concentração de 50% a 50° Bé.

Equipamentos

Os tingimentos foram realizados em máquina de tingir em escala laboratorial, com capacidade de 12 tubos, ou seja, 12 tingimentos simultâneos, da marca Kimak modelo LT 1 RP, com controlador WEST 4400.

Na Figura 3.1 é apresentada a máquina de tingimento em escala laboratorial utilizada para realização dos tingimentos deste trabalho.



Figura 3.1 - Equipamento de laboratório utilizado para o tingimento.

Para titulação dos corantes nos banhos de tingimento foi utilizada uma pipeta eletrônica de 10ml e precisão de 0,01 mL, da marca Rainin modelo EDP Plus.

A cor do substrato foi avaliada por um espectrofotômetro da marca X-Ride mod. CA 22 e software Hélios versão 3.0 utilizando a fórmula CMC.

A concentração de corante no banho foi avaliada por espectrofotometria através do aparelho da Metrolab mod. 1700.

O teor de sólidos totais como sal e corantes foi feito utilizando-se uma balança da marca Marte e uma estufa da marca Fanem modelo 315 SE.

A análise de pH dos banhos foi realizada através do aparelho da marca Micronal modelo B 474.

3.2 Metodologia

Os tingimentos foram realizados em escala laboratorial, procurando trabalhar o mais próximo possível da realidade da produção, e utilizando corantes da Classe Reativos bi-funcional e como substrato foi utilizado tecido de meia malha 100% algodão.

Todas as soluções dos banhos de tingimento coletados e os substratos têxteis tingidos foram analisados. No substrato têxtil foi verificada a tonalidade com relação ao padrão da cor tingida em paralelo com o teste, utilizando limites de tolerância iguais aos utilizados para padrões de exportação, conforme norma La02-0010-02. O substrato tingido é dobrado quatro vezes e colocado sob o aparelho onde são feitas duas medições consecutivas, sendo os resultados apresentados em função da variação da tonalidade (ΔE) e intensidade da cor, tomando como base o padrão apresentado.

A análise de pH das amostras coletadas dos banhos de tingimento, foram realizadas ajustando-se a temperatura do equipamento com as dos banhos de tingimento e calibrado o equipamento com as soluções pH 7 e 4. Após esta etapa o eletrodo foi introduzido nas soluções para a realização das medidas. Método preconizado pelo Standard Methods for Examination of water and wastewater, eletrometricamente por eletrodo de vidro combinado em ph-metro com precisão de +/- 0,1 unidade de pH.

A leitura da absorvância dos banhos de tingimento no espectrofotômetro é realizada no comprimento de onda de máxima absorvância, o procedimento é descrito da seguinte forma: ligar o aparelho e ajustar o comprimento de onda específico para cada corante (a curva de absorvância deverá já estar pronta e introduzida no equipamento).

As leituras para cada banho de tingimento foram realizadas nas concentrações originais das cores claras e médias (bege e laranja) e com diluições de 10 a 20% para os banhos de cores escuras (marinho).

Na determinação de Sólidos Totais os resultados são expressos em mg/L. Inicialmente tara-se até peso constante as cápsulas de porcelana, submetidas à temperatura de 110°C (cápsulas vazias). Após a adição de 10 ml dos banhos de tingimento a serem analisados, estas são postas em Banho Maria para evaporar a água dos banhos. Após a evaporação da água, levar as cápsulas de porcelana à estufa à 110°C por 20 min. Esfriar até a temperatura ambiente em dessecador e pesar em balança analítica com precisão de 10^{-4} g. Retornar a cápsula à estufa nas mesmas condições até peso constante. A diferença entre cápsula mais amostra e cápsula vazia é o teor de sólidos totais (corante mais sal). Metodologia preconizada pelo Standard Methods for Examination of water and wastewater, por gravimetria após evaporação da amostras em banho Maria expresso em mg/L.

Os testes de solidez a lavagem das amostras foram feitas da seguinte forma: recortar da amostra de tecido em teste uma amostra de 100mm x 40mm conforme norma NBR 10187, e costurar os tecidos testemunhas nos dois lados da amostra. Em seguida coloca-se o tecido em um recipiente contendo solução de sabão padrão. O recipiente é aquecido a 60°C, a mostra é tratada por 20 min. a 60° C. Após o processo de lavação a mostra é enxaguada 2 vezes com água destilada a temperatura ambiente, espreme-se a amostra para remover o excesso de água, abre-se à costura nos dois lados maiores e um dos lados menores e seca-se a amostra.

Após seca a amostra é realizada a avaliação de transferência de cor da amostra para os tecidos testemunhas com o auxílio de da escala cinza, conforme normas NBR 8429 e NBR 8430 ou com a leitura no espectrofotômetro (norma La02-0002-00).

Neste trabalho foram utilizadas três cores básicas: cor clara (Bege) com um total de 0,036 % de corante, cor média (Laranja) com um total de 1,34 % de corante e uma cor escura (Marinho) com um total de 2,46% de corante reativo no tingimento.

Preparação dos corantes e produtos auxiliares para o tingimento

Para o tingimento das amostras em laboratório procedeu-se da seguinte forma: os corantes e produtos auxiliares são diluídos em água destilada em uma relação de 1:10 e alíquotas destas soluções foram pipetadas conforme as concentrações descritas na Tabela 3.1.

A R.B. (relação de banho) utilizada para o tingimento das amostras foi de 1:8, ou seja, 5 gramas do substrato para 40 ml de banho.

Preparação dos substratos têxteis para o tingimento

Cortam-se as amostras de tecido de malha de algodão designada para estes testes em tamanho tal que fiquem um pouco acima de 5 gramas, a seguir as amostras são pesadas e acertado o peso até chegarem em 5 gramas. As amostras são numeradas de acordo com o tipo de água utilizada.

Preparação dos banhos de tingimento

Inicialmente, separa-se os canecos de tingimento colocando-se a quantidade de água necessária, pipeta-se os produtos auxiliares, o pH é ajustado para que fique em torno de 6,5 com ácido acético, em seguida é pipetado o corante, homogeneizado a solução e introduzido o substrato. Fecha-se o caneco e coloca-se no equipamento que é aquecido até 60°C, após 30 min. rodando a 60°C é adicionado o álcali (Barrilha e ou Hidróxido de Sódio), após 45 min. a 60°C a amostra é retirada e colocada no fluxo de lavagem.

Na Figura 3.2 é apresentado o material utilizado para o tingimento das amostras, como, o substrato, produtos auxiliares, corantes e pipeta eletrônica..



Figura 3.2 - Material utilizado no laboratório para o processo de tingimento.

Padronização das amostras utilizadas

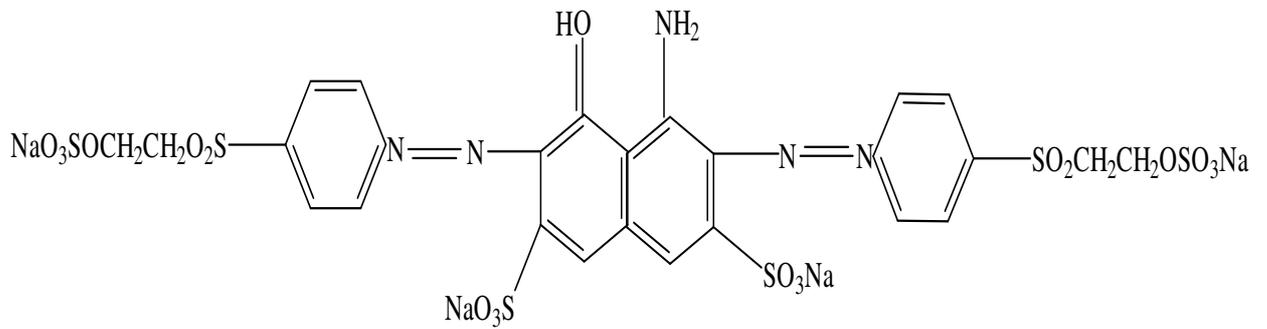
Como foi descrito, foram utilizadas três diferentes cores no tingimento, sendo elas nas cores clara, média e escura. Na Tabela 3.1 estão descritas as receitas padrões utilizadas para o tingimento das cores, apresentando a concentração utilizada dos corantes e dos produtos auxiliares de cada cor selecionada.

Tabela 3.1: Receitas padrões das cores selecionadas

Cores	Bege	Laranja	Marinho
Corantes (%)			
D - Amarelo Intracron 3RL	0,036	1,16	0,18
D - Vermelho Intracron 3SR	0,000	0,18	0,28
D - Preto Intracron B	0,000	0,00	2,00
Produtos Auxiliares (g/L)			
A – Dispersante	1,50	1,50	1,50
B - Cloreto de sódio	10,00	60,00	70,00
C - Carbonato de sódio	4,00	5,00	5,00
C - Hidróxido de sódio	0,00	1,50	2,00
Produtos p/ Lavação (g/L)			
E - Ácido acético	0,20	0,30	0,30
F - Dispersante de Lavação	0,00	1,00	1,00
F - Dispersante de Lavação	0,00	0,00	1,00

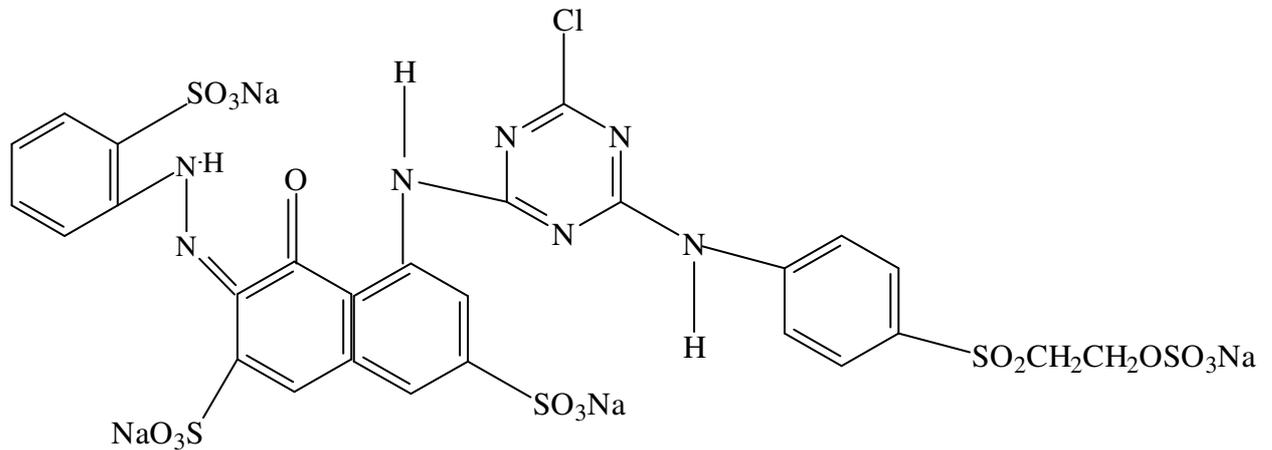
Estrutura Química dos Corantes utilizados

As estruturas moleculares dos corantes utilizados estão descritas na Figura 3.3



Preto Remazol B

CI REACTIVE BLACK 5 - 2(p-aminofenilsulfonil) Etanol Éter Sulfato R



Vermelho Intracron 3SR

CI REACTIVE RED 195 - Mono Cloro Triazina

Figura 3.3 – Fórmula estrutural dos corantes utilizados

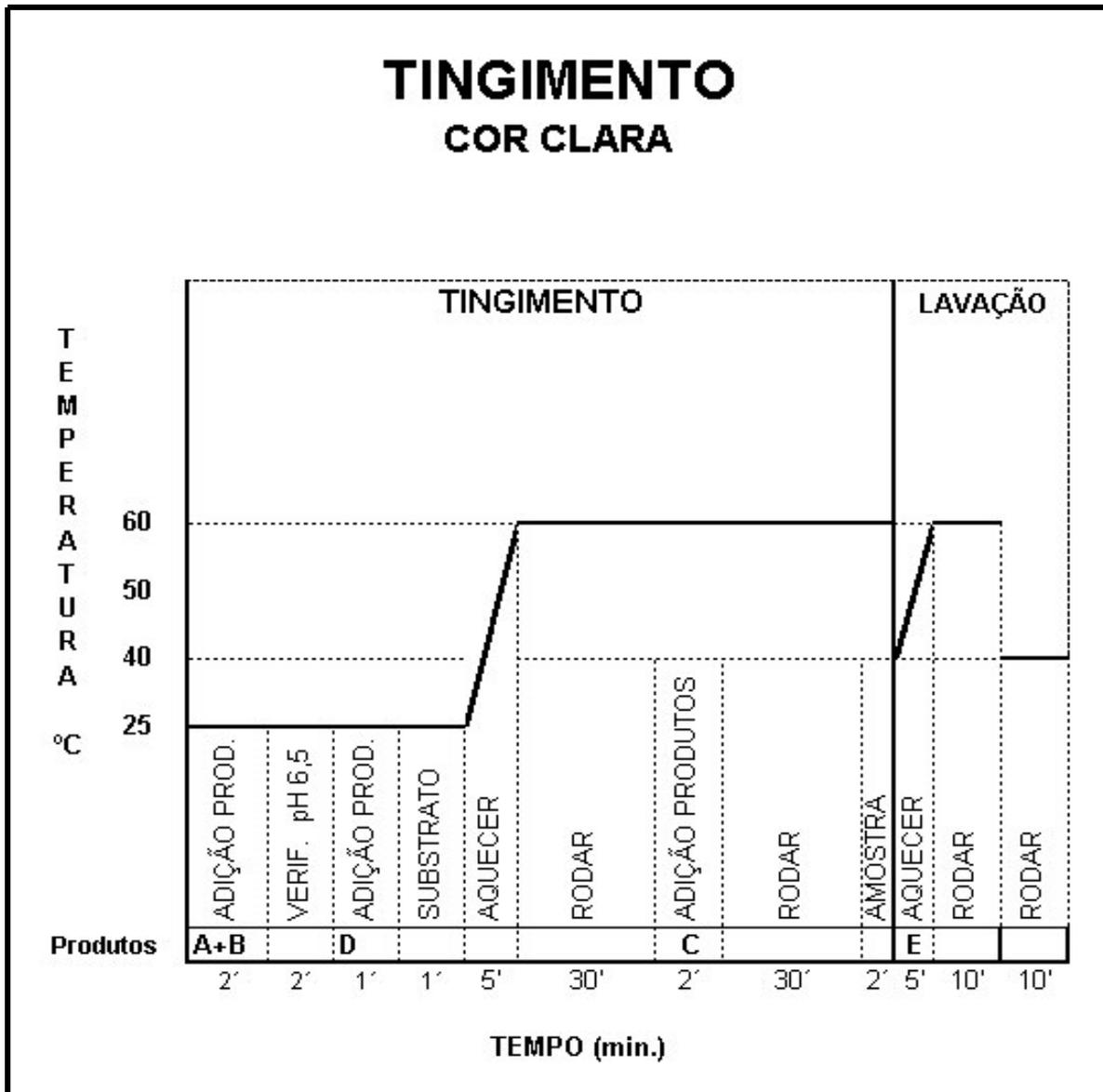
A estrutura do corante Amarelo Intracron 3RL não foi encontrada na literatura consultada. No Color Index CI 145 são apresentadas as seguintes informações compiladas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Dados obtidos do Corante Amarelo Intracron 3RL – C.I. 145.

C.I. Amarelo Reativo	145
Classe química	Monoazo
Cor Luz do dia Luz artificial (tungstênio)	Amarelo avermelhado
Tingimento Celulose	Métodos por esgotamento ou pad-bad com carbonato de sódio e uréia, fixado por cozinhamento ou vaporização
Estamparia	Estampagem direta com carbonato de sódio e alginato neutro, fixado por vaporização.
Propriedades de Solidez Fibra Método Luz Alvejamento com peróxido Transpiração Lavação	 Algodão ISSO 6 – 7 4 – 5 4 4 – 5
Outras Propriedades Descarregamento Efeito de metais - Cobre Ferro	 descarregamento para branco 3 3 – 4
Nota	Boa solubilidade em água, satisfatório para rugas, resiste aos Acabamentos

Fonte: Colour Index Industrial, 1996.

Nas Figuras 3.4 a 3.6 estão esquematizados os gráficos de tingimento e lavação das cores clara, média e escura.



A = Dispersante

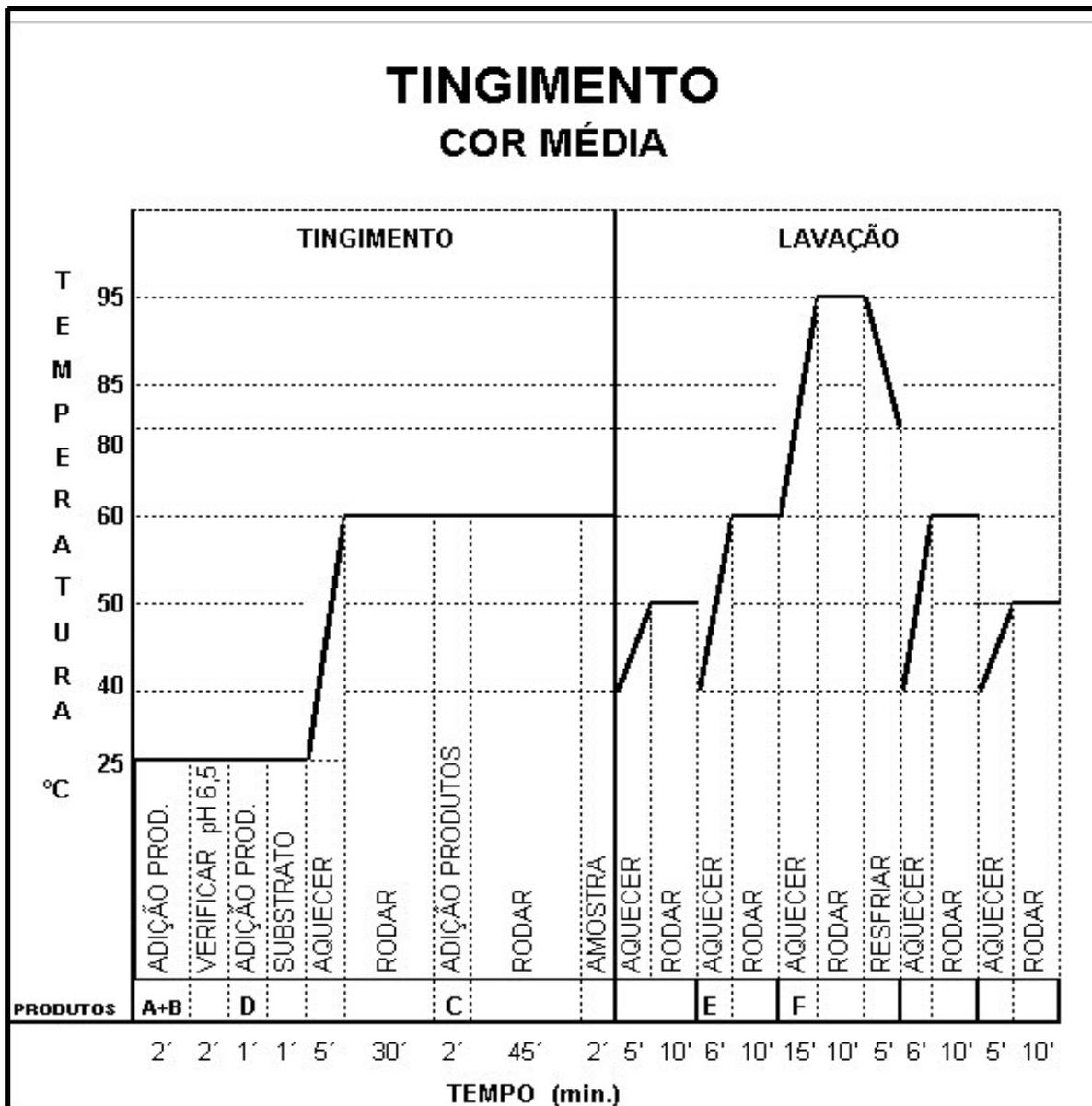
D = Corante

B = Cloreto de Sódio

E = Ácido Acético

C = Carbonato de Sódio

Figura 3.4 - Gráfico de Tingimento e Lavagem: Cor Clara – Bege



A = Dispersante

D = Corante

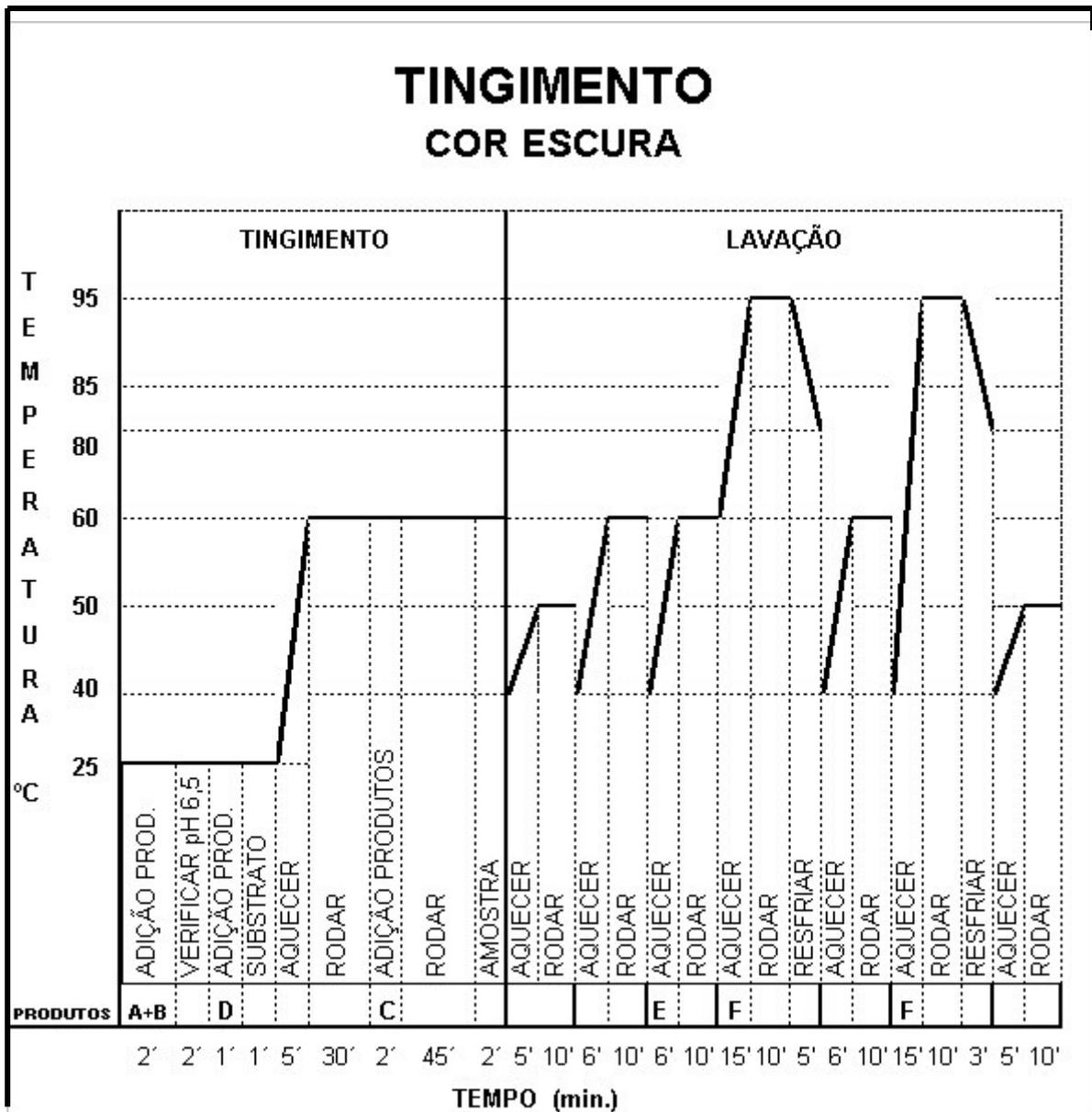
B = Cloreto de Sódio

E = Ácido Acético

C = Carbonato de Sódio

F = Dispersante de Lavação

Figura 3.5 - Gráfico de Tingimento e Lavação: Cor Média – Laranja



A = Dispersante

D = Corante

B = Cloreto de Sódio

E = Ácido Acético

C = Carbonato de Sódio

F = Dispersante de Lavação

Figura 3.6 - Gráfico de Tingimento e Lavação: Cor Escura – Marinho

3.3 Plano de Coleta das Amostras

Neste trabalho foram coletadas amostras das correntes de efluentes dos processos de tingimento e lavação, em suas diversas etapas assim como dos substratos têxteis, conforme plano de amostragem a seguir.

Tingimento e lavação utilizando receita padrão.

No esquema do processo de tingimento, lavação e coleta das amostras padrões a anotação Ei refere-se às correntes de efluentes líquidas e AMi às amostras do substrato têxtil após o final do processo de tingimento e lavação.

Os tingimentos e enxágües das amostras padrões (cor Clara, Média e Escura), foram realizadas com água da E.T.A. em duplicatas de 10, ou seja, foram realizados 10 tingimentos simultâneos, coletado todos os banhos e unificados sendo armazenados em um único recipiente. O banho de tingimento foi analisado e armazenado para o reuso. O mesmo foi realizado com o processo de lavação. Das 10 amostras (substratos tingidos) obtidas de cada cor, foram analisadas a variação de tonalidade (ΔE) e intensidade de cor, onde o ΔE teve uma variação de + 0,1 e a intensidade de cor de +/- 1%.

Conforme a norma interna da Lancaster La02-0010-02, o limite tolerado para aprovação das cores para exportação é com ΔE de no máximo 1,0 em CMC, e a variação da intensidade de cor de, no máximo, 5%.

No processo produtivo o valor de ΔE varia em torno de 0,3 a 0,6 em relação aos diversos lotes produzidos da mesma cor em artigos para exportação ou de exigência máxima, podendo a chegar até 1,5 em artigos para o mercado nacional (exigência média).

Nas Figuras 3.7 a 3.9 são apresentados esquematicamente os fluxogramas dos processos de tingimento e lavação para cores claras, médias e escuras, respectivamente.

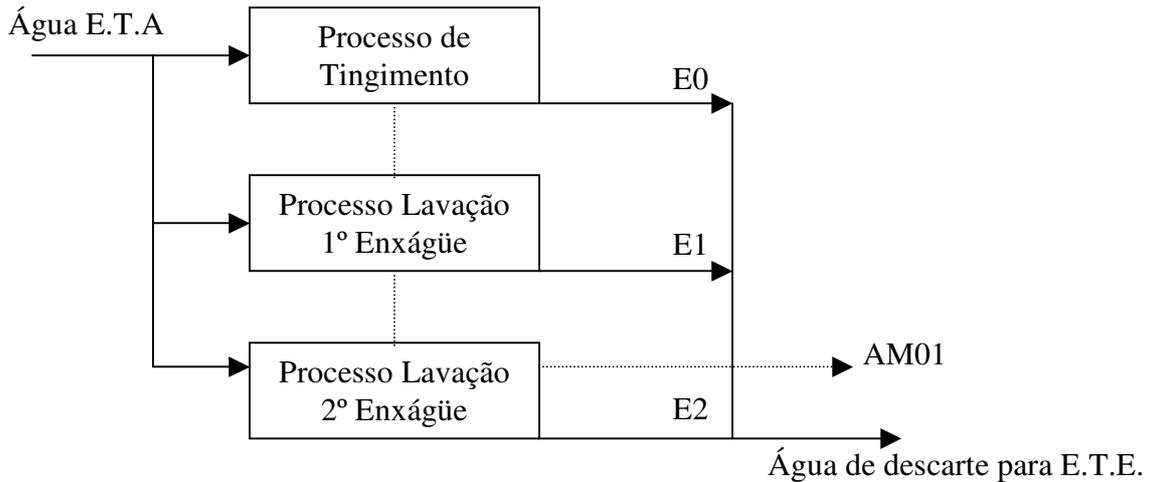


Figura 3.7 - Fluxograma Padrão do Tingimento da Cor Clara - Bege

No processo de tingimento da cor clara, conforme já citado, a R.B. (relação de banho) é de 1:8 (p/v), sendo a relação de volume de água (L) por massa de tecido de malha seco (kg) de 8 L/kg no 1º enxágüe e 8 L/kg no segundo enxágüe.

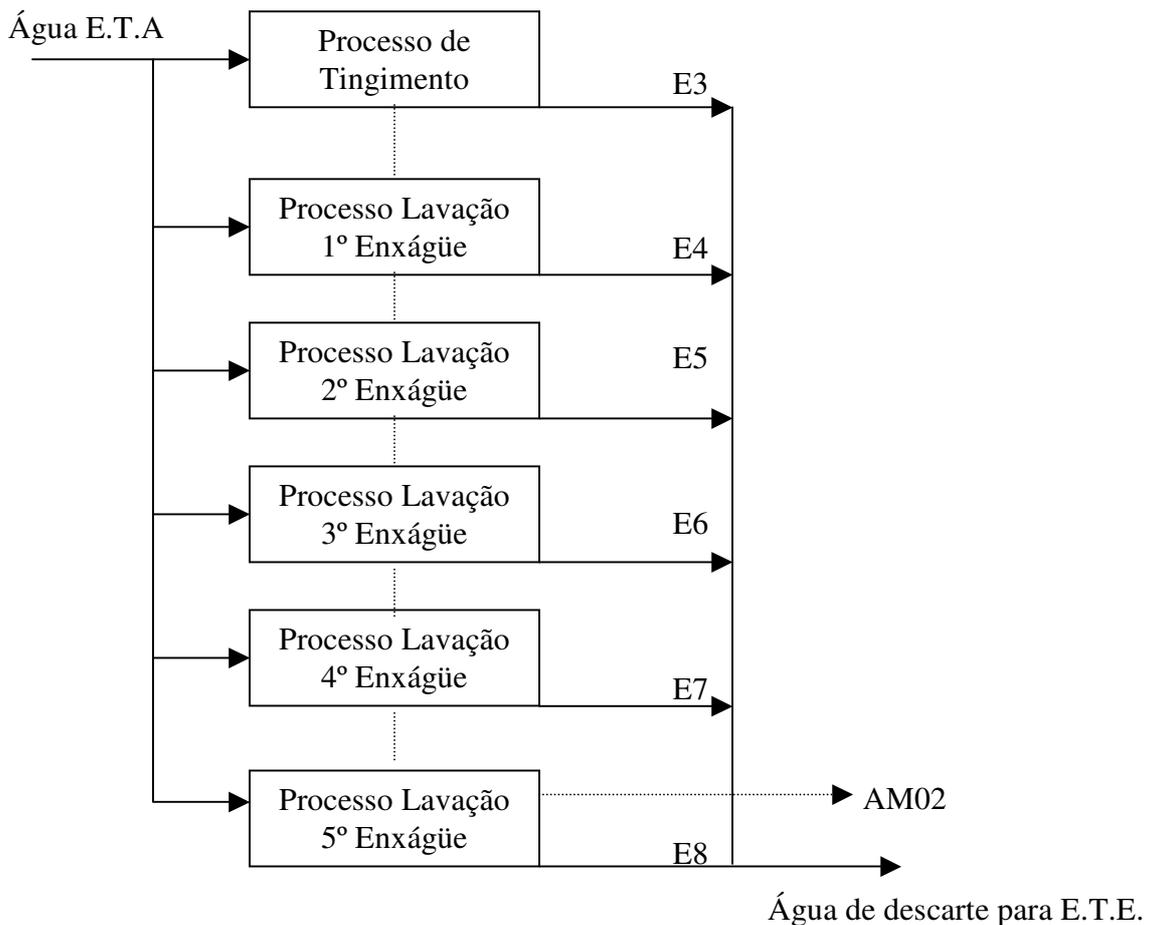


Figura 3.8 - Fluxograma Padrão do Tingimento da Cor Média - Laranja

No processo de lavação da Cor Média o volume de água por massa de tecido seco é de 8 L/kg, do 1º ao 5º enxágüe, respectivamente.

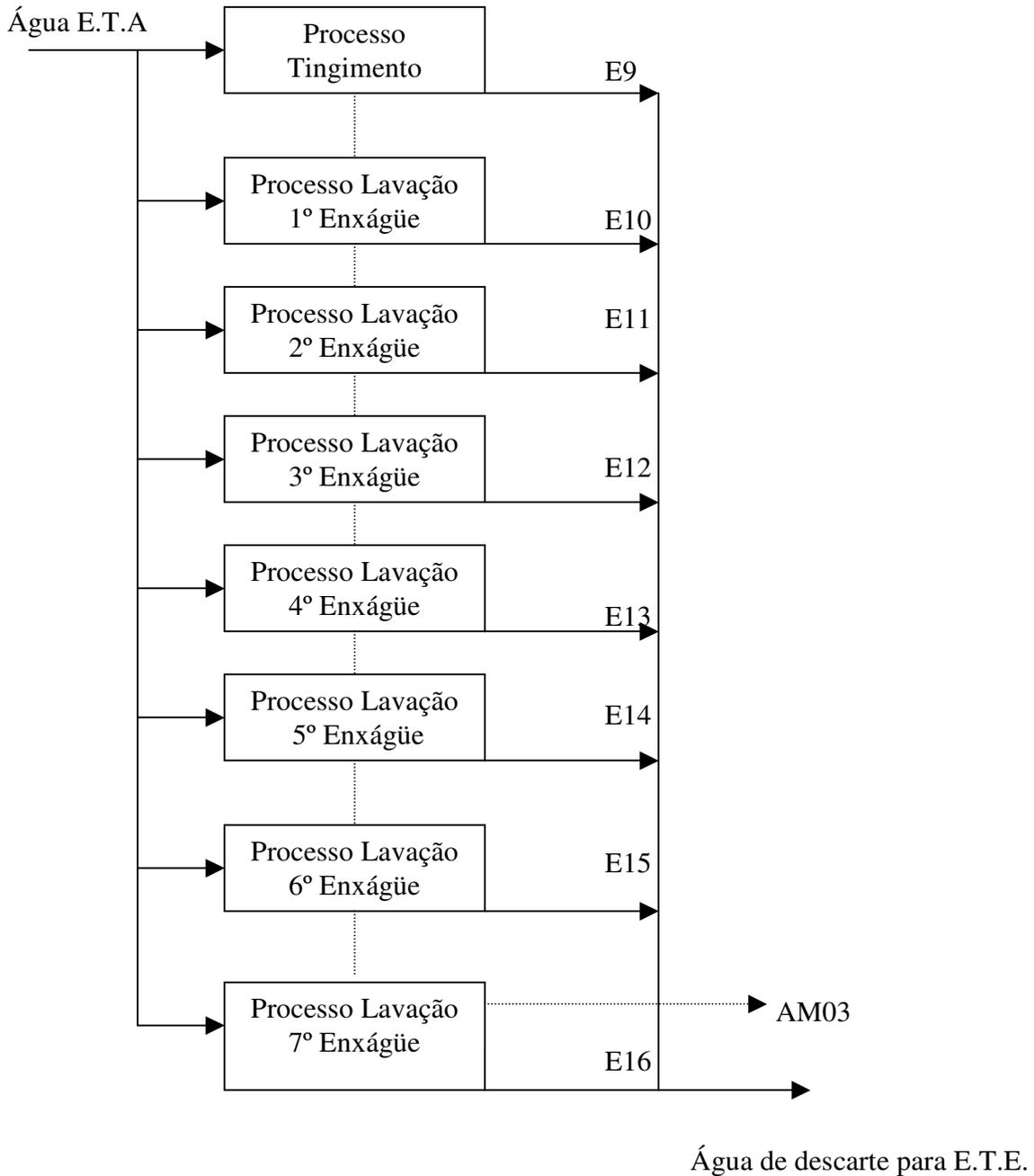


Figura 3.9 - Fluxograma Padrão do Tingimento da Cor Escura - Marinho

No processo de lavagem da Cor Escura, o volume de água por massa de tecido de malha seco é de 8 L/kg, do 1º ao 7º enxágüe, respectivamente.

Esquema do fluxo de reuso das águas de tingimento, lavação e coletas das amostras

Os esquemas de tingimento e lavação envolvendo o reuso de água são apresentados nas Figuras 3.10 a 3.18, onde as amostras dos substratos após o tingimento, são lavados com água da E.T.A., conforme procedimento descrito nas Figuras 3.7 a 3.9, respeitando as intensidades de cor.

Como podemos observar nas Figuras 3.10 a 3.18, a água utilizada para o tingimento destas amostras (AM04 a AM20) são decorrentes das correntes efluentes do processo de tingimento e lavação de suas respectivas cores, ou seja, das correntes efluentes E0 a E16.

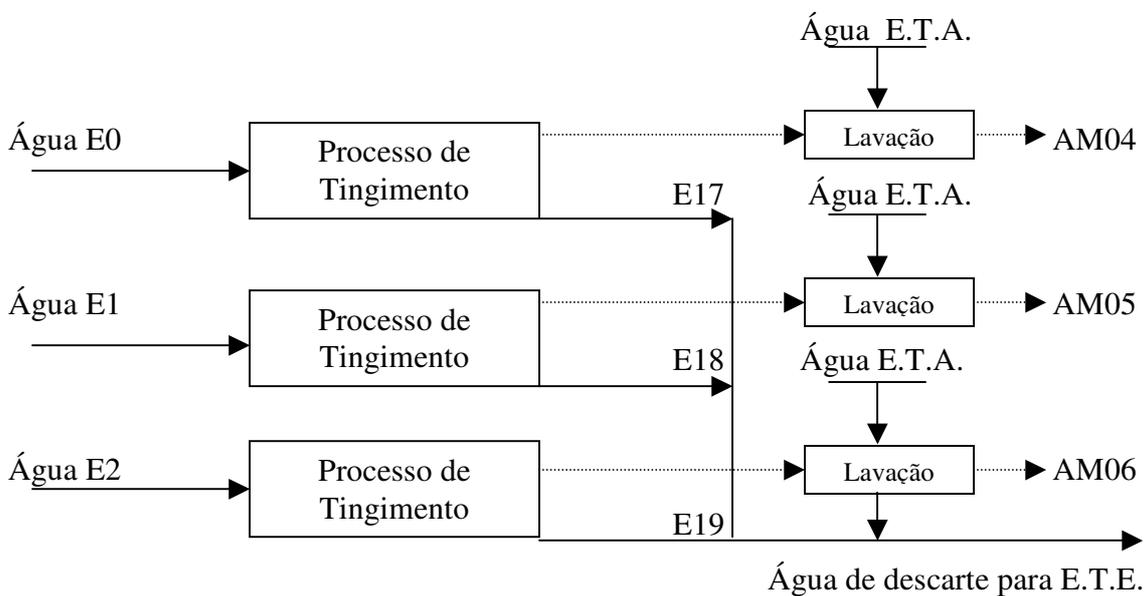


Figura 3.10 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Cor Clara – Bege.

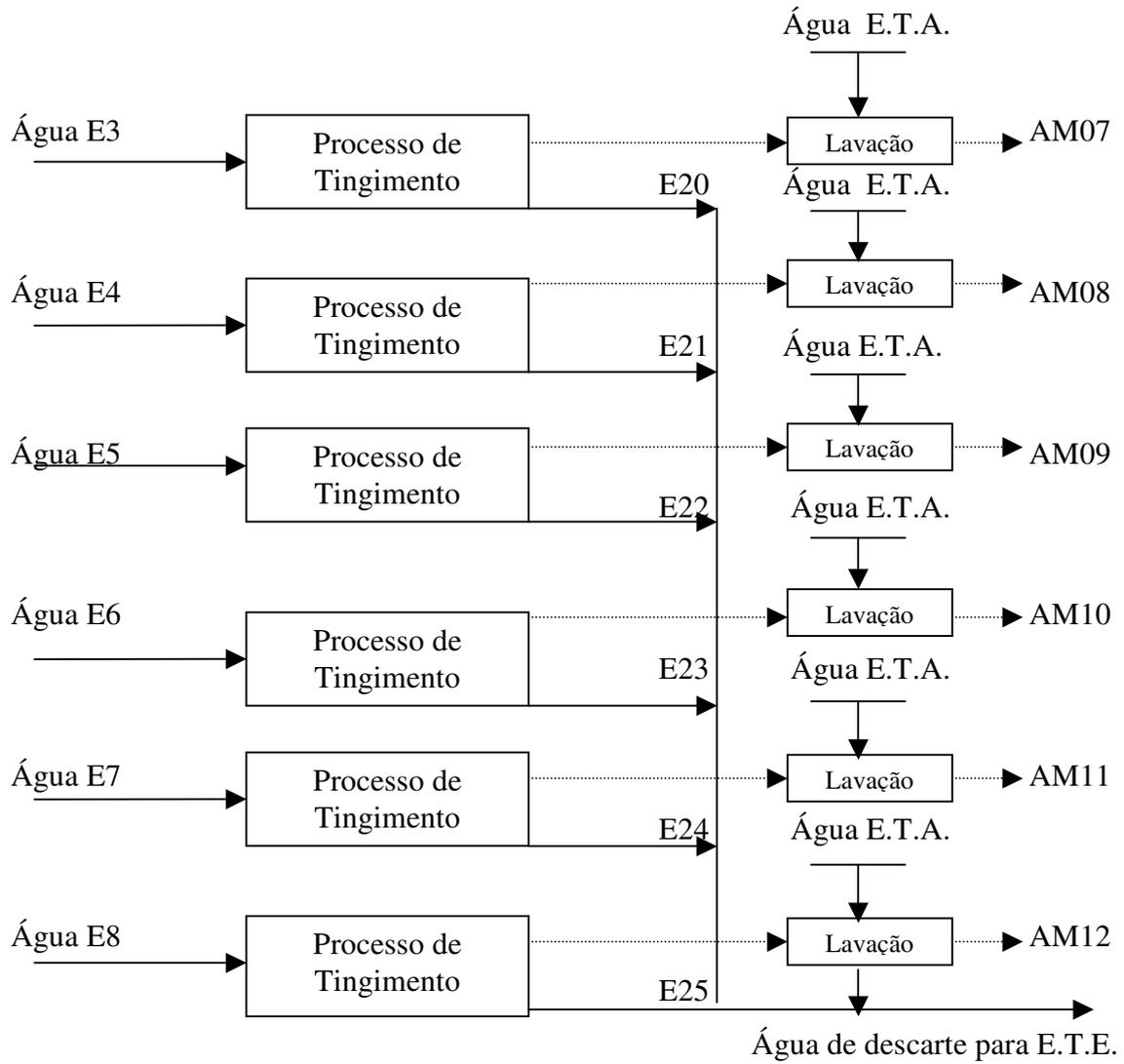


Figura 3.11 – Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Cor Média – Laranja.

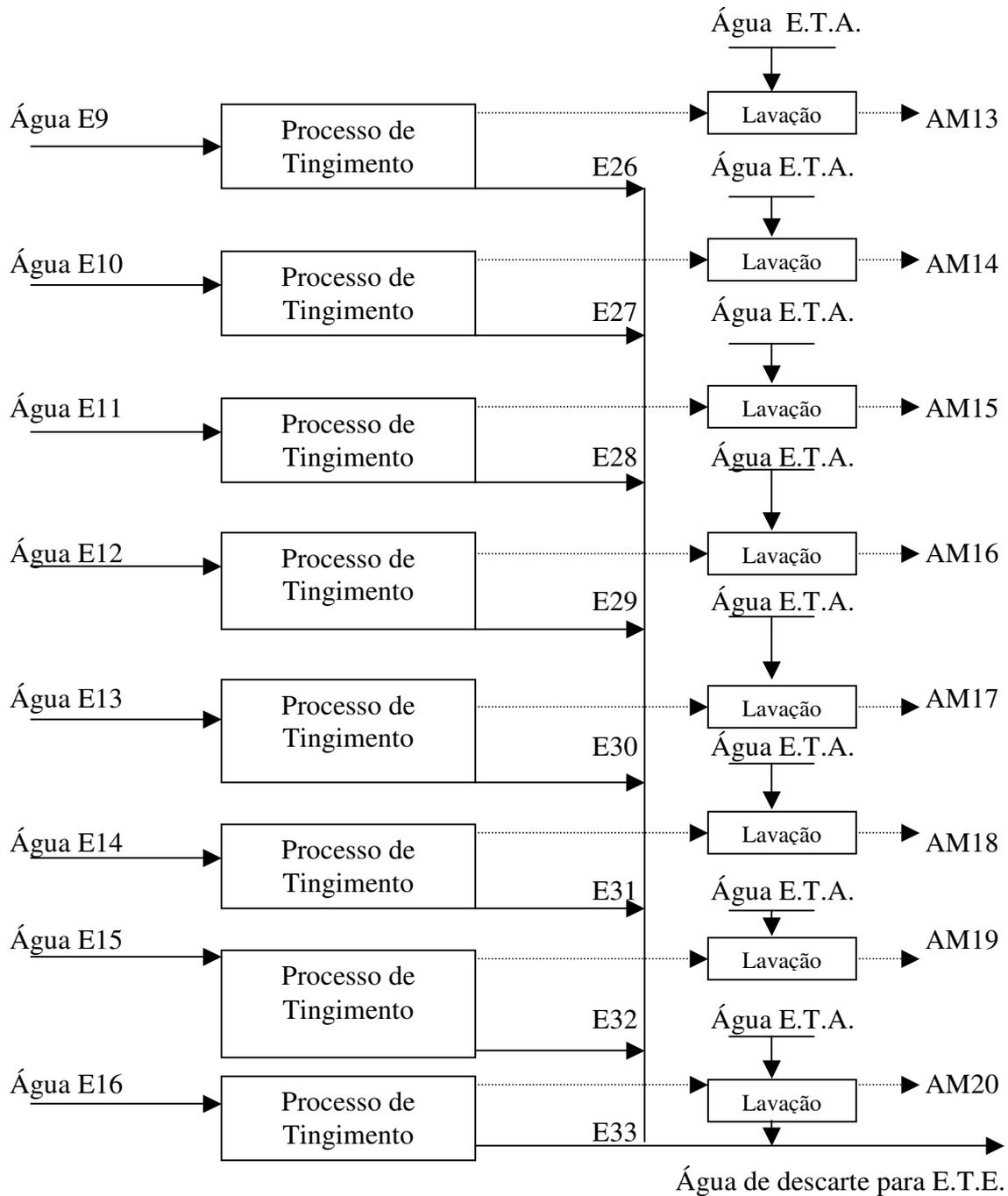


Figura 3.12 – Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Cor Escura – Marinho.

Esquema do fluxo de reuso dos banhos de tingimento e 1º enxágüe com diluição com Água da E.T.A.

Objetivando-se melhorar as condições de reuso das águas das correntes efluentes dos banhos de tingimento e 1º enxágüe, estas correntes foram diluídas com água da E.T.A. e analisado o substrato tingido.

Nas Figuras 3.13 e 3.14 são apresentados os fluxos de reuso das águas de tingimento e 1º enxágüe da Cor Clara diluídos com a água da E.T.E.

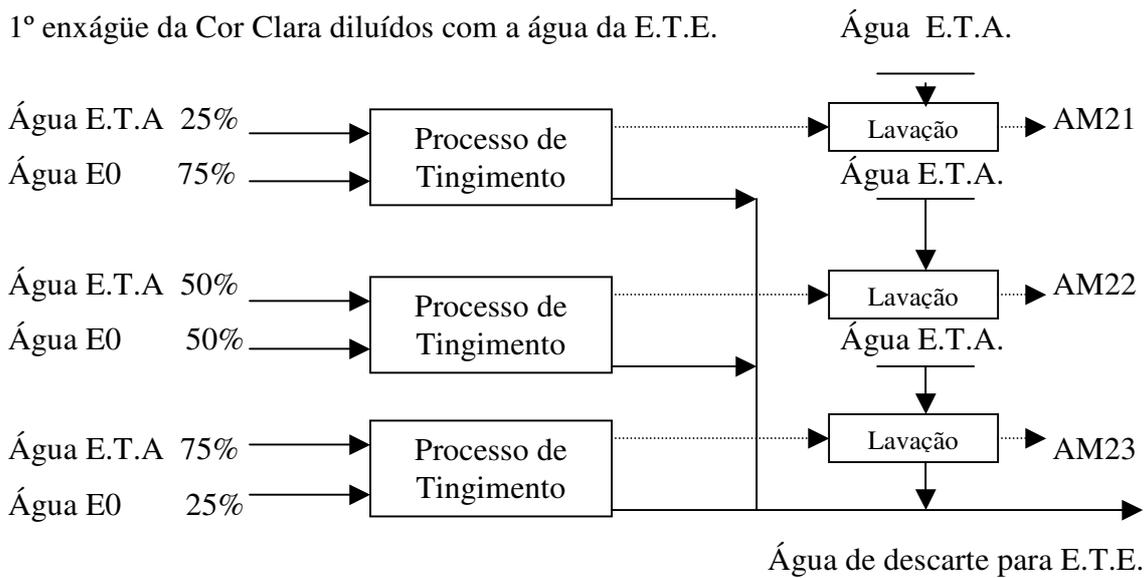


Figura 3.13 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte do tingimento com a água da E.T.A. (Cor Clara).

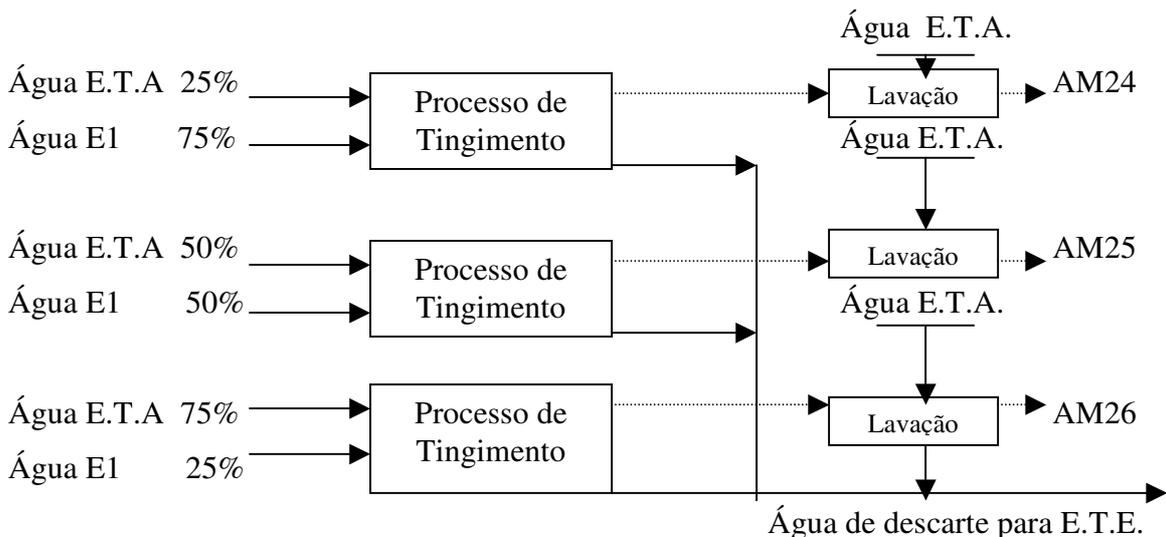


Figura 3.14 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte da 1ª lavagem com a água da E.T.A. (Cor Clara).

Nas Figuras 3.15 e 3.16 são apresentados os fluxos de reuso das águas de tingimento e 1º enxágüe da Cor Média diluídos com a água da E.T.E.

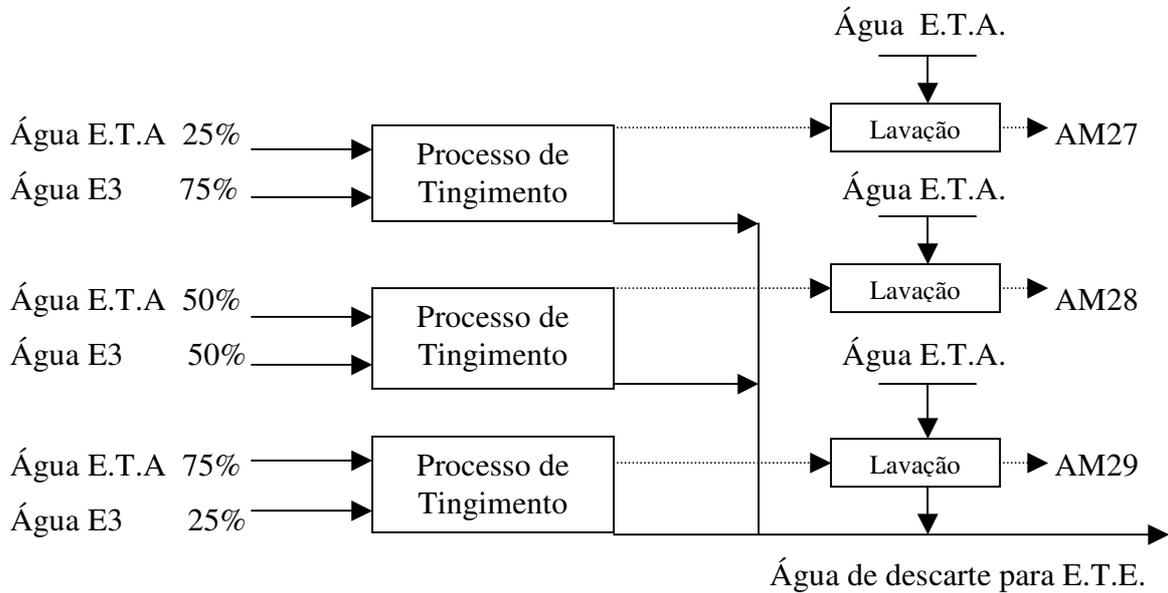


Figura 3.15 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte do tingimento com a água da E.T.A. (Cor Média).

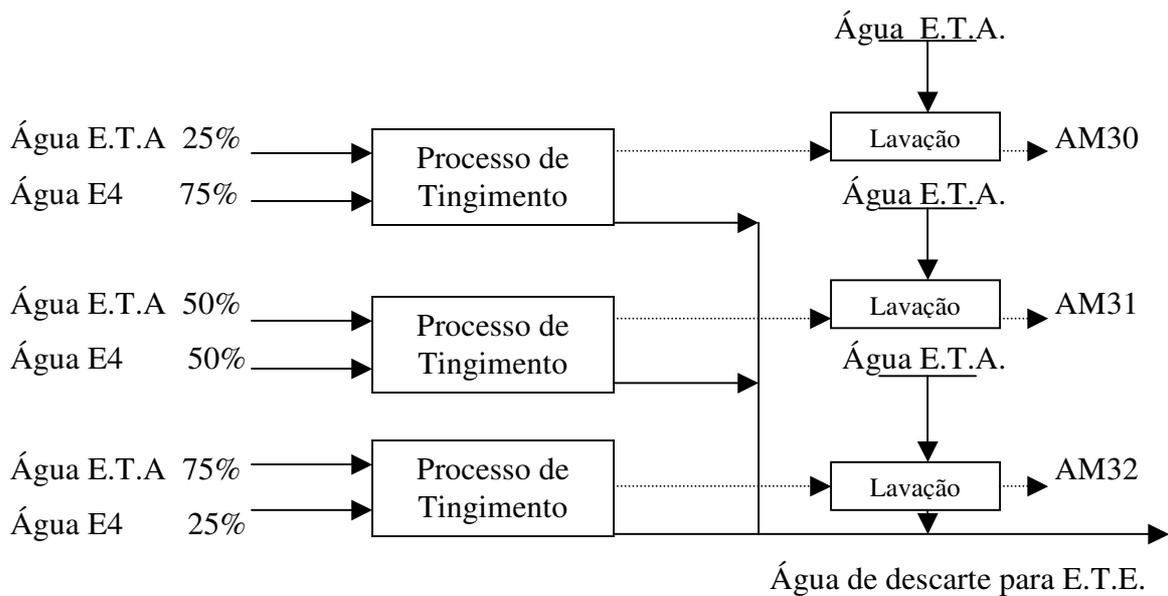


Figura 3.16 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte da 1ª lavagem com a água da E.T.A. (Cor Média).

Nas Figuras 3.17 e 3.18 são apresentados os fluxos de reuso das águas de tingimento e 1º enxágüe da Cor Escura diluídos com a água da E.T.E.

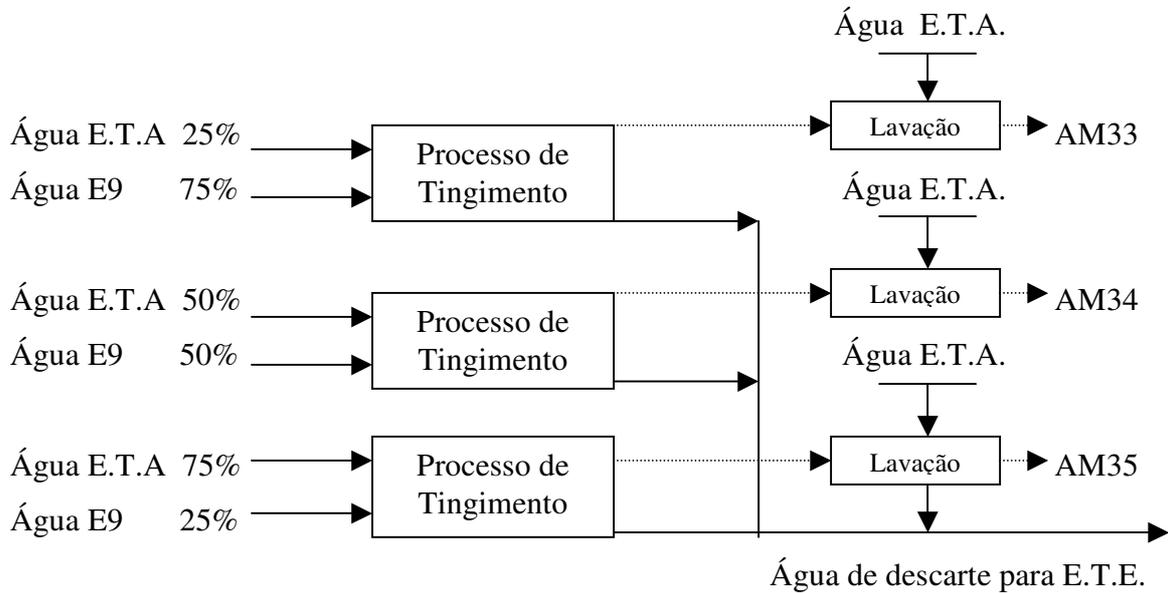


Figura 3.17 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte do banho de tingimento com a água da E.T.A. (Cor Escura).

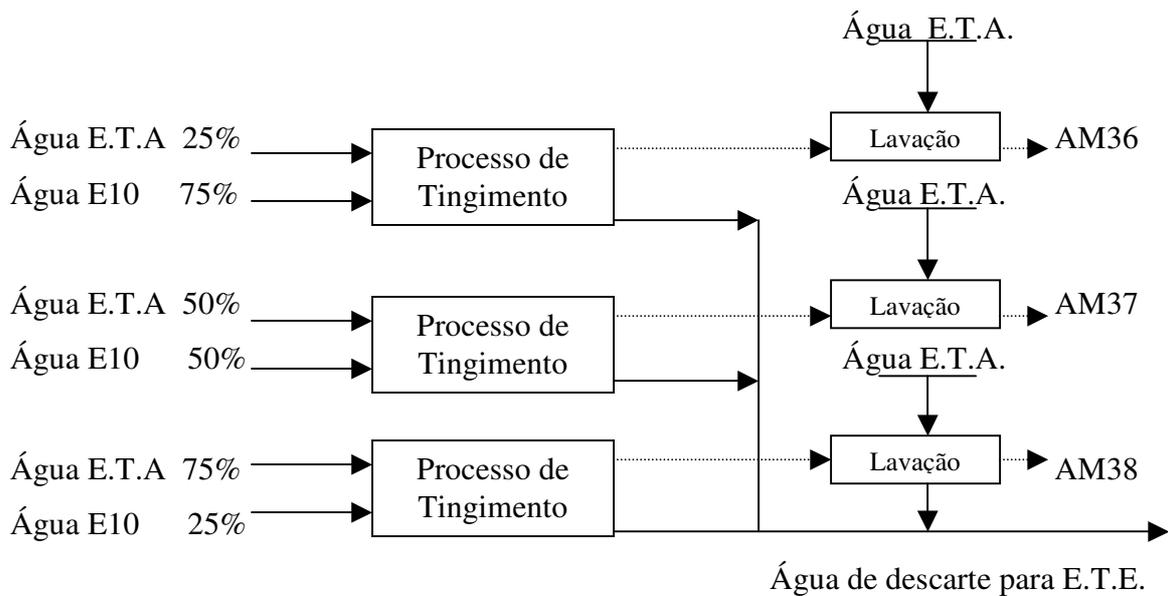


Figura 3.18 - Fluxograma do Reuso das Correntes Aquosas: Água do banho de descarte da 1ª lavagem com a água da E.T.A. (Cor Escura).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentado e discutido os principais resultados obtidos neste trabalho, incluindo a caracterização dos efluentes e substratos das cores Clara, Média e Escura.

As amostras dos banhos de tingimento foram coletadas após cada etapa do processo de tingimento e lavação, ou seja, antes de se efetuar o descarte do banho de cada etapa do processo, conforme descrito no capítulo anterior.

4.1 Curva de Calibração dos Corantes utilizados

As curvas de calibração dos corantes reativos utilizados no desenvolvimento deste trabalho (amarelo, vermelho e preto) são apresentadas no apêndice, sendo obtidas nos comprimentos de onda 414, 544 e 594 nm, respectivamente.

4.2 - Cor Clara - Bege

Na Figura 4.4 é apresentado de forma esquemática as condições operacionais do processo de tingimento e lavação da Cor Clara.

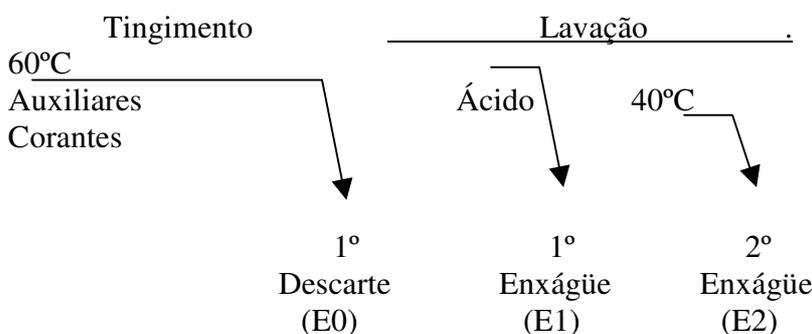


Figura 4.4 - Tingimento e Lavação da Cor Clara

Tabela 4.2 - Análise da água dos descartes e enxágües da Cor Clara

Descarte/Enxágües	E0	E1	E2
pH	10,5	6,7	7,0
Condutividade (mS/cm)	17300	2512	205
Sólidos Totais (mg/L)	14200	1310	280
Absorbância (A)			
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	0,395	0,189	0,102

Os resultados apresentados na Tabela 4.2 se referem ao tingimento padrão, ou seja, utilizando água da E.T.A. (Estação de Tratamento de Água) e a receita padrão da cor Bege.

Os banhos foram coletados em cada etapa do processo, neutralizados com ácido clorídrico (quando necessário) e reutilizados 100% para outro tingimento, se adicionando ao banho de tingimento as mesmas quantidades de auxiliares, com exceção do banho proveniente do 1º tingimento, em que após a neutralização, a densidade do banho foi ajustada conforme a receita padrão, com o objetivo de se reutilizar o sal do banho de tingimento anterior. Os banhos utilizados para o reuso foram neutralizados com ácido clorídrico devido ao fato de que ao se utilizar o ácido acético para neutralização do banho de tingimento (E09) a amostra tingida com este banho (AM13) apresentou um decréscimo de 40% na intensidade da cor.

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados da caracterização das correntes líquidas dos efluentes do processo de tingimento com reuso de água, para a Cor Clara. Na mesma tabela também são apresentados os resultados da avaliação do substrato tingido.

Tabela 4.3 - Análise da água dos descartes com 100% de reuso das águas (Cor Clara).

Descarte/Enxágües	E17	E18	E19
pH	10,8	6,1	7,2
Condutividade (mS/cm)	19430	3910	271
Sólidos Totais (mg/L)	15840	1388	324
Absorbância (A) / Amostra			
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	0,419	0,246	0,153
Variação da tonalidade (ΔE)	0,54	0,71	0,51
Intensidade da Cor (%)	95	99	100
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Na Tabela 4.3 foram incluídos os dados espectrofotométricos de ΔE e intensidade da cor, demonstrando a variação em relação ao padrão de cor (bege) e a amostra tingida com reuso das águas de descarte e enxágües do 1º tingimento. Os dados foram obtidos através da leitura do substrato têxtil 100% algodão no espectrofotômetro, salientando que o limite tolerado para aprovação das cores para exportação é com ΔE de no máximo 1,0 em CMC, e a variação da intensidade de cor de, no máximo, 5%.

Pode-se observar pelos resultados obtidos com a corrente E17 que esta apresenta um pH alcalino com elevado teor de sais, o que é comprovado pela elevada condutividade e teor de sólidos totais da solução.

Neste ensaio pode-se verificar que, apesar do desvio da cor com relação ao padrão ser a menor entre os três ensaios ($\Delta E = 0,54$), a intensidade de cor foi a mais baixa (95%), indicando uma menor fixação dos corantes no substrato.

Os resultados apresentados na Tabela 4.4 e 4.5 foram obtidos pela diluição das águas do 1º descarte do banho de tingimento e 1º enxágüe do banho de lavação, com a água da E.T.A. na proporção de 25%, 50% e 75%.

Tabela 4.4 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da E.T.A. (Cor Clara).

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E0 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM21	AM22	AM23
Variação da tonalidade (ΔE)	0,59	0,66	0,48
Intensidade da Cor (%)	97	101	97
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Tabela 4.5 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º enxágüe com água da E.T.A. (Cor Clara)

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E1 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM24	AM25	AM26
Variação da tonalidade (ΔE)	0,47	0,6	0,42
Intensidade da Cor (%)	95	97	99
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Nas Tabelas 4.4 e 4.5 pode-se verificar que nas misturas com 75% de água da E.T.E. e 25% da água de reuso obteve-se os melhores resultados de ΔE , porém para todas as opções de diluições apresentadas observa-se um bom resultado nos valores de ΔE e intensidade de cor.

A variação do pH nas correntes efluentes líquidas da Cor Clara é apresentada na Figura 4.5.

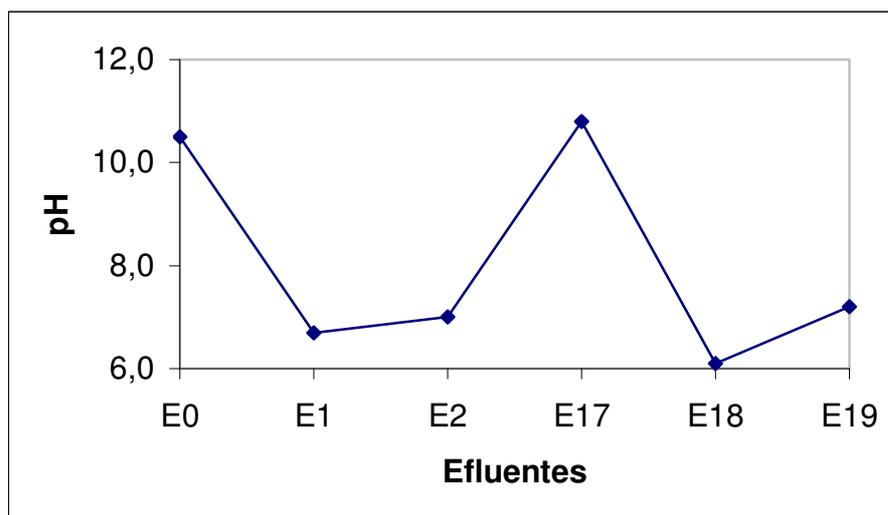


Figura 4.5 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

Na Figura 4.5 observa-se a alta alcalinidade do banho de tingimento, sendo em seguida estabilizada com a adição de ácido acético conforme receita de tingimento apresentada na Tabela 3.1.

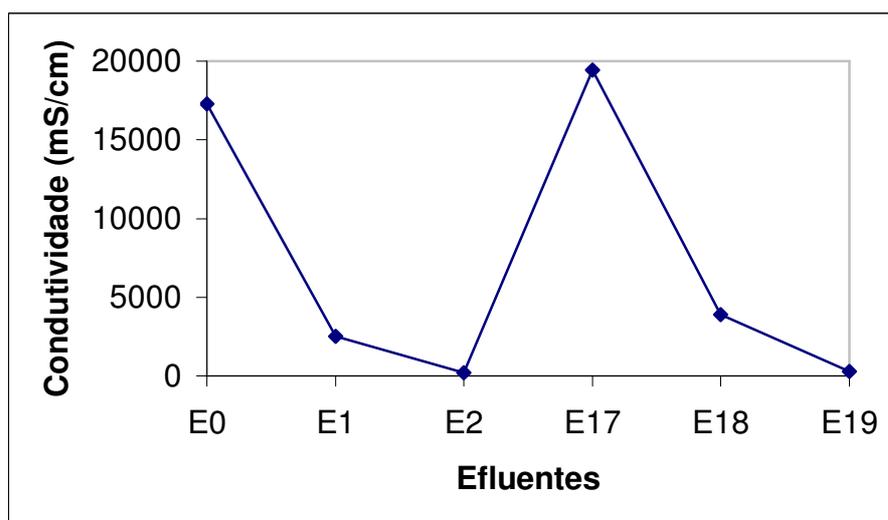


Figura 4.6 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

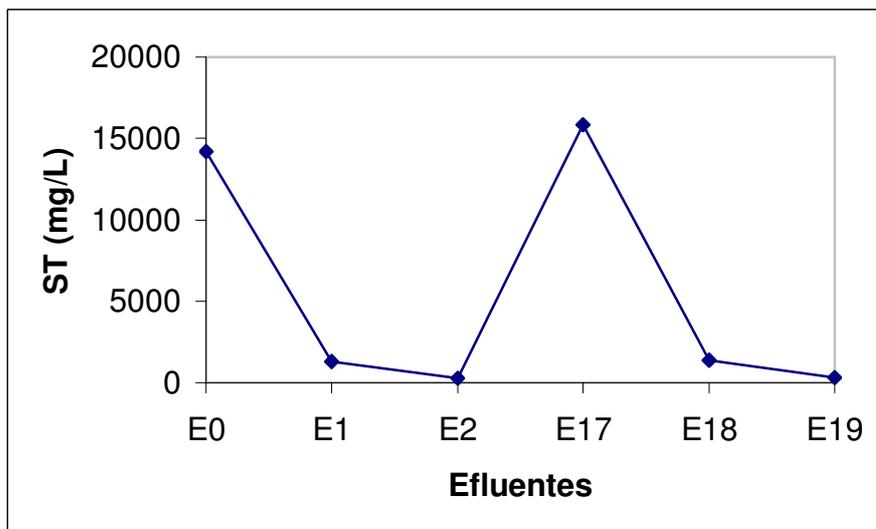


Figura 4.7 – Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

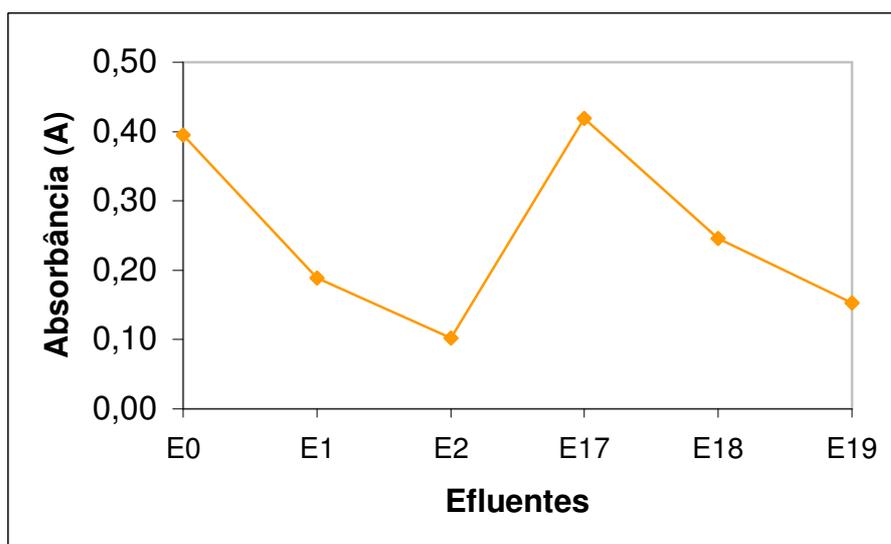


Figura 4.8 – Variação da absorbância conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

Nas Figuras 4.6 a 4.8 apresentam a mesma tendência dos resultados de condutividade, sólidos totais e absorbância, sendo máximos nas águas de descarte (E0 e E17) e decrescendo os valores com os sucessivos enxágües.

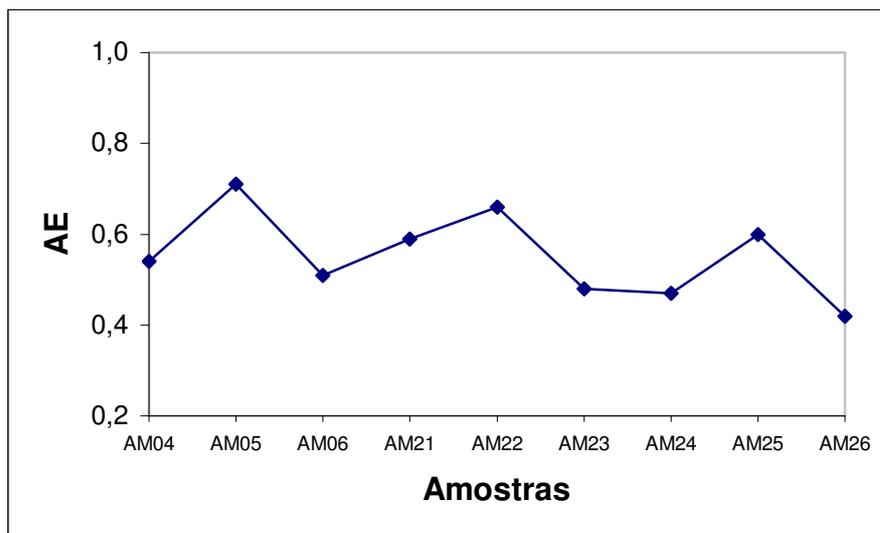


Figura 4.9 – Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

Na Figura 4.9 observa-se que os valores de AE (AM06, AM23 e AM26) decrescem com a diminuição dos valores de sólidos totais (E19) e com o aumento de diluição das correntes efluentes E0 e E1.

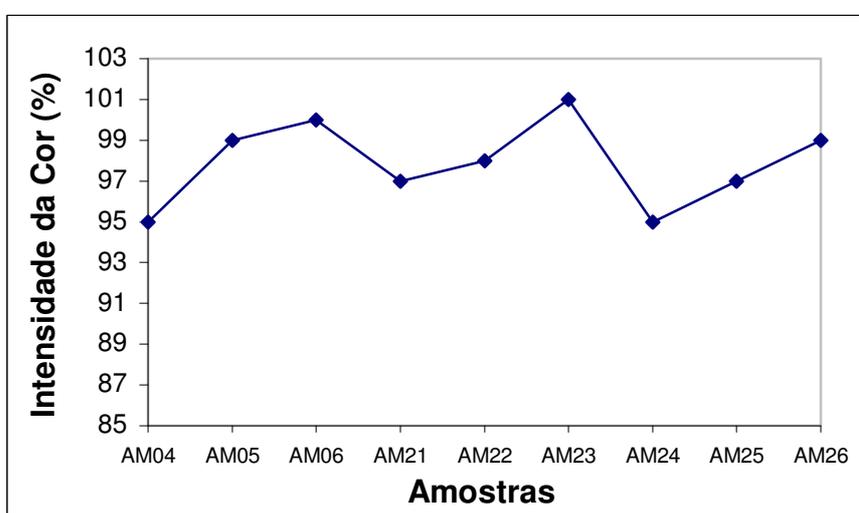


Figura 4.10 – Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Clara.

Na Figura 4.10 em conjunto com as Figuras 4.6 e 4.7 pode ser observado que a intensidade de cor diminui com o aumento dos sólidos totais e conseqüente aumento da condutividade, comportamento este observado nas amostras AM04, AM21 e AM24

comprovando esta hipótese. À medida que se utilizam correntes mais diluídas passa a ocorrer uma aproximação dos valores em relação à cor padrão.

4.3 - Cor Média - Laranja

As condições operacionais do processo de tingimento e lavação da cor média são ilustradas na Figura 4.11.

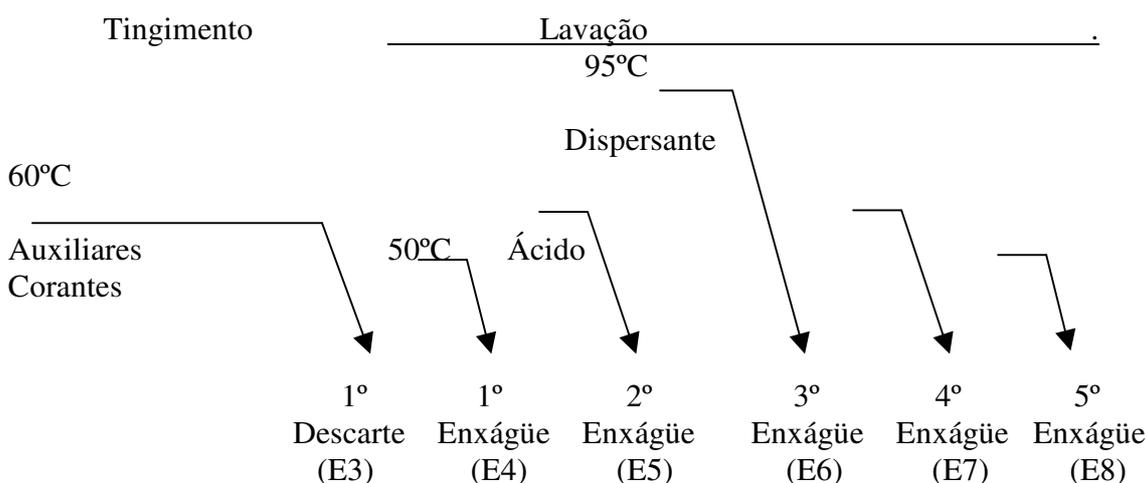


Figura 4.11 - Tingimento e Lavagem da cor Média

No tingimento da Cor Laranja, seguiu-se o mesmo processo realizado com a Cor Clara (Bege).

Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados referentes ao tingimento padrão da cor média (laranja), utilizando água da E.T.A. e a receita padrão da Cor Média (laranja) descrita no capítulo anterior.

Tabela 4.6 - Análise da água dos descartes e enxágües da Cor Média.

Descartes/Enxágües	E3	E4	E5	E6	E7	E8
pH	11,0	8,9	7,5	6,9	7,1	7,0
Condutividade (mS/cm)	94300	1512	1103	0,654	0,298	0,152
Sólidos Totais (mg/L)	62230	1870	890	710	260	120
Absorbância (A)						
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	1,170	0,229	0,763	1,120	0,287	0,101
Vermelho Intracron 3SR (544nm)	0,610	0,045	0,289	0,321	0,068	0,021

O banho de tingimento de cada etapa deste processo foi coletado, neutralizado com ácido clorídrico e reutilizado 100% para outro tingimento, adicionado-se ao banho de tingimento as mesmas quantidades de auxiliares da receita padrão, com exceção do banho proveniente do 1º tingimento, em que após a neutralização a densidade do banho foi ajustada conforme a receita padrão com o objetivo de se reutilizar o sal do banho de tingimento anterior.

Na Tabela 4.7 é apresentada a caracterização das correntes líquidas e dos substratos tingidos da Cor Média.

Tabela 4.7 - Análise da água dos descartes com 100% de reuso das águas (Cor Média).

Descarte/Enxágües	E20	E21	E22	E23	E24	E25
pH	11,9	8,2	7,2	6,8	7,4	7,2
Condutividade (mS/cm)	101151	1864	1356	0,801	0,331	0,178
Sólidos Totais (mg/L)	70430	1960	920	880	320	160
Absorbância (A) / Amostra	AM07	AM08	AM09	AM10	AM11	AM12
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	1,282	0,306	0,983	1,398	0,370	0,104
Vermelho Intracron 3SR (544nm)	0,668	0,051	0,325	0,373	0,077	0,026
Varição de tonalidade (ΔE)	0,75	0,35	0,22	0,26	0,35	0,28
Intensidade da Cor (%)	95	99	98	100	98	99
Aprovação	aceita	aceita	aceita	aceita	aceita	aceita
Solidez a lavagem	5	5	5	5	5	5

Na Tabela 4.7 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das correntes efluentes do processo de tingimento com reuso das águas de descarte do 1º tingimento.

Analisando as Tabela 4.6 e 4.7, observa-se que com o reuso das águas de descarte e enxágües ocorreu um aumento dos valores de condutividade e sólidos totais, porem estas condições não ultrapassaram as restrições de ΔE e intensidade de cor. Os valores de ΔE e intensidade de cor que estiveram mais próximos do limite de tolerância impostas (ΔE e intensidade da cor) são os das águas de reuso de descarte do tingimento e do 1º enxágüe.

As águas do 1º descarte e 1º enxágüe do tingimento padrão foram misturadas com água da E.T.A. nas proporções de 25% , 50% e 75%.

Na Tabela 4.8 são apresentados a relação de diluição da corrente E3 com água da E.T.A., e os resultados da análise do tingimento do substrato têxtil com o reuso de água

Tabela 4.8 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da E.T.A. (Cor Média)

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E3 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM27	AM28	AM29
Variação de tonalidade (ΔE)	0,72	0,27	0,29
Intensidade da Cor (%)	95	101	100
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Na Tabela 4.8 observa-se que com o aumento da diluição da água do 1º descarte com a água da E.T.A., os valores de ΔE e intensidade de cor ficam mais próximos dos padrões propostos. Por se tratar de uma cor um percentual maior de corante e eletrólito do que a Cor Clara, o reuso da água do tingimento (1º descarte) fica mais restrita.

Os resultados do reuso da corrente E4, diluída com água da E.T.A., no processo de tingimento são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º enxágüe com água da E.T.A. (Cor Média)

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E4 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM30	AM31	AM32
Variação de tonalidade (ΔE)	0,51	0,48	0,43
Intensidade da Cor (%)	99	100	101
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Observa-se na Tabela 4.9 que todos os valores de ΔE e intensidade de cor ficaram dentro das restrições impostas, os valores entre a máxima diluição e a diluição mínima estão bem próximas, o que indica a viabilidade de seu reuso.

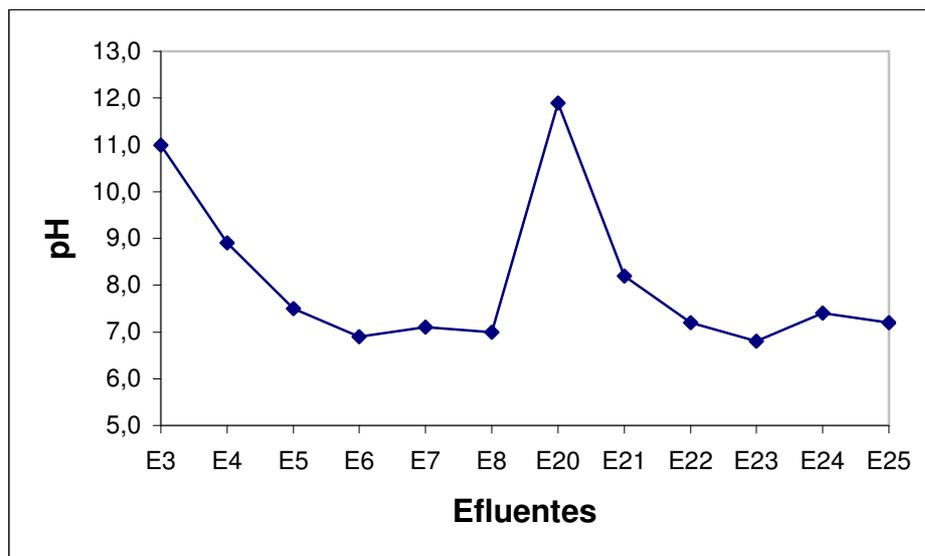


Figura 4.12 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Média.

Nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 observa-se que os valores de pH, condutividade e sólidos totais decrescem devidos os sucessivos enxágües.

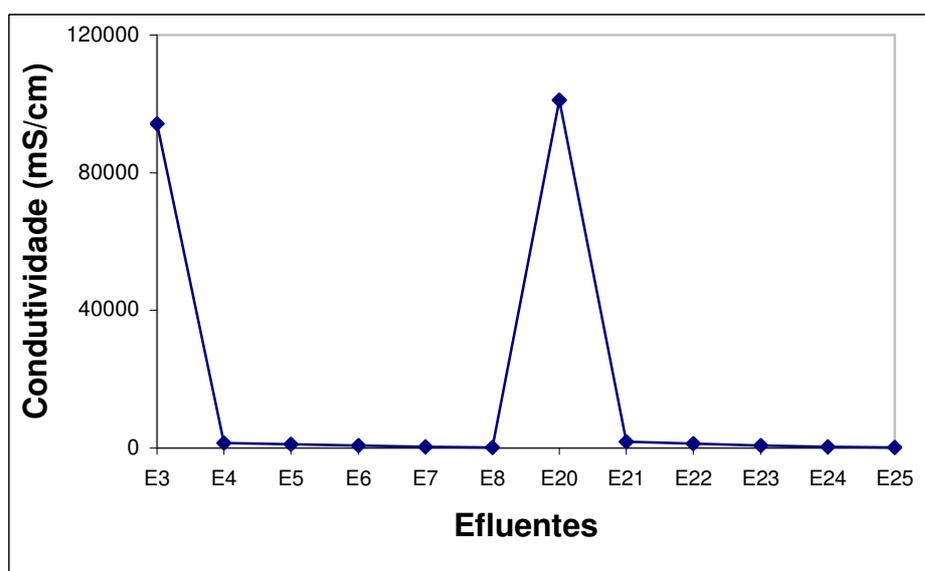


Figura 4.13 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Média.

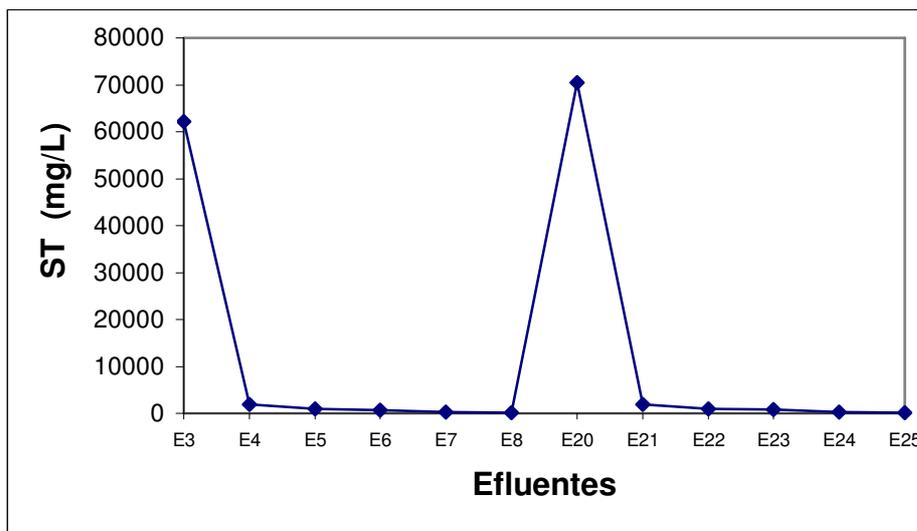


Figura 4.14 – Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Média.

Na Figura 4.15 pode-se observar o aumento da absorvância na água de enxágüe E6 e E23 onde ocorre à adição do dispersante de lavagem, que favorece a remoção do corante hidrolizado do substrato tingido.

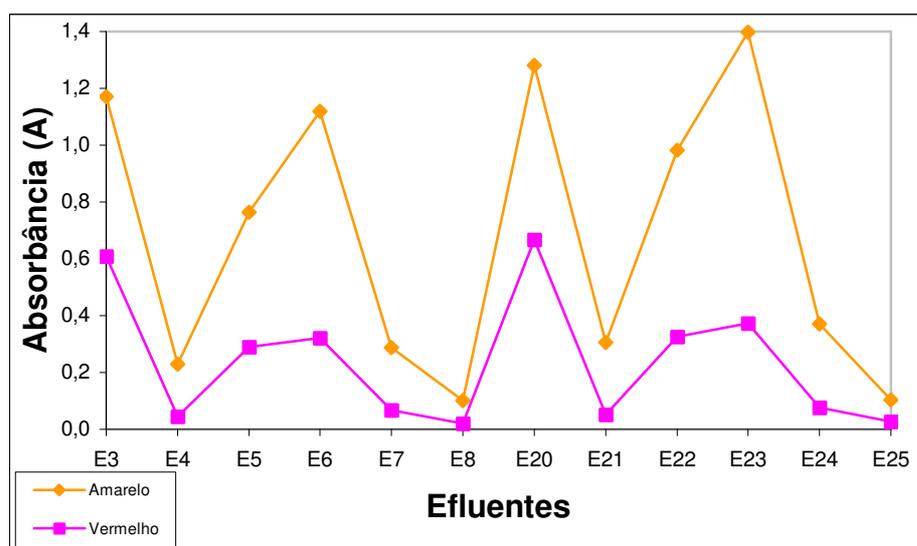


Figura 4.15 – Variação da absorvância conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Média.

Nas Figuras 4.16 e 4.17 observa-se uma pequena oscilação nos valores, que se mantêm dentro dos padrões estabelecidos, porem na corrente E20 estes valores se distanciam mais do padrão, onde ocorre um aumento do valor de ΔE e um decréscimo no valor de intensidade da cor, comportamento análogo pode ser verificado nos altos valores de sólidos totais, condutividade e absorbância observadas nas Figuras 4.13 a 4.15.

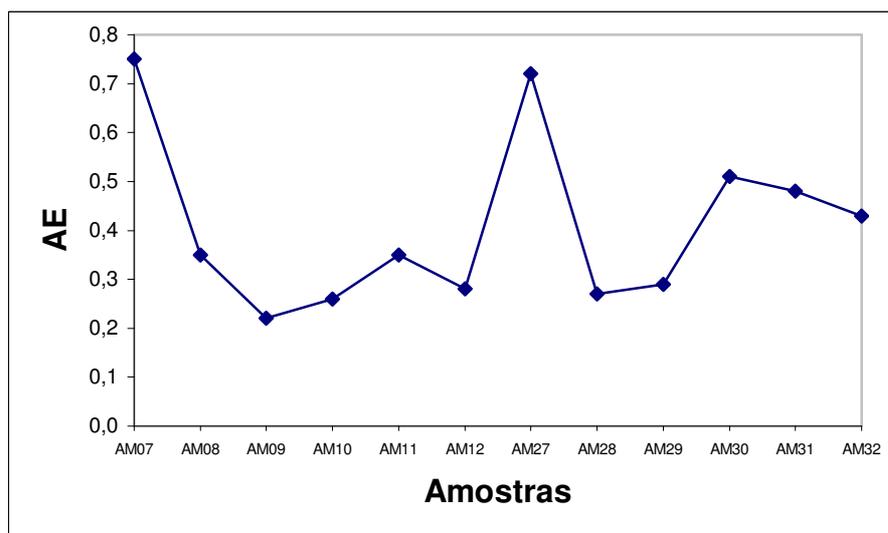


Figura 4.16 – Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Média.

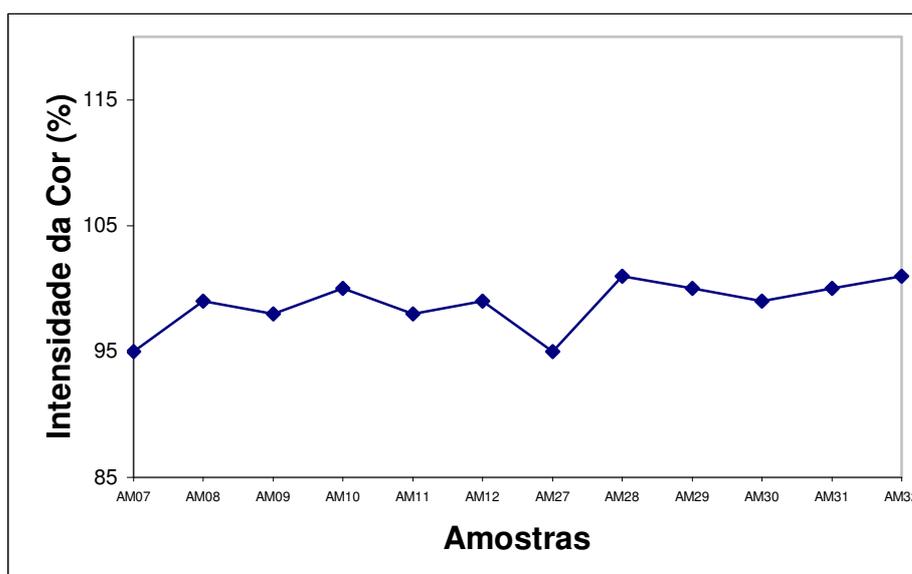


Figura 4.17 – Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Média.

Na Tabela 4.11 são apresentados os dados de ΔE e intensidade de cor da amostra tingida no segundo tingimento, onde se reutilizou as águas de descarte e enxágüe do 1º tingimento.

Pode-se observar na Tabela 4.11 que a amostra do substrato tingido (AM13) com a água proveniente do banho do 1º tingimento (E09) foi rejeitada. A amostra AM17 apresentou um índice mais elevado na intensidade da cor e foi rejeita, esta água é proveniente da corrente E13 a qual foi utilizado um dispersante na água de enxágüe, observa-se também na água do efluente E30 um aumento no valor de absorbância do corante amarelo e no valor de ΔE da amostra AM17.

As águas do 1º descarte e 1º enxágüe do tingimento padrão foram diluídas com água da E.T.A., nas proporções de 25%, 50% e 75%, os resultados do substrato tingido com estas águas são apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.13, respectivamente.

Tabela 4.12 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da E.T.A. (Cor Escura).

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E9 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM33	AM34	AM35
Varição de tonalidade (ΔE)	1,00	0,61	0,38
Intensidade da Cor (%)	95	96	98
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Tabela 4.13 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º enxágüe com água da E.T.A. (Cor Escura).

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E10 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM36	AM37	AM38
Varição de tonalidade (ΔE)	0,23	0,19	0,11
Intensidade da Cor (%)	98	101	101
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Confrontando os valores da Tabela 4.12 e 4.13, observa-se que na Tabela 4.12 da água do 1º descarte que os valores de ΔE estão superiores aos da Tabela 4.13, que se refere à água do 1º enxágüe, os valores de intensidade de cor também estão melhores na Tabela 4.13, provavelmente devido ao alto teor de sólidos totais e condutividade da água do tingimento (E9) apresentados na Tabela 4.10.

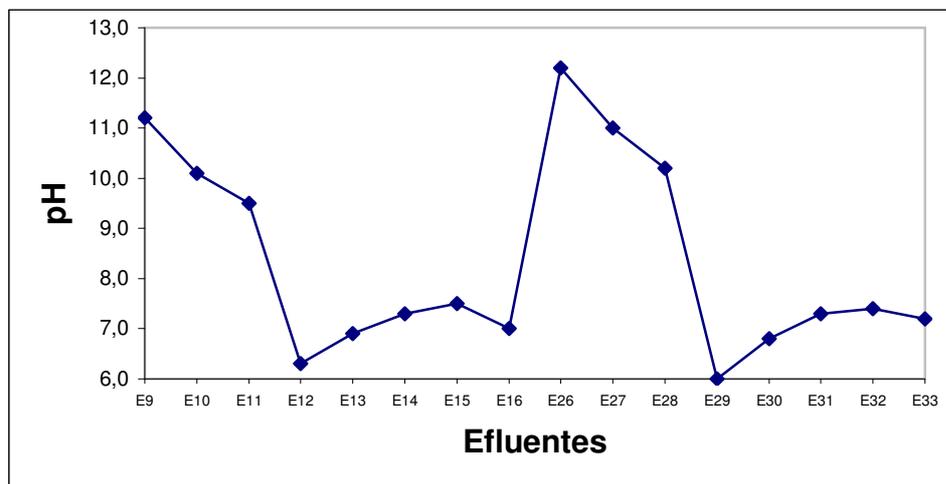


Figura 4.20 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Escura.

Na Figura 4.20 observa-se que os valores de pH nos enxágües posteriores ao banho de tingimento, apresentam um decréscimo pouco acentuado, mesmo após dois enxágües, vindo a ser neutralizado com a adição do ácido acético, devido o alto teor de álcali adicionado nesta receita necessária para o tingimento desta cor.

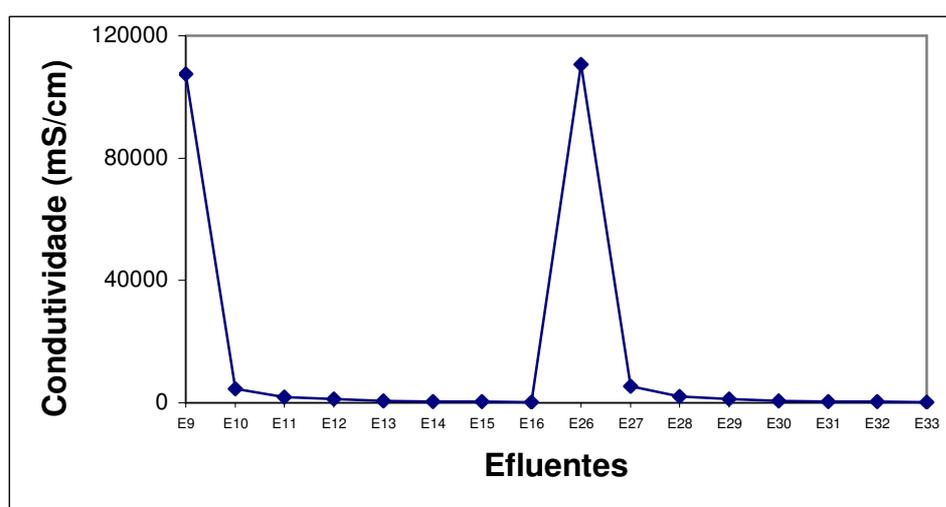


Figura 4.21 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Escura.

Nos valores de condutividade apresentados na Figura 4.21 a 4.23 observa-se um pequeno acréscimo nos valores de condutividade, sólidos totais e absorvância nas águas de reuso (E26 à E33) com relação às águas iniciais de tingimento e enxágües (E9 à E16), podendo-se afirmar que está ocorrendo um início de saturação dos banhos.

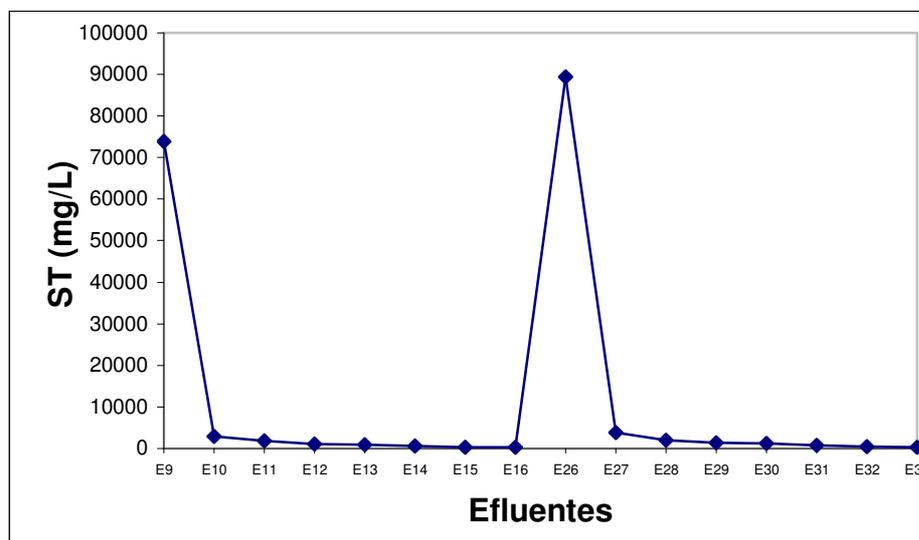


Figura 4.22 – Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Escura.

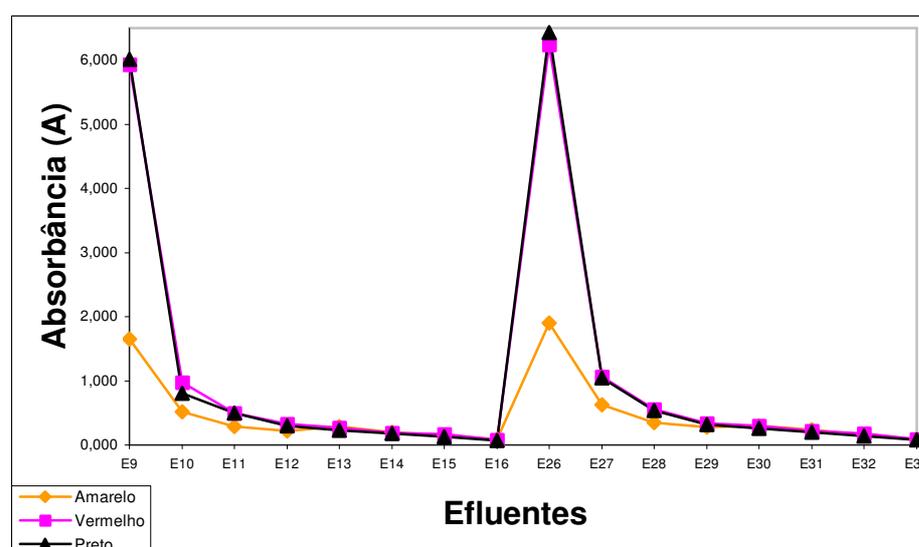


Figura 4.23 – Variação da absorvância conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavação da Cor Escura.

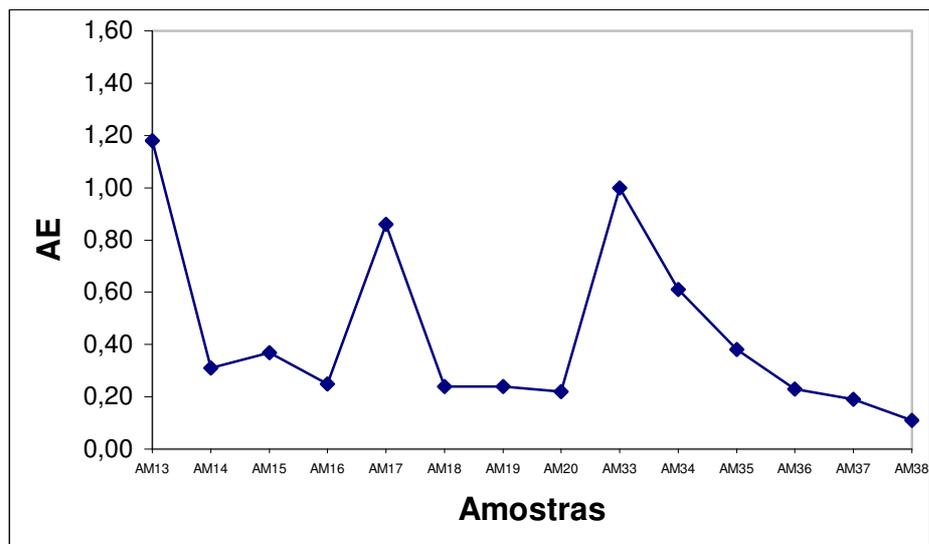


Figura 4.24 – Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura.

Na Figura 4.24 observa-se que o valor de ΔE na amostra AM13 apresenta um valor superior a aquele tolerado estabelecido inicialmente, o que coincide com o acréscimo nos valores de condutividade, sólidos totais e absorvância apresentados nas Figuras 4.21 a 4.23.

Na amostra AM17 tingida com a corrente de reuso E30 conforme se observa na Figura 4.24, também apresenta um acréscimo no valor de ΔE , nesta corrente é adicionado o dispersante de lavagem, ocasionado à remoção do corante hidrolizado do substrato têxtil e a própria ação do tenso ativo pode estar interferindo na montagem do corante na fibra.

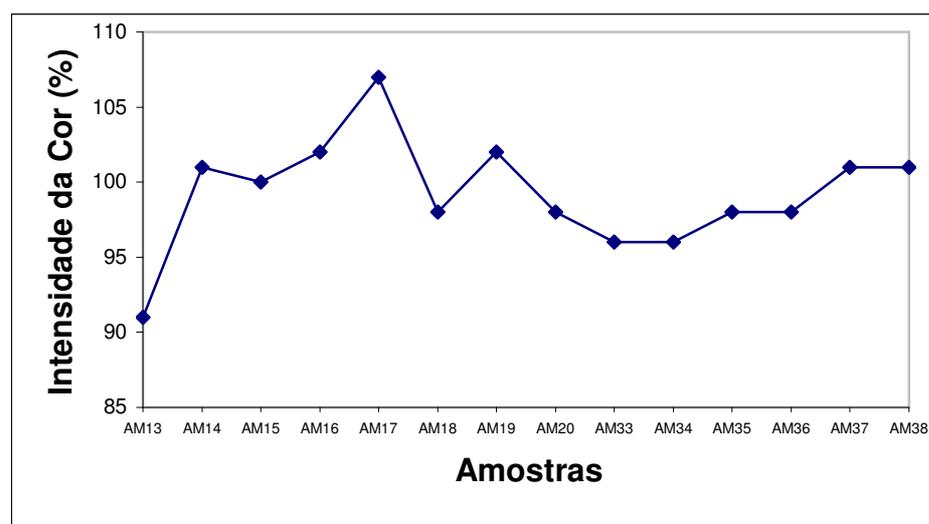


Figura 4.25 – Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura.

Na Figura 4.24 e 4.25 observa-se que com o aumento dos enxágües os valores de ΔE e intensidade de cor apresentam-se mais próximos dos padrões estabelecidos, com exceção da amostra AM17 da corrente efluente E30, na qual segue o comentário anterior na Figura 4.24.

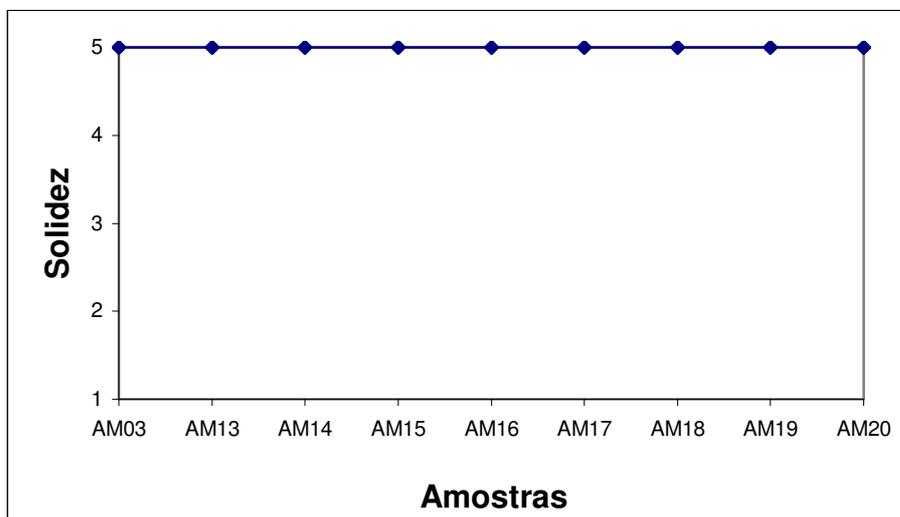


Figura 4.26 – Solidez a lavagem do substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura.

Na Figura 4.26 observa-se que o grau de solidez dos substratos têxteis tingidas (amostras) não foi afetado com a reutilização da água das correntes efluentes, apresentando o valor máximo de solidez (5).

Para uma maior confiabilidade nos testes realizados e certificação da reprodutibilidade dos resultados, repetiu-se os testes da Cor Escura – Marinho, apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Análise da água dos descartes e enxágües da Cor Escura (tingimento duplicata).

Descartes/Enxágües	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16
pH	11,1	10,3	9,8	6,5	7,0	7,1	7,2	7,0
Condutividade (mS/cm)	109130	4580	1910	1020	0,590	0,315	0,302	0,189
Sólidos Totais (mg/L)	77270	2910	1830	1110	930	720	390	280
Absorbância (A)								
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	1,690	0,532	0,292	0,225	0,280	0,212	0,141	0,085
Vermelho Intracron 3SR (544nm)	5,950	0,985	0,501	0,320	0,272	0,198	0,172	0,077
Preto Remazol B (594nm)	5,980	0,815	0,498	0,290	0,237	0,180	0,122	0,059

Os resultados da Tabela 4.14 se referem ao tingimento padrão (marinho), ou seja, utilizando água da E.T.A. e a receita padrão.

Observam-se nos dados apresentados na Tabela 4.14, que na corrente subsequente ao efluente E12, ocorre um decréscimo significativo nos valores de condutividade conforme apresenta a corrente E13. Na corrente E12 é adicionado o ácido acético para neutralização do banho de enxágüe, no banho seguinte é adicionado o dispersante conforme demonstra a Figura 4.3, o valor de condutividade da corrente efluente E12 pode estar sendo mascarada pelo ácido acético.

O banho de cada etapa deste processo foi coletado, neutralizado com ácido clorídrico e reutilizado 100% para outro tingimento, adicionado-se ao banho de tingimento as mesmas quantidades de auxiliares. Os resultados do reuso do banho de tingimento estão apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Análise da água dos descartes e enxágües com 100% de reuso (Cor Escura - tingimento duplicata).

Descartes/Enxágües	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33
pH	12,1	11,3	10,0	5,9	6,5	7,0	7,3	7,1
Condutividade (mS/cm)	115400	6110	2250	1310	0,675	0,371	0,367	0,212
Sólidos Totais (mg/L)	91230	4350	3110	2210	1300	790	370	280
Absorbância (A) / Amostra	AM13	AM14	AM15	AM16	AM17	AM18	AM19	AM20
Amarelo Intracron 3RL (414nm)	2,010	0,647	0,359	0,292	0,301	0,253	0,172	0,089
Vermelho Intracron 3SR (544nm)	6,830	1,102	0,581	0,376	0,297	0,227	0,165	0,090
Preto Remazol B (594nm)	6,750	1,088	0,554	0,326	0,248	0,185	0,143	0,081
Varição da tonalidade (ΔE)	1,38	0,4	0,17	0,07	0,41	0,07	0,3	0,22
Intensidade da Cor (%)	90	97	101	100	103	100	101	100
Aprovação	rejeitada	aceita						
Solidez a lavagem	5	5	5	5	5	5	5	5

Na Tabela 4.15 observa-se um aumento dos valores de condutividade e sólido totais das correntes efluentes devido à reutilização das águas de efluente do 1º tingimento, porem somente a amostra da corrente efluente E26 foi rejeitada no quesito ΔE e intensidade de cor (AM13). A amostra AM17 da corrente efluente E13 que conforme apresentado na Tabela 4.10 havia sido rejeitada, este tingimento de reprodução foi aceita, porem apresentou também um acréscimo dos valores de ΔE , intensidade de cor e absorbância do corante amarelo.

Da mesma forma feita nas cores anteriores, na tabela acima foi, acrescida os dados de AE e intensidade da cor demonstrando a variação da cor padrão (marinho), e a amostra tingida no segundo tingimento, reutilizando as águas de descarte do 1º tingimento.

As águas do 1º descarte e 1º enxágüe do tingimento padrão foram diluídas com água da E.T.A, nas proporções de 25%, 50% e 75%. Nas Tabelas 4.15 e 4.16 são apresentados os resultados dos substratos têxteis tingidos, utilizando estas águas, respectivamente.

Tabela 4.16 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º descarte com água da E.T.A. (Cor Escura - tingimento duplicata).

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E9 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM33	AM34	AM35
Variação da tonalidade (ΔE)	0,71	0,69	0,42
Intensidade da Cor (%0	95	100	99
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Tabela 4.17 - Dados obtidos da mistura das águas do 1º enxágüe com água da E.T.A. (Cor Escura - tingimento duplicata).

Água da E.T.A (%)	25	50	75
Água E10 (%)	75	50	25
Dados do substrato tingido	AM36	AM37	AM38
Variação da tonalidade (ΔE)	0,33	0,29	0,51
Intensidade da Cor (%)	101	102	101
Aprovação	aceita	aceita	aceita

Avaliando os valores apresentados nas Tabelas 4.16 e 4.17, observa-se que os valores de ΔE e intensidade de cor são melhores na água de efluente do 1º enxágüe, o que vem a confirmar os dados obtidos nas Tabelas 4.12 e 4.13.

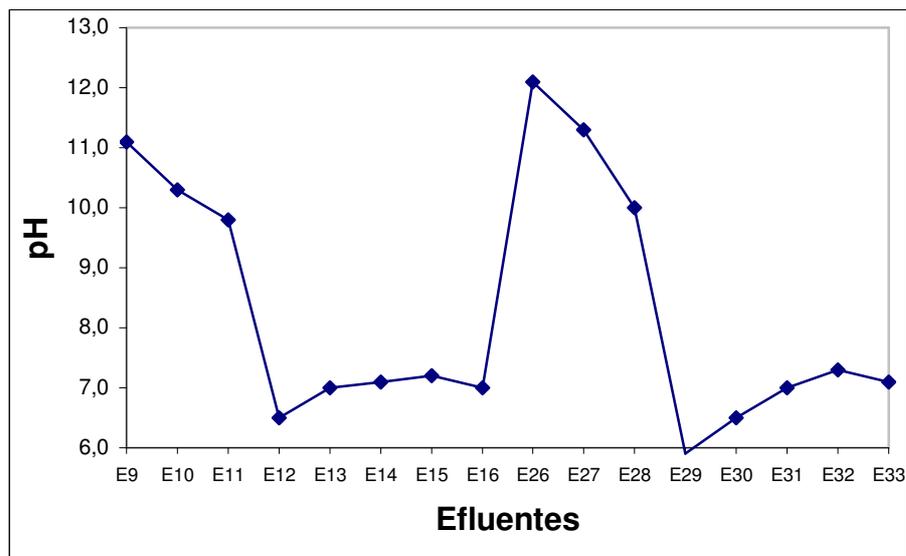


Figura 4.27 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

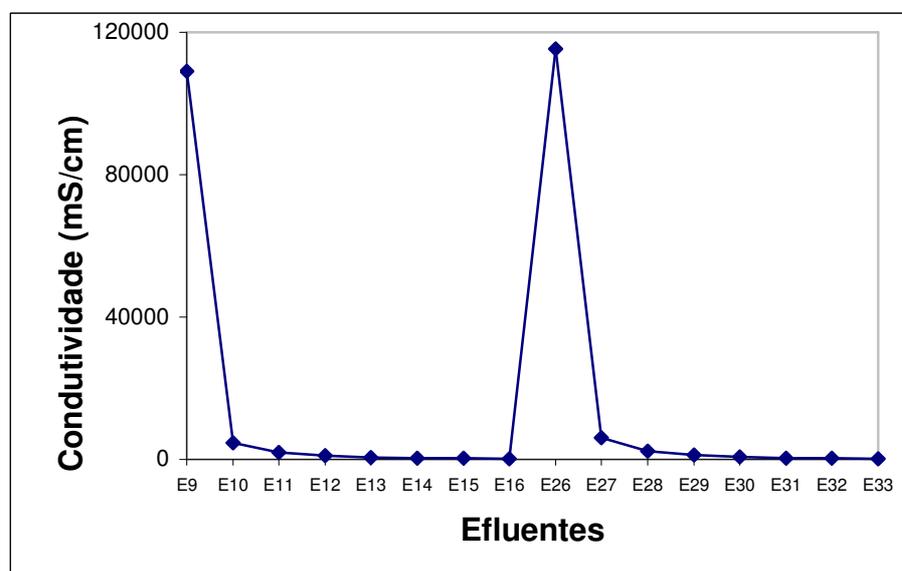


Figura 4.28 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

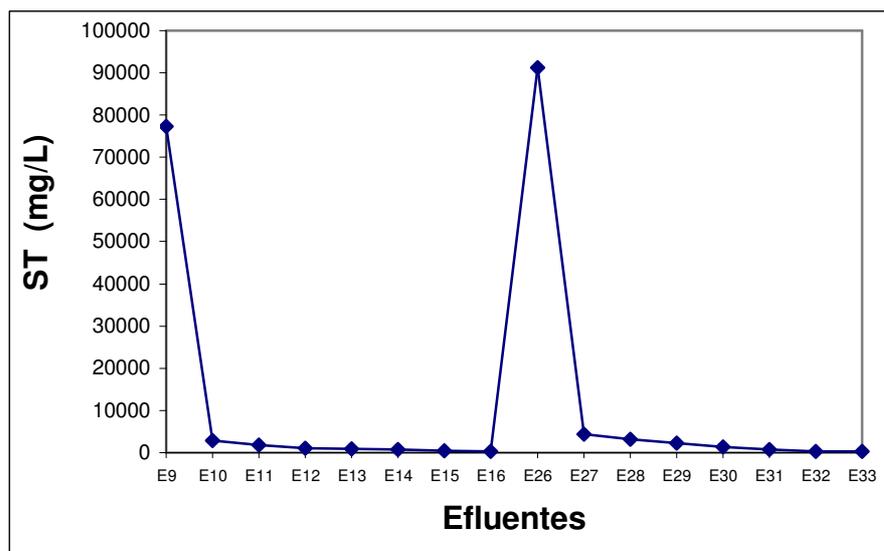


Figura 4.29 – Variação dos sólidos totais conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

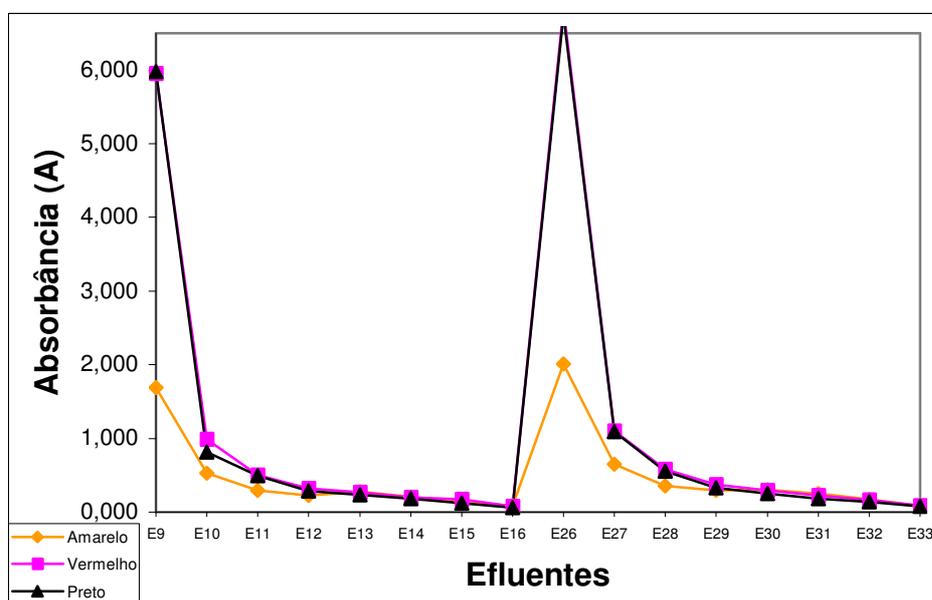


Figura 4.30 – Variação da absorbância conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

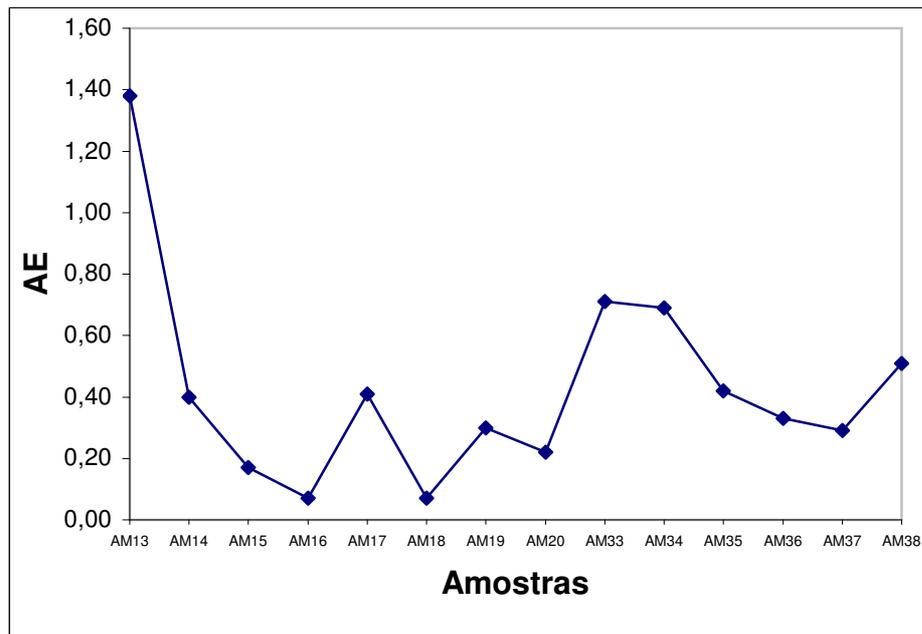


Figura 4.31 – Variação do ΔE conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

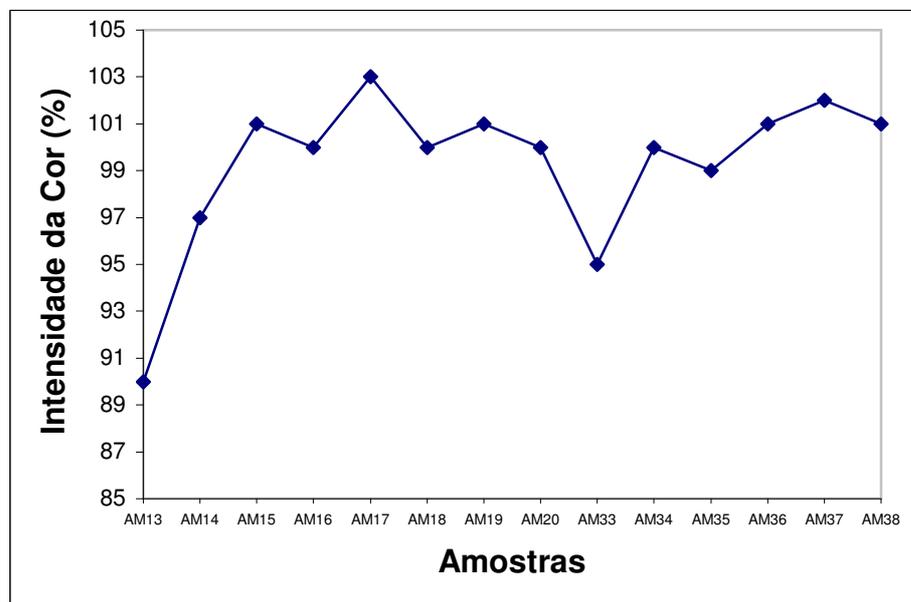


Figura 4.32 – Variação da intensidade da cor no substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

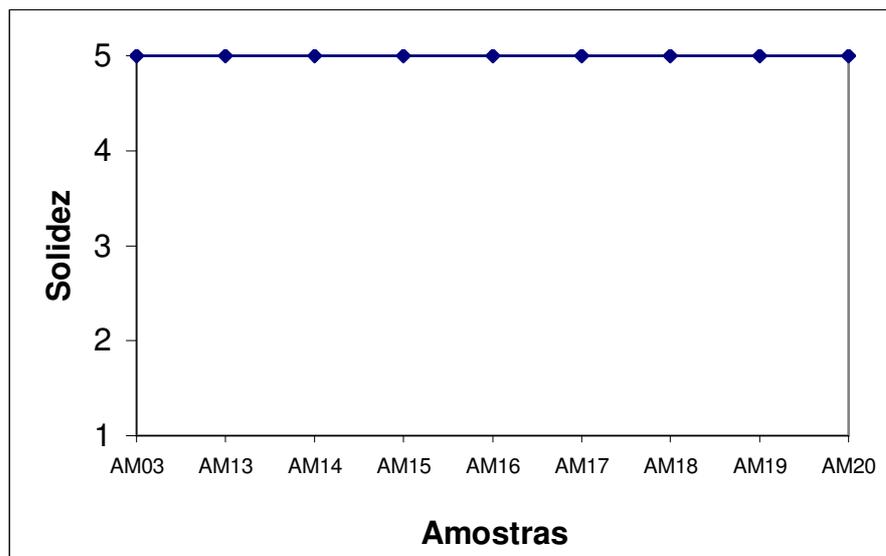


Figura 4.33 – Solidez a lavagem do substrato têxtil conforme as descargas dos efluentes no processo de tingimento e lavagem da Cor Escura (tingimento duplicata).

Como se pode observar nas Figuras de 4.27 a 4.33, referentes ao tingimento na cor escura duplicata, estas apresentam as mesmas tendências do tingimento na cor escura inicial, ou seja, com o aumento dos enxágües ocorre uma diminuição dos valores de pH, condutividade, sólidos totais, absorvância e ΔE , e ocorre um aumento nos valores de intensidade de cor, tornando as amostras tingidas mais próximas dos padrões pré-estabelecidos. Embora a amostra AM17 da corrente efluente E30 não tenha sido rejeitada no tingimento duplicata como ocorreu no tingimento inicial, os valores de intensidade de cor e variação da tonalidade (ΔE) apresentaram uma elevação em relação à amostra anterior (AM16) o que indica uma restrição no reuso da corrente efluente E30 devido à presença do tenso-ativo (dispersante de lavagem).

Oitenta por cento da produção da Lancaster é de artigos 100% algodão tingidos com corantes reativos, ou seja, se reutilizarmos as águas do próprio tingimento ou dos enxágües para estes tingimento, teremos uma economia de 80% do consumo de água para os processos de tingimento do total de malha produzida. Conforme apresentado neste trabalho, temos 17 correntes efluentes para as cores claras, médias e escuras gerando um consumo de água na ordem de $0,01776\text{m}^3/\text{s}$ que representa 80% do consumo para 100% da produção, se deixarmos de gerar as 3 correntes de tingimento teremos um decréscimo no consumo na ordem de $0,0031\text{m}^3/\text{s}$ o que representa em torno de 20% de economia, se utilizarmos a última água de

enxágüe para outros fins, teremos uma economia em torno de 40% no consumo de água e conseqüentemente em torno 40% na geração de efluente total.

Com esta economia deixa-se de gerar em torno de 0,008 m³/s de água para o tratamento de efluentes, o que representa uma economia em torno de 40% do total de água gerada para o tratamento de efluentes para a produção das 450 ton/mês.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O processo têxtil possui várias correntes de águas geradoras de efluentes líquidos e muitas opções de fibras têxteis para processamento. Para este trabalho foi necessário restringirmos algumas variáveis como: determinação do tipo de substrato a ser processado, que neste caso foi tecido de meia malha 100% algodão, o tipo de corante para o tingimento do substrato, onde foi optado pelo corante reativo (bifuncional) devido seu maior uso no mercado mundial e de alguns parâmetros que determina a aprovação da cor no final do processo de tingimento como o valor da variação da tonalidade do substrato têxtil (ΔE), a intensidade da cor do substrato têxtil tingido e a solidez à lavagem.

Todos os testes foram feitos em escala laboratorial, porém procurou-se trabalhar o mais próximo possível do processo produtivo.

Embora existam alternativas apresentadas na literatura para o reuso das águas de correntes efluentes no processo de tingimento na Indústria Têxtil, onde é sugerida a utilização para a mesma cor, ou ainda o reuso das águas de enxágüe para outras etapas do processo de têxtil, não existe um estudo verificando o impacto na qualidade do tingimento quando se usa corantes reativos em substrato de algodão nas indústrias brasileiras. Devido ao grande consumo de água nos processos têxteis, a racionalização deste importante insumo tornou-se a motivação principal do presente trabalho.

Neste trabalho são investigadas três intensidades de cores: cor clara (bege) com até 0,5% de corante, cor média (laranja) de 0,5 a 1,5% de corante e cor escura (marinho), onde a concentração de corante ultrapassa a 1,5% sobre o peso do material têxtil. A seleção destas três cores teve como objetivo verificar o comportamento da cor no substrato tinto, frente à variação no teor de sólidos totais ocasionada pelo reuso de águas do banho de tingimento e do 1º enxágüe, com a opção de diluição com água da E.T.A.

Observou-se que nas cores claras e médias todas as opções de reuso das águas apresentaram bons resultados, mas observa-se que nas águas dos banhos de tingimento ocorre uma queda na intensidade da cor e um aumento no valor do ΔE , mas os resultados das

análises espectrofotométricas não levam à rejeição das amostras tingidas com a água de reuso. Já na cor escura observa-se que devido um teor maior de sólidos totais e absorvância as correntes de efluentes provenientes do banho de tingimento foram rejeitas ou ficaram no limite de tolerância.

Pode-se concluir que o elevado valor da condutividade nos banhos de tingimentos não é um fator restritivo para o reuso destas correntes de efluentes, visto que o sal pode ser reutilizado para o tingimento seguinte, ponto este observado no reuso das correntes efluentes do banho de tingimento das cores claras e médias, onde os valores de condutividade são elevados com o reuso e as amostras foram aprovadas dentro das restrições estabelecidas.

Com os dados apresentados neste trabalho podemos observar que quanto maior o valor da absorvância, condutividade e sólidos totais, maior é o valor de ΔE e maior é o decréscimo no valor de intensidade da cor, ou seja, fica mais restritiva a utilização destas correntes efluentes (banho de tingimento), porém nos banhos de enxágües posteriores ao banho de tingimento, os valores de absorvância, condutividade e sólidos totais decrescem e os valores restritivos de ΔE , intensidade de cor e solidez a lavagem se aproximam dos padrões estabelecidos. Com base nestas informações sugere-se o reuso da última ou das duas últimas correntes efluentes de enxágüe do processo de lavagem, devido ao fato destas apresentarem valores baixos de sólidos totais e os substratos tingidos apresentaram-se bem próximos dos valores padrões, não apresentando nenhum sinal de restrição para o reuso.

Através do reuso das correntes efluentes do tingimento e enxágües, conforme descrito no capítulo anterior, pode-se obter uma economia em torno de 80% no total de tingimento realizados, e em torno de 40% de redução na geração total de efluente a ser tratado.

Nas correntes efluentes de enxágüe onde se utiliza o dispersante de lavagem, observou-se que ocorre um aumento no valor de ΔE e intensidade da cor, provavelmente devido à remoção do corante hidrolisado sob o material têxtil.

A seguir são apresentadas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Apresentar um sistema de filtragem viável economicamente para os banhos de tingimento de forma a remover os sólidos suspensos (fibras, corantes e matéria orgânica) objetivando a reutilização do sal presente nesta corrente efluente, a qual apresenta uma alta concentração;
- Verificar o limite de saturação dos banhos para o reuso;

- Avaliar a interferência do tenso ativo no reuso da corrente efluente de enxágüe no qual é empregado;
- Analisar a interferência da condutividade e sólidos totais em corantes reativos de outras classes reativas (dicloro triazina, tricloro pirimidina, dicloro quinoxalina, diflúor cloro pirimidina, monoflúor triazina).
- Analisar a comportamento do reuso da última corrente efluente de tingimento em outras cores, além daquela que a gerou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE FILHO, J. F.; SANTOS, L. F., Introdução à Tecnologia Têxtil. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT), v.3, 1987.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M., Manual de Engenharia Têxtil, v.2. Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- ARSLAN I.; BALCIOGLU I. A; BAHNEMANN D. W., Advanced Chemical Oxidation of Reactive Dyes in Simulated Dyehouse Effluents by Ferrioxalate - Fenton/UV-A and TiO₂/UV-A processes. *Dyes and Pigments*, 47: p. 207-218, 2000.
- BARCELLOS, I. O.; KRAUSE, O. J.; GASQUES, M.D.G.; MARTINELLI, U. A., Estudo de Processos Oxidativos na Celulose do Algodão, *Tecnologia da Preparação, Química Têxtil*, p.45-54, setembro 2002.
- BELLO, L., Água: A Mais Importante Commodity do Século XXI. *Banas Ambiental*, n. 8, p. 34-42, 2000.
- BERNARDIS, R., *Novos Conceitos em Tratamento e Reuso de Água*. Latin Chemical, 2002.
- BOWEN, W. R.; MOHAMMAD, A. W., A Theoretical Basis for Specifying Nanofiltration Membranes-Dye/Salt/Water Streams, Center for Complex Fluids Processing, Department of Chemical and Biological Process Engineering, University of Wales Swansea, United Kingdom, *Elsevier, Desalination* 117, p. 257-264, julho de 1998.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A , *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*. São Paulo, CETESB, 1993.
- BROWN, D., *Chemosphere*, 12º ed., p. 397, 1983.

- BUSTARD, M.; McMULLAN, G.; McHALE, A P., Biosorption of Textile Dyes by Biomass Derived from *Kluyveromyces Marxianus* IMB3. *Bioprocess Engineering*, 19, p. 427-430, 1998.
- CARNEIRO, P. A.; OSUGI, M. E.; SENE, J. J.; ANDERSON, M. A.; ZANONI, M. V. B., Evaluation of Color Removal and Degradation of a Reactive Textile Azo Dye on Nanoporous TiO₂ Thin-Film Electrodes, Departamento de Química analítica, Instituto de Química de Araraquara-UNESP, Araraquara, São Paulo, Brasil, Environmental Chemistry and technology Program, University of Wisconsin, Madison, USA, Elsevier, *Electrochimica Acta* 49, p. 3807-3820, junho de 2004.
- CASTILLO, M.; BARCELÓ, D., Characterisation of Organic Pollutants in Textile Wastewater and Landfill Leachate by Using toxicity-based Fractionation Methods Followed by Liquid and Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometric Detection, Department of Environmental Chemistry, Barcelona, Spain, January 2000, *Analytica Chimica Acta* 426, p. 253-264, 2001.
- CIBA Brasil, *Tendências Industriais*, julho de 2001.
- Colour Index Industrial, CD-Rom, Third Edition, Society of Dyes and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists, 1971-1996.
- COMITÊ DO ITAJAÍ, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, www.comiteitajai.org.br, 10 de outubro de 2004.
- COOPER, P., J. *Society Dyes and Colour*, 100^o ed., p. 98, 1993.
- CORRÊA JR. B.; FURLAN, L. T., Redução do Consumo de Água e da Vazão de Efluentes Através do Gerenciamento das Fontes e Reutilização de Águas – a Experiência de Paulínia. *Petro & Química*, nº 251, 72-78, agosto de 2003.

- CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. J., Characterisation of Textile Wastewaters – A Review, School of Water Sciences, Cranfield University, United Kingdom, July 1994, Environmental Technology, vol. 15, p. 917-929, 1994.
- CRISTMENT, A., Color & Colorimetria, datacolor international, editions 3C Conseil, Paris, France, fevereiro de 1998.
- DUTRA, L. E. D.; ANTUNES, A. M. S., A Água e a Indústria Química, uma Questão de Responsabilidade Ambiental. O Estado das Águas no Brasil 2001-2002, ANA=Agência Nacional de Águas, 1º ed., 77-01, 2003.
- EPA – Environmental Protection Agency. Profile of the Textile Industry, Washington, setembro de 1997.
- FARIA, D. C., Reuso das Correntes de Efluentes Aquosos em Refinarias de Petróleo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, fevereiro de 2004.
- FORGACS, E.; CSERHÁTI, T.; OROS, G., Removal of Synthetic Dyes from Wastewaters: a Review, Research Laboratory of Materials and Environmental Chemistry, Chemical Research Center, Hungarian Academy of Science, Budapest, Hungary, Environment International, 30, p. 953-971, maio de 2004.
- FREITAS, K. R., Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, fevereiro de 2002.
- GARRIDO, R. J. S., Alguns Pontos de Referência para o Estágio Atual da Política Nacional de Recursos Hídricos. O Estado das Águas no Brasil 2001-2002, ANA - Agência Nacional de Águas, 1º ed., 3-15, 2003.
- GOULD, P. P.; GROFF, K. A., Ozone Sci. Eng., 9º ed., p.153, 1987.

- GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B., Corantes Têxteis. Química Nova, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
- GUGLIELMETTI, L., in R. Anliker e G. Müller (eds.), Fluorescent Whitening Agents. Threnie Stuttgart, p. 180, 1980.
- HART, E., Reciclagem de Água, um Programa Economicamente Viável e Tecnicamente Inovativo. Tecnologia Meio Ambiente. Química Têxtil, p.07-10, fevereiro de 1994.
- HITZ, H. R.; HUBER, W.; REED, R. H., J. Society Dye and Colour, 94 ed., p. 71, 1978.
- IPA, Instituto de Pesquisas Ambientais, Universidade Regional de Blumenau, Relatório de Avaliação do Comportamento Futuro do Regime Hídrico do Ribeirão da Velha, julho de 2000.
- JIRARATANANON, R.; SUNGPET, A.; LUANGSOWAN, P., Performance Evaluation of Nanofiltratio Membranes for Treatment of Effluents Containing Reactive Dye and Salt, Department of Chemical Engineering, King Mongkut's University of Tecnology, Thailand, Elsevier, Desalination 130, p. 177-183, junho de 2000.
- KOYUNCU, I., Reactive Dye Romoval in Dye/Salt Mixtures by Nanofiltration Membranes Containig Vinylsulphone Dyes: Effects of Feed Concentration and Cross Flow Velocity, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey, Elsevier, Desalination 143, p. 243-253, fevereiro de 2002.
- LITTLE, A H., Water Suples and the Treatment and Disposal of Effluents. The Textile Institute Manchester, n. 2, 1975.
- MATTIO, J. A., Reuso de Água Industrial, Revista Meio Ambiente Industrial, ano IV, edição 20, nº 19, p. 130-134, julho/agosto de 1999.

- MAYS, L. W., Water Resources: an Introduction. In: Water Resources Handbobook, McGraw-Hill, 693, 1996.
- MELO, A. R.; SOUZA, GUELLI U. SOUZA, S. M. A.; ULSON DE SOUZA, A. A., Estratégias de Otimização do Reuso de Água na Indústria Têxtil, XII Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM, Universidade Federal do Paraná, setembro de 2004.
- MORAN, C.; HALL, M. E.; HOWELL, R., Effects of Sewage Treatment on Textile Effluent. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 113, p. 272-274, 1997.
- MORELL, J. V.; ROSELL, M. C.; SANCHES, J. C., Tecnologia Reciclagem - Características Contaminantes e Possibilidades de Reutilização dos Banhos Residuais dos Tingimentos de Algodão, Química Têxtil, p. 21-34, junho de 1996.
- NIETO, R., Tratamento de Efluentes na Indústria Têxtil, Revista Gerenciamento Ambiental, nº 10, ano 2, junho/agosto de 2000.
- OGAWA, T.; YATOME, C.; IDAKA, E.; KAMIYA, H., J. Society Dyes Colour, 102º ed. , p. 12, 1986.
- PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T., The Removal of Colour from Textile Wastewater Using Whole Bacterial Cells: A Review, The Department of Colour Chemistry, University of Leeds, Leeds, UK, Williamson Research Centre of Molecular Environmental Science and the Department of Earth Sciences, University of Manchester, Manchester, UK, Elsevier, Dyes and Pigments 58, p. 179-196, março de 2003.
- PERES, C. S.; ABRAHÃO, A J., Características e Sistemas de Tratamento de águas Residuais da Indústria Têxtil – Uma Primeira Abordagem. Química Têxtil, p. 22-39, 1998.

- ROZZI, A; MALPEI, F.; COLLI, S.; UBERTI, M., Distribution of Absorbance in the Visible Spectrum Related to Molecular size Fractions in Secondary and Tertiary Municipal-Textile Effluent. *Water Science Technology*, 38, p. 473-480, 1998.
- SALEM, V., Tingimento Têxtil, Apostila do Curso de Tingimento Têxtil, Golden Química do Brasil, Módulo 1 e 2, novembro de 2000.
- SANIN, L. B. B., A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. *Química Têxtil*, p.13-34, Março 1997.
- SANTOS, M. O. R. M., O Impacto Da Cobrança pelo uso de Água no Comportamento do Usuário, Rio de Janeiro, 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SILVESTRE, W. K. G., Água: Elemento Precioso e Ameaçado. *Textília*, n.18, p.69,1995
- STEINHART, M. R. V., Auxiliares Têxteis do Ponto de Vista dos Tensoativos. *Química Têxtil*, p. 76-80, dezembro de 2000.
- TAKATSUJI, W.; NAKAUCHI, M.; YOSHIDA, H., Industrial Technology Center of Wakayama Prefecture, Wakayama, Department of Chemical Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai, Japan, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 88, nº 3, p. 348-351, junho de 1999.
- TALARPOSHTI, A. M.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K., Colour Removal From a Simulated Dye Wastewater Using a Twophase Anaerobic Packed Bed Reactor. *Water Research*, 35, p. 425-432, 2001.
- TRALLI, V. J., Noções Básicas para Engomagem, *Revista Textília*, nº 37, 2000.
- TOLEDO, R. A. S., Tecnologia da Reciclagem. *Química Têxtil*, p.8-14, Março de 2004.

WENZEL, H.; KNUDSEN, H. H.; KRISTENSEN, G. H.; HANSEN, J., Reclamation and Reuse of Process Water from Reactive Dyeing of Cotton, Institute for Product Development, Technical University of Denmark, Desalination 106, p. 195-203, 1996.

ZIMMERMANN, T.; KULLA, H. G.; LERNSINGER, T., Eur. J. Biochem, 129° ed., p. 197, 1982.

APÊNDICE

Tabela 4.1 – Valores de absorvância e concentração da curva de calibração dos corantes.

Amarelo Intracron 3RL 414 nm		Vermelho Intracron 3SR 544 nm		Preto Remazol B 594 nm	
Concentração (g/L)	Absorvância (A)	Concentração (g/L)	Absorvância (A)	Concentração (g/L)	Absorvância (A)
0,02	0,369	0,01	0,229	0,01	0,331
0,025	0,409	0,02	0,457	0,012	0,392
0,03	0,492	0,025	0,569	0,014	0,463
0,04	0,672	0,03	0,702	0,016	0,525
0,05	0,79	0,04	0,912	0,018	0,590

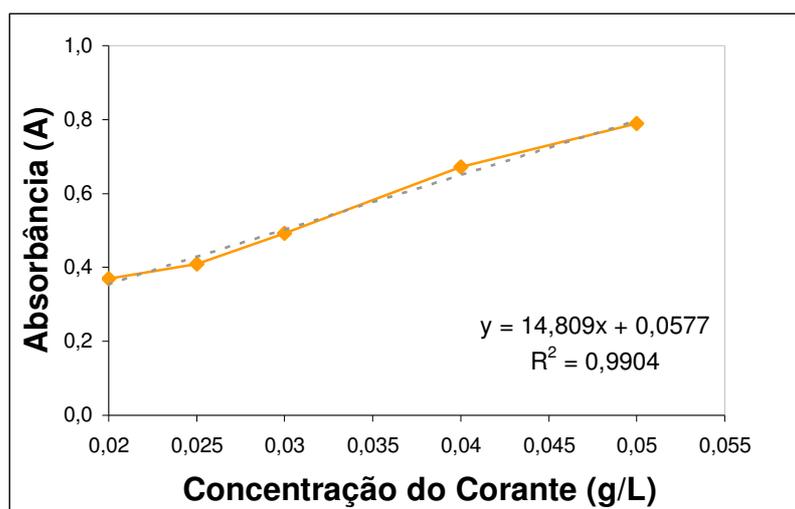


Figura 4.1 – Curva de calibração do Corante Amarelo (414 nm)

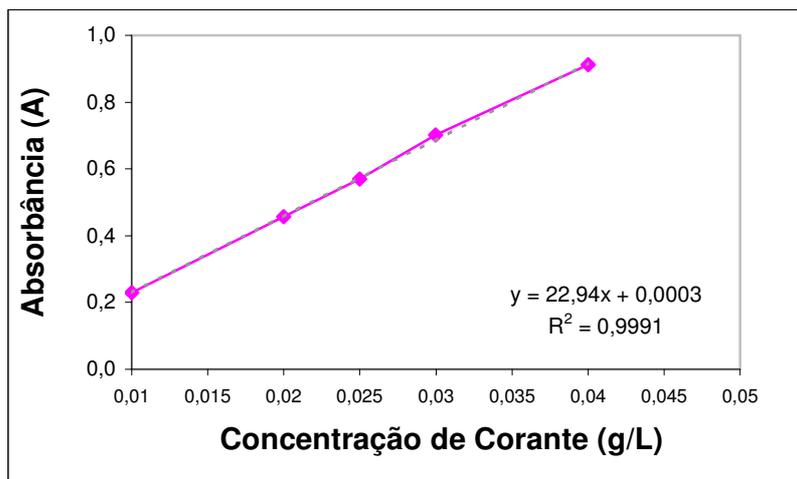


Figura 4.2 – Curva de calibração do Corante Vermelho (544 nm)

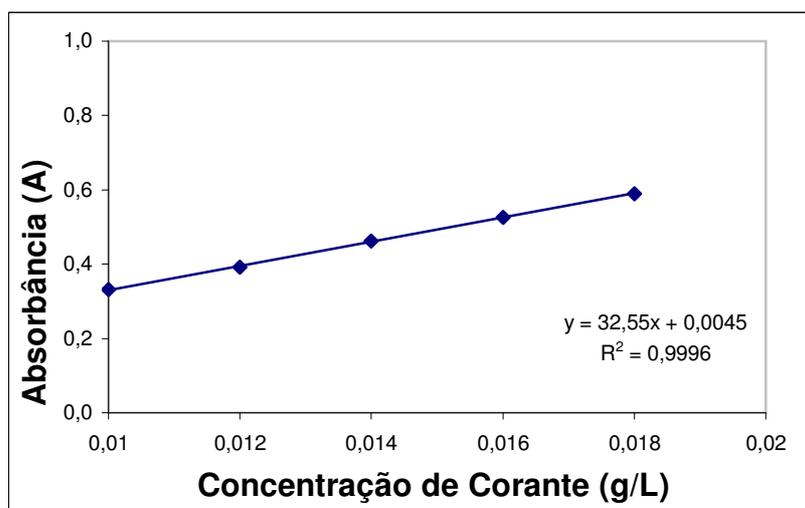


Figura 4.3 – Curva de calibração do Corante Preto (594 nm)