

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

CARACTERIZAÇÃO E REUSO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Química

Orientador: Antônio Augusto Ulson de Souza
Co-Orientadora: Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza

Kátya Regina de Freitas

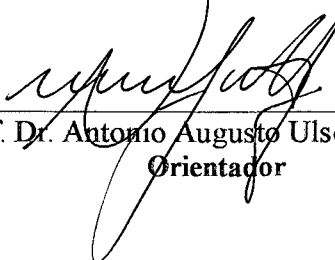
Florianópolis/SC
Fevereiro de 2002

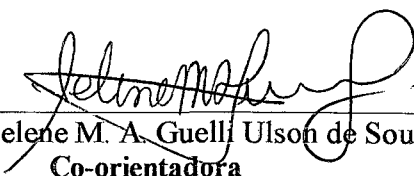
Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil

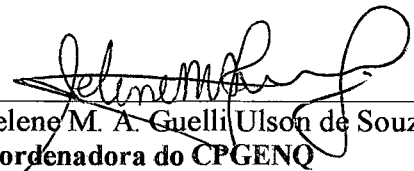
Por

Kátya Regina de Freitas

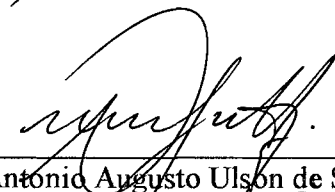
Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos** e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

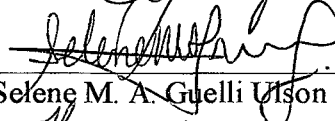

Prof. Dr. Antonio Augusto Ulson de Souza
Orientador

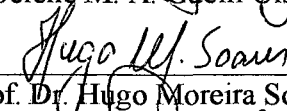

Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Ulson de Souza
Co-orientadora

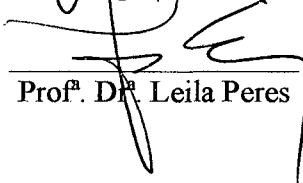

Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Ulson de Souza
Coordenadora do CPGENQ

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Antonio Augusto Ulson de Souza


Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Ulson de Souza


Prof. Dr. Hugo Moreira Soares


Prof.ª Dr.ª Leila Peres

Florianópolis, 19 de Fevereiro de 2002

"A Terra é suficiente para prover as necessidades de todos, porém não para a ganância de todos."

Gandhi

À minha querida mãe, pelo incentivo e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos meus queridos avós, Elza Benta de Souza e Olavo Proxério de Souza e pai, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Ao professor *Antônio Augusto Ulson de Souza* e a professora *Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza* pela paciência e orientação deste trabalho.

A empresa Marisol pelo suporte e apoio na realização do levantamento de campo e análises físico-químicas.

Ao professor *Maurício L. Senz*, pelo empréstimo de alguns equipamentos para realização deste trabalho.

Aos colegas do CPGENQ, pelo companheirismo.

Aos amigos do LABSIN e LABMASSA pelo companheirismo, compreensão, otimismo, atenção e apoio.

Ao *Anésio* pela prestatividade, paciência e amizade.

Ao *Everson*, pela atenção, compreensão e apoio.

A *Juliana, Leonora e Solange*, pela incondicional amizade.

A *Danile, Janaína, Lorena e Leila*, pelo incentivo e amizade.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

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

ÍNDICE

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras	xi
Nomenclatura	xix
Resumo	xx
Abstract	xxi
1 – Introdução e Objetivos	1
2 – Revisão Bibliográfica	4
2.1 – Indústria Têxtil	4
2.2 – Indústria da Água na Indústria Têxtil	6
2.3 – Processo Têxtil	9
2.3.1 – Matéria-Prima Têxtil	10
2.3.2 – Produtos Químicos Auxiliares Utilizados na Indústria Têxtil ...	11
2.3.3 – Corantes Utilizados na Indústria Têxtil	13
2.3.4 – Beneficiamento Têxtil	18
2.3.5 – Geração e Tratamento de Efluentes Têxteis	24
2.3.6 – Recuperação, Recirculação e Minimização de Efluentes	30
3 – Metodologia	45
3.1 – Equipamento Tipo “Jet”	45
3.2 – Coleta das Amostras	46
3.3 – Amostragem e Preservação dos Afluentes e dos Efluentes	47
3.4 – Esquemas Representativos dos Processos Estudados	47
3.5 – Procedimento Experimental	59
3.5.1 – Métodos Analíticos	60

3.5.1.1	– Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Fixos (SF)	60
3.5.1.2	– Medida de pH	60
3.5.1.3	– Alcalinidade Parcial e Total	60
3.5.1.4	– Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	61
3.5.1.5	– Turbidez	61
3.5.1.6	– Cor	61
3.5.1.7	– Metal Ferro	62
3.5.1.8	– Demanda Química de Oxigênio (DQO)	62
4	– Resultados e Discussão	64
4.1	– Caracterização dos Efluentes	64
4.2	– Caracterização do Afluente	68
4.3	– Caracterização dos Efluentes das Etapas de Preparação e Tingimento	69
4.3.1	– Caracterização dos Efluentes da Cor Branca	69
4.3.2	– Caracterização dos Efluentes da Cor Preta	80
4.3.3	– Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Clara	92
4.3.4	– Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Média	104
4.3.5	– Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Escura ...	114
5	– Conclusões e Sugestões	131
	Referências Bibliográficas	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Maiores produtores têxteis em 1997 (milhares de toneladas)	4
Tabela 2.2	– Limites de tolerância de qualidade da água para utilização nos processos têxteis.....	8
Tabela 2.3	– Evolução do consumo mundial de matérias primas têxteis	10
Tabela 2.4	– Consumo de fibras no Brasil em 1999	11
Tabela 2.5	– Composição química do fio de algodão	11
Tabela 2.6	– Auxiliares químicos utilizados em tingimento	13
Tabela 2.7	– Descrição das principais classes de corantes têxteis.....	16
Tabela 2.8	– Informações dos corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano de base de 1998	17
Tabela 2.9	– Destino aproximado das vendas internas dos corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano de base de 1998	17
Tabela 2.10	– Composição utilizada no banho de alvejamento em escala industrial ...	21
Tabela 2.11	– Composição utilizada no banho de purga em escala industrial	21
Tabela 2.12	– Parâmetros das águas residuais do equipamento “jet” (R:B 1:6,5)	25
Tabela 2.13	– Contaminantes/kg de material no equipamento “jet” (R:B 1:6,5)	26
Tabela 2.14	– Média do consumo de água de alguns processos têxteis conforme o tipo de fibra	26
Tabela 2.15	– Características dos despejos do processamento de fibras de algodão ...	27
Tabela 2.16	– Valores médios e parâmetros característicos do efluente têxtil bruto ...	27
Tabela 2.17	– Características ecologicamente relevantes das substâncias que vão para os efluentes têxteis	29
Tabela 2.18	– Processos de tratamento de efluentes	30
Tabela 2.19	– Classificação dos corantes têxteis com relação à remoção de cor	43
Tabela 3.1	– Identificação dos efluentes conforme a intensidade das cores selecionadas	60
Tabela 4.1	– Vazões médias tratadas nas estações de tratamento de afluentes e efluentes durante alguns meses do ano de 2001	65
Tabela 4.2	– Histórico da Estação de Tratamento de Efluentes (litros/kg malha)	65
Tabela 4.3	– Características químicas e vazões médias geradas nas etapas do	

	processo de beneficiamento têxtil	66
Tabela 4.4	– Levantamento do consumo de água na tinturaria referente ao mês de agosto de 2001	66
Tabela 4.5	– Relação de volume de água/massa de substrato por cor selecionada, obtida no equipamento tipo “jet”	67
Tabela 4.6	– Processamento total de substratos no ano 2000	67
Tabela 4.7	– Resultado da caracterização da água industrial	68
Tabela 4.8	– Identificação das fases do processo de preparação e tingimento da cor branca	69
Tabela 4.9	– Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor branca	80
Tabela 4.10	– Identificação das fases da etapa de preparação e tingimento da cor preta	81
Tabela 4.11	– Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor preta	92
Tabela 4.12	– Identificação das fases da etapa do processo de preparação e tingimento da cor de intensidade clara	93
Tabela 4.13	– Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor clara	103
Tabela 4.14	– Identificação das fases da etapa do processo de preparação e tingimento da cor de intensidade média	104
Tabela 4.15	– Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor de intensidade média	113
Tabela 4.16	– Identificação das fases da etapa de preparação e tingimento da cor de intensidade escura	114
Tabela 4.17	– Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor escura	124
Tabela 4.18	– Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor branca ..	126
Tabela 4.19	– Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor preta	127
Tabela 4.20	– Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade clara	127
Tabela 4.21	– Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade média	128

Tabela 4.22	–	Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade escura	129
Tabela 4.23	–	Porcentagens de potencial de reutilização das cores analisadas	129
Tabela 4.24	–	Volumes das cores analisadas que podem ser reutilizados	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Esquema de distribuição do consumo de água no mundo	6
Figura 2.2	– Etapas características dos processamento à úmido de tecidos de algodão e sintéticos	18
Figura 2.3	– Esquema de remoção de cor utilizando somente tecnologia de membranas	38
Figura 3.1	– Esquema representativo do equipamento “jet”	46
Figura 3.2	– Esquema representativo do processo de preparação por purga convencional	48
Figura 3.3	– Esquema representativo do processo de preparação por purga ácida ...	49
Figura 3.4	– Esquema representativo do processo de preparação para o tingimento da cor branca	50
Figura 3.5	– Esquema representativo do processo de preparação por pré-alveamento para o tingimento das cores de intensidade clara e média .	51
Figura 3.6	– Esquema representativo do processo de tingimento da cor branca	52
Figura 3.7	– Esquema representativo do processo de tingimento da cor preta	53
Figura 3.8	– Esquema representativo do processo de tingimento da cor clara	55
Figura 3.9	– Esquema representativo do processo de tingimento da cor média	56
Figura 3.10	– Esquema representativo do processo de tingimento da cor escura	58
Figura 4.1	– Esquema representativo da água utilizada no beneficiamento desde a captação até o despejo no corpo receptor	64
Figura 4.2	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	70
Figura 4.3	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	70
Figura 4.4	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	71
Figura 4.5	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	71
Figura 4.6	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na	

	etapa de preparação da cor branca	72
Figura 4.7	– Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	72
Figura 4.8	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	73
Figura 4.9	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	73
Figura 4.10	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	74
Figura 4.11	– Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	74
Figura 4.12	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	75
Figura 4.13	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca	75
Figura 4.14	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	76
Figura 4.15	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	76
Figura 4.16	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	77
Figura 4.17	– Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	77
Figura 4.18	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	77
Figura 4.19	– Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	78
Figura 4.20	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	78
Figura 4.21	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	79
Figura 4.22	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	79

Figura 4.23	–	Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca	80
Figura 4.24	–	Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	82
Figura 4.25	–	Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	82
Figura 4.26	–	Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	83
Figura 4.27	–	Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	83
Figura 4.28	–	Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	83
Figura 4.29	–	Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	84
Figura 4.30	–	Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	84
Figura 4.31	–	Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	85
Figura 4.32	–	Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	85
Figura 4.33	–	Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	86
Figura 4.34	–	Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta	86
Figura 4.35	–	Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	87
Figura 4.36	–	Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	87
Figura 4.37	–	Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	87
Figura 4.38	–	Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	88
Figura 4.39	–	Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na	

	etapa de tingimento da cor preta	88
Figura 4.40	– Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	89
Figura 4.41	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	89
Figura 4.42	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	90
Figura 4.43	– Variação da SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	90
Figura 4.44	– Variação da SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	90
Figura 4.45	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	91
Figura 4.46	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta	91
Figura 4.47	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	94
Figura 4.48	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	94
Figura 4.49	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	94
Figura 4.50	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	95
Figura 4.51	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	95
Figura 4.52	– Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	96
Figura 4.53	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	96
Figura 4.54	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	96
Figura 4.55	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	97

Figura 4.56	–	Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	97
Figura 4.57	–	Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara	98
Figura 4.58	–	Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de pré-alveamento da cor de intensidade clara	98
Figura 4.59	–	Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	99
Figura 4.60	–	Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	99
Figura 4.61	–	Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	99
Figura 4.62	–	Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	100
Figura 4.63	–	Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	100
Figura 4.64	–	Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	101
Figura 4.65	–	Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	101
Figura 4.66	–	Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	101
Figura 4.67	–	Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	102
Figura 4.68	–	Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	102
Figura 4.69	–	Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	103
Figura 4.70	–	Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara	103
Figura 4.71	–	Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	105
Figura 4.72	–	Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de	

	preparação da cor de intensidade média	105
Figura 4.73	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	106
Figura 4.74	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	106
Figura 4.75	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	106
Figura 4.76	– Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	107
Figura 4.77	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	107
Figura 4.78	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	107
Figura 4.79	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	108
Figura 4.80	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	108
Figura 4.81	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média	108
Figura 4.82	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	109
Figura 4.83	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	109
Figura 4.84	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	110
Figura 4.85	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	110
Figura 4.86	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	110
Figura 4.87	– Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	111
Figura 4.88	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	111

Figura 4.89	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	112
Figura 4.90	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	112
Figura 4.91	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	113
Figura 4.92	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média	113
Figura 4.93	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	115
Figura 4.94	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	115
Figura 4.95	– – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	116
Figura 4.96	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	116
Figura 4.97	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	116
Figura 4.98	– Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	117
Figura 4.99	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	117
Figura 4.100	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	118
Figura 4.101	– Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	118
Figura 4.102	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	119
Figura 4.103	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura	119
Figura 4.104	– Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	120
Figura 4.105	– Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de	

	tingimento da cor de intensidade escura	120
Figura 4.106	– Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	120
Figura 4.107	– Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	121
Figura 4.108	– Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	121
Figura 4.109	– Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	121
Figura 4.110	– Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	122
Figura 4.111	– Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	122
Figura 4.112	– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	122
Figura 4.113	– Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	123
Figura 4.114	– Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	123
Figura 4.115	– Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura	123

NOMENCLATURA

RB	-	Relação de Banho
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
STD	-	Sólidos Totais Dissolvidos
SST	-	Sólidos Suspensos Totais
SF		Sólidos Fixos

RESUMO

A globalização do mercado impulsionou as empresas, em geral, a se tornarem mundialmente concorrentes e produzirem produtos ecologicamente corretos, fabricados com processos que protejam o meio ambiente, gerem uma mínima quantidade ou evitem quaisquer tipos de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos).

No beneficiamento têxtil, que compreende as operações de purga, mercerização, desengomagem, alveijamento e tingimento, estão presentes as etapas do processo onde é gerado o maior volume de efluentes líquidos, com elevada quantidade de carga contaminante dependendo do tipo de processo operacional, matéria prima utilizada e do produto final.

A redução do volume de efluentes, através de recirculação e reaproveitamento de água e recuperação de produtos químicos e subprodutos, sem comprometimento da qualidade do produto acabado, constitui no maior desafio enfrentado pela indústria têxtil.

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização dos efluentes das etapas de preparação e tingimento, visando aumentar a eficiência no uso de insumos, água e energia, através da minimização ou reciclagem de efluentes gerados no processo produtivo da Indústria Têxtil. Foram determinados os parâmetros: cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade parcial e total, condutividade, ferro, sólidos totais dissolvidos, suspensos totais e fixos, e matéria orgânica determinada pela demanda química de oxigênio, de uma indústria têxtil de grande porte de Santa Catarina.

Foi estabelecida uma estratégia para o reuso de efluentes oriundos do processamento de malhas dos lotes de cores branca, preta, de intensidade clara, média e escura. Para os efluentes que não permitiram reutilização direta propõem-se algumas alternativas de pré-tratamento para viabilizar o seu reuso.

ABSTRACT

The market globalization stimulated the companies, in general, to become worldwide competitors and to produce ecologically correct products, manufactured with processes that protect the environment, generating a minimum amount or prevent any types of wastes (solid, liquid and gas).

In the finishing process, that comprehend the of purge, mercerizin, desizing, bleaching and dyeing operations, the biggest volume of liquid effluents are generated, with high contaminant load depending on the type of operational process, raw material used and of the final product.

The reduction of the effluent volume, through recirculation and chemical products and by-products recovery, without interfering finished product quality, constitutes the biggest challenge faced for the textile industry.

The main goal of this work is the characterization of the effluents of the preparation and dyeing steps, aiming to increase the efficiency in the use of chemicals, water and energy, through the minimization or effluents recycling generated in the productive process of the Textile Industry. The determined parameters were: color, turbidity, temperature, pH, partial and total alkalinity, conductivity, iron, suspended solids, fixed solids, total dissolved solids, and organic matter determined by the chemical oxygen demand, of a big textile industry located in Santa Catarina.

It was established a strategy for reutilization effluents from the stocknitte from batches in the following colors white, black, of clear intensity, of average intensity and of dark intensity. For the effluents that couldn't have direct reutilization, technological alternatives are proposed making possible their reutilization.

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O consumo de água tende a aumentar com o crescimento industrial, e o seu uso racional torna-se imprescindível, uma vez que a água é um recurso finito em nosso planeta.

Santa Catarina é um pólo importante da indústria têxtil no Brasil. O processo produtivo têxtil no estado, de modo geral, apresenta um recurso tecnológico baseado nos moldes internacionais, adaptado à realidade de mercado e à economia brasileira.

O Estado de Santa Catarina tem seu pólo têxtil localizado principalmente no Vale do Itajaí, onde apenas na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açú encontram-se setenta e cinco indústrias. Para controlar a poluição gerada pela descarga de efluentes líquidos, muitas das indústrias empregam sistemas de tratamento de efluentes bastante eficientes, mas existem empresas que apresentam sistemas inadequados tornando-se uma importante fonte de poluição dos mananciais hídricos. A solução destes problemas exige grandes investimentos financeiros no processo industrial, enquanto que a reparação do dano ambiental, por sua vez, exige investimentos de várias ordens superiores.

A indústria têxtil requer grandes quantidades de água em seu processamento a úmido, nas operações de beneficiamento e acabamento. O consumo de água depende do tipo de equipamento, da fibra processada e do processo utilizado.

Atualmente existe um grande interesse das indústrias em reduzir a poluição no processo industrial, não apenas na estação de tratamento, mas em cada etapa da cadeia produtiva, através da reciclagem das correntes de efluentes líquidos e da recuperação de produtos e subprodutos, diminuindo, além dos volumes de água requeridos e eliminados, os custos de tratamento da água, tratamento de efluentes e do consumo de produtos químicos. A recuperação da goma no processo de desengomagem, dos corantes e auxiliares, do processo de tingimento são alguns dos desafios tecnológicos do setor têxtil.

As indústrias preferem tecnologias de tratamento que tornam possível reciclar no processo de produção tanto a água quanto, sempre que possível, os produtos, de alto valor agregado, contidos no efluente. Assim, os custos de investimento são compensados através da economia com a redução dos custos da água utilizada e do tratamento de efluentes.

De acordo com o tipo de tecnologia existente na indústria, podem existir situações favoráveis ou não para o reuso dos efluentes líquidos. Um sistema de reuso do efluente aumentará a segurança de que o processo produtivo não sofra as conseqüências de

falta d'água. Porém, se não for utilizado um sistema para adequação dos efluentes tanto às restrições do processo quanto aos índices de qualidade, este efluente não poderá ser utilizado no processo de forma nobre. Em certos casos, para se atingir as características técnicas do processo, faz-se necessário o tratamento para remoção de sais.

O presente trabalho visa caracterizar os parâmetros físico-químicos dos afluentes/efluentes de cada etapa da cadeia produtiva da indústria têxtil, assim como analisar as características específicas do processo nos quais estes estão inseridos, e as possibilidades e condições em que o efluente e produtos recuperados possam ser reutilizados.

Este trabalho possui como objetivo geral aumentar a eficiência no uso de água e energia, através da minimização ou reciclagem de efluentes gerados no processo produtivo da Indústria Têxtil.

Para atingir o objetivo geral do trabalho, tem-se como objetivos específicos a caracterização de cada despejo de efluentes das etapas do processo produtivo têxtil purga/alvejamento/tingimento e a análise da viabilidade de modificação no processo, visando a minimização da produção de efluentes com elevados teores de compostos químicos, os quais são de difícil 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 a matéria-prima têxtil, produtos químicos e corantes utilizados, beneficiamento, geração e tratamento de efluentes, recuperação, recirculação e minimização de efluentes.

Capítulo 3 – Metodologia

O procedimento experimental é apresentado neste capítulo, incluindo-se os métodos utilizados para a determinação de cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade parcial e total, condutividade, ferro, sólidos totais dissolvidos, suspensos totais e fixos, e demanda química de oxigênio.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos neste trabalho, incluindo a caracterização dos efluentes de cor branca, cor preta, cor de intensidade clara, média e escura.

Capítulo 5 – Conclusões e Sugestões

As principais conclusões obtidas neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Indústria Têxtil

A indústria têxtil representa um extraordinário valor econômico-social, absorvendo expressiva quantidade de mão de obra e gerando divisas. No Brasil, por exemplo, há cerca de 5000 indústrias têxteis, assim distribuídas: 11% de grande porte; 21% de pequeno; e 68% como micro-empresas. Situa-se, na economia brasileira, dentre 24 setores de atividades industriais, no quinto lugar em empregos diretos, e no sexto em faturamento (Conchon, 1999).

O Brasil, em 1997, encontrava-se entre os 10 maiores produtores mundiais de fios/filamentos, tecidos e malhas, especialmente de algodão. Nesse último segmento, malhas com predominância de algodão, o país era o terceiro maior produtor mundial, somente atrás dos Estados Unidos e da Índia, conforme mostra a Tabela 2.1 (Gorini, 2000).

Tabela 2.1 - Maiores produtores têxteis em 1997 (milhares de toneladas).

País	Fios/Filamentos	Tecidos	Malhas
Estados Unidos	6.319	3.733	922
China	4.926	5.630	n.d.
Índia	3.837	2.528	550
Taiwan	3.595	1.070	241
Coréia do Sul ^a	2.064	1.813	n.d.
Paquistão	1.562	1.017	n.d.
Japão	1.315	854	151
Brasil	1.261	837	430
Turquia	866	420	n.d.
Alemanha	649	324	59
Outros	1.926	1.146	256
Total	28.320	19.372	2.609

Fonte: Gorini, 2000.

^a Estimativas extra oficiais.

A produção têxtil cresceu moderadamente entre 1990 e 1999: a produção de fios (em toneladas) teve uma taxa acumulada de 10% nesse período (média de 1% ao ano), a de tecidos planos acumulou 3% e a de malhas 30% (média de 2,9% ao ano). Já a produção de

confeccionados, incluindo vestuário, acessórios, linha lar e artigos técnicos, cresceu à taxa acumulada de 84% no mesmo período (média de 7% ao ano), alcançando, em 1999, 8,2 bilhões de peças distribuídas. O consumo, por outro lado, apresentou uma significativa expansão na década, passando de 8,27 kg/habitante para 9,50 kg/habitante (Gorini, 2000).

Santa Catarina é um pólo importante da indústria têxtil no Brasil. A situação catarinense em termos de processo produtivo apresenta um recurso tecnológico baseado nos moldes internacionais, adaptado à realidade de mercado e à economia brasileira (Martins, 1997).

O complexo industrial têxtil do Estado de Santa Catarina está localizado principalmente no Vale do Itajaí, o que gera grande preocupação regional em resolver os problemas de poluição ambiental. Na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açú encontram-se setenta e cinco indústrias. Destas, trinta e seis são têxteis e correspondem a uma carga contaminante de 207.621 equivalente populacional. Deste mesmo total de trinta e seis, oito não têm sistema de tratamento de efluente ou eles ainda estão em fase de implantação (Brandão, 1998).

Algumas das principais indústrias localizadas no Vale do Itajaí são citadas a seguir: Companhia Têxtil Karsten; Cremer S/A; Hering Têxtil S/A; Majú Indústria Têxtil Ltda; Indústrias Têxteis Renaux S/A; Sul Fabril S/A; Malwee Malhas Ltda; Marisol S/A Indústria do Vestuário; Artex S/A; Buettner S/A Indústria e Comércio; Teka Tecelagem Kuehnrich S/A (Santos, 1998).

A indústria têxtil, especialmente o setor de beneficiamento, é responsável pela poluição, principalmente dos corpos de água, das regiões em que atua. Maiores exigências impostas pela legislação e cobranças sociais vêm criando a necessidade premente de mudar este quadro. Atualmente, as indústrias utilizam sistemas de gestão ambiental para aumentar a sua produtividade, seja na eficiência das máquinas, na redução dos custos ou agregando alguma característica ao produto final, que possa valorizá-lo no mercado, gerando a menor quantidade de resíduos possível (Pitoli, 2000; Tralli, 2000).

Inúmeras alterações quanto às políticas e regulamentos, tanto em nível nacional como internacional, foram feitas especialmente nas últimas três décadas. Os valores limites dos parâmetros controlados foram se ajustando para proteger o meio ambiente. Esses valores são estabelecidos para cada indústria e diferem segundo os países. Normalmente os padrões quantitativos se estabelecem no setor têxtil para os seguintes parâmetros: corrente efluente, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO),

sólidos em suspensão (SS), pH, e temperatura. Em alguns casos se adiciona a cor e o cromo (Sanin, 1997).

2.2 - Importância da Água na Indústria Têxtil

A característica da água ser um solvente impede de encontrá-la em estado de absoluta pureza. São inúmeras as impurezas que se apresentam nas águas naturais; várias delas inócuas, poucas desejáveis e algumas extremamente perigosas. Dentre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e, até mesmo, elementos radioativos (Richter e Azevedo Netto, 1991).

Segundo Silvestre (1995), mais de 97% da água que compõe o planeta é salgada, 2% está na forma de gelo, e o 1% restante está nos lençóis subterrâneos, lagos, rios e atmosfera. O Brasil detém 8% de toda a água doce superficial do mundo. Segundo Sanin (1997), cerca de 97,4% da água presente no planeta está na forma de oceanos e 2,6% são água doce, presente nos lençóis freáticos (22,2%), gelo (77,7%) e na forma disponível (0,6). Na Figura 2.1 é apresentado um esquema de distribuição do consumo da água no mundo. Os maiores consumos do total de água disponível são destinados à agricultura e à indústria. Dentro desta última, o setor têxtil consome 15% da água, devolvendo-a, depois dos processos, altamente contaminada (Sanin, 1997).

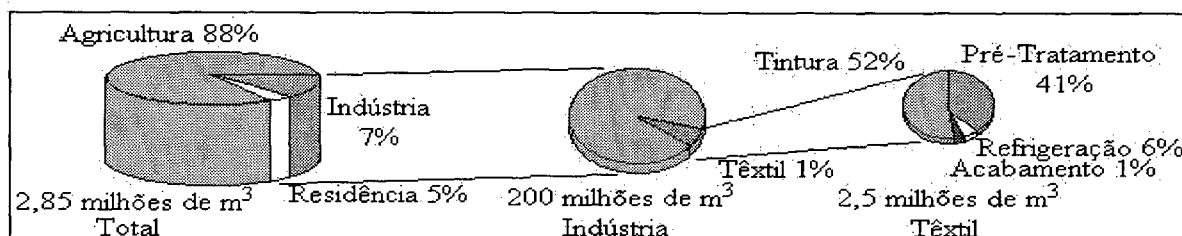


Figura 2.1 – Esquema de distribuição do consumo de água no mundo (Fonte: Sanin, 1997).

Existem controvérsias sobre o futuro dos recursos hídricos no mundo. Uns afirmam que haverá escassez hídrica, sustentados em estimativas, como a da Organização Mundial das Nações Unidas - ONU, citado em Bello (2000), que diz que nos próximos 25

anos, cerca de 2,8 bilhões de pessoas viverão em regiões de seca crônica. Os contrários afirmam que apesar do uso irresponsável e do descaso com relação aos mananciais, não existirão problemas quanto à quantidade, isto é, dificilmente ocorrerá a situação de escassez (Alves, 2000).

Bello (2000) e Silvestre (1995) enfocam que no Brasil a ilusão de abundância de água, esconde a péssima gestão e o problema de distribuição dos recursos hídricos. Esta idéia de ausência de acompanhamento sistemático das condições de poluição dos sistemas hídricos também é abordada por Novaes et al. (2000).

De acordo com Novaes et al. (2000), os problemas mais graves na gestão das águas doces do Brasil se devem a dados e informações insuficientes ou inacessíveis para promover adequada avaliação dos recursos hídricos; manejo inadequado do solo na agricultura; inexistência de práticas efetivas de gestão de usos múltiplos e integrados dos recursos hídricos; critérios diferenciados na implementação dos processos de gestão no país; inadequação dos meios disponíveis no poder público para implementar uma gestão eficiente; base legal insuficiente para assegurar a gestão descentralizada; participação incipiente da sociedade na gestão, com excessiva dependência das ações de governos; distribuição injusta dos custos sociais associados ao uso intensivo da água; recursos científico-tecnológicos insuficientes para a gestão; decisões tomadas sem recurso sistemático a métodos quantitativos de avaliação; escassez de água, natural ou causada pelo uso intensivo dos recursos hídricos; disseminação de uma cultura da abundância dos recursos hídricos; ocorrência de enchentes periódicas nos grandes centros urbanos brasileiros.

A importância do aspecto ecológico é uma realidade para os países industrializados e uma necessidade a curto e médio prazos para aqueles que se encontram em vias de desenvolvimento. Isso significa que toda inversão de recursos financeiros realizada na proteção do meio ambiente supõe uma garantia para o futuro e permite: alcançar os mercados internacionais; aumentar a competitividade; evitar problemas com o público, governo e entidades financeiras internacionais; controlar os riscos de acidentes; tirar vantagens de novas oportunidades e diminuir as sanções por contaminação (Sanin, 1997).

Segundo Novaes et al. (2000), a participação do uso industrial no consumo de água e o impacto de efluentes contaminados nas bacias hidrográficas, que eram significativos na década de 80, estão se alterando rapidamente no Brasil, motivados: pela

internacionalização das exigências ambientais para as indústrias que de alguma forma participam do mercado externo, com seus produtos ou pelo controle acionário; pelo aumento de custos da água nas áreas metropolitanas onde se situa a maioria das indústrias; pelo aumento nos custos de energia para captação, tratamento e bombeamento de água; pela adoção de programas de redução de custos, melhoria operacional e controle interno dos processos com vistas à redução de consumo de energia e insumos.

As indústrias possuem seus próprios sistemas de captação e tratamento da água utilizada no processo industrial e nas demais atividades, necessárias para o seu funcionamento. A utilização da água dentro de uma indústria têxtil, mais especificamente no processo de beneficiamento, ocorre basicamente em todas as etapas, seja diretamente para lavagem, tingimento, amaciamento e outros, ou seja, indiretamente para fazer resfriamento, aquecimento ou produção de vapor em caldeiras (Martins, 1997).

A qualidade da água utilizada no processo têxtil possui limites de tolerância e restrições que variam conforme o autor. Para Little (1975), a exigência rigorosa de qualidade não precisa ser a mesma para todos os processos. Na Tabela 2.2 são apresentados os limites de tolerância que caracterizam sua qualidade para utilização no processo têxtil.

Tabela 2.2 - Limites de tolerância de qualidade 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 fluorescente	< 0,2
Sílica	< 10	Sólidos totais	< 500

* Para alguns usos o limite é inferior a 0,1 mg/l. Fonte: Little, 1975.

Para Araújo e Castro (1984), a água é o insumo em maior quantidade empregado no acabamento têxtil e deve seguir as seguintes exigências de qualidade: ausência de sólidos em suspensão e de substâncias que possam provocar manchas durante o processamento dos artigos; não haver excesso de ácido nem álcali. O pH deve estar compreendido entre 5 e 9, mas o mais próximo possível de 7; ausência de substâncias que afetam as operações de acabamento, como sais de ferro, de manganês, cálcio, magnésio e metais pesados, nitritos, cloro, etc.; não ser corrosiva para tanques e tubulações; ausência de substâncias que provocam a formação de espuma e cheiros desagradáveis.

2.3 - Processo Têxtil

O processo têxtil de produção de tecidos é dividido em fiação, tecelagem e acabamento. Na etapa da fiação a matéria-prima (algodão) é processada nos abridores, batedores, cardas, passadores, penteadeiras, maçaroqueiras, filatórios, retorcedeiras e conicaleiras. Nesta etapa não há geração de efluentes líquidos, pois todas as operações ocorrem a seco. Na etapa de tecelagem os fios tintos ou crus são transformados em tecidos nos teares. Esta etapa trata-se de um processo seco, portanto não ocorre a geração de efluentes líquidos, muito embora a etapa posterior de desengomagem seja uma importante fonte geradora de efluentes líquidos poluidores (Braile e Cavalcanti, 1993).

Na etapa de acabamento os tecidos são tratados para adquirirem as características de toque, impermeabilidade, estabilidade dimensional, etc. Esta etapa é dividida em (Araújo e Castro, 1984):

- Tratamento prévio ou Preparação: Nesta etapa elimina-se a impureza das fibras e melhora-se a estrutura do material para prepará-lo para as operações de tingimento, estamparia e acabamento.
- Tingimento: Nesta etapa os materiais têxteis devem ser coloridos uniformemente.
- Estamparia: Esta etapa consiste na aplicação de um desenho colorido no material têxtil.
- Acabamentos: São as operações que conferem as características essenciais de aspecto, brilho, toque, caimento, amarrotamento, resistência, etc.

2.3.1 - Matéria-Prima Têxtil

De acordo com Araújo e Castro (1984), as fibras têxteis podem ter várias origens que servem como critério para a sua classificação. As fibras de origem natural são produzidas pela natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil e as de origem não-natural ou sintéticas, são as produzidas por processos industriais. As fibras são regeneradas ou artificiais quando os polímeros naturais são transformados por ação de reagentes químicos. As fibras sintéticas são obtidas a partir de polímeros originalmente sintetizados quimicamente em laboratório.

Para Martins (1997), as fibras são as principais matérias-primas no setor têxtil, quer sejam naturais, artificiais ou sintéticas. As fibras naturais são: algodão, lã, linho, seda, entre outros; as fibras artificiais são fabricadas a partir de produtos naturais de composição macromolecular (animal/vegetal) como a viscose, o acetato de celulose; as fibras sintéticas são formadas por polímeros de alto grau de polimerização, obtidas por síntese a partir de monômeros derivados do petróleo. A evolução do consumo mundial de matérias têxteis é apresentada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Evolução do consumo mundial de matérias primas têxteis.

Matéria-prima têxtil	1950		1960		1975		1985	
	Consumo*	%	Consumo*	%	Consumo*	%	Consumo*	%
Algodão	8,90	62,0	10,30	59,0	12,50	43,0	11,60	30,0
Lã	1,30	9,0	1,50	8,5	1,60	5,5	1,60	4,0
Rayon Celulósico	2,10	15,0	2,50	14,5	3,50	12,0	3,50	9,0
Sintéticos	0,15	1,0	0,90	5,0	8,10	28,0	18,30	48,0
Outras Fibras	1,95	13,0	2,20	13,0	3,30	11,5	3,40	9,0
Total	14,40	100,0	17,40	100,0	29,00	100,0	38,40	100,0
Habitantes mundo (bilhões)	2,5		2,9		4,0		4,8	
Consumo kg/hab/ano	5,75		6,00		7,25		8,00	

* Consumo em milhões de toneladas

Fonte: Martins, 1997.

A indústria têxtil no Brasil evoluiu, modernizou-se com máquinas e equipamentos. Aconteceram o desenvolvimento e a inserção das fibras sintéticas e artificiais e o seu elevado grau de utilização, mas o algodão continua a ser o substrato mais utilizado no beneficiamento e industrialização das fibras naturais, como pode ser

observado na Tabela 2.4. A composição química da fibra de algodão influencia os processos de beneficiamento têxtil. Na Tabela 2.5, é apresentada a composição química média encontrada no fio de algodão.

Tabela 2.4 - Consumo de fibras no Brasil em 1999.

Fibras Naturais	Quantidade (mil t)	Fibras Químicas	Quantidade (mil t)
Algodão	1.049	Poliéster	192
Lã	18	Polipropileno	92
Rami	18	Poliamida	64
Juta	14	Acrílico	40
Linho	5	Viscose	36
Seda	4	Acetato	4
Total	1.108	Total	428

Fonte: Gorini, 2000.

Tabela 2.5 - 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 pécico	0,4 – 1,0
Resíduo de cascas	3,0 – 5,0
Parafina	0,2 – 3,0

Fonte: Zomignan, 1995a.

2.3.2 - Produtos Químicos Auxiliares Utilizados na Indústria Têxtil

Para Steinhart (2000), em sua maioria, os auxiliares de tingimento utilizados 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.

Steinhart (2000) define a ação dos tensoativos nas diferentes aplicações têxteis como:

– “*Carriers*”: Possuem como base de formulação substâncias não tensoativas, porém contêm tensoativos em sua formulação.

– *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.

– *Dispersantes*: Ou colóides protetores, têm como principal característica impedir a reaglomeração dos sólidos.

– *Umectantes*: Este tensoativo tem como função principal emulgar (retirar) o ar presente no tecido em água, mais especificamente, substituir as superfícies de contato ar/tecido por uma superfície de contato água/tecido.

– *Detergentes*: São tensoativos que possuem a propriedade de umectar os substratos têxteis, permitindo que, pela quebra da tensão superficial da água, a sujeira seja facilmente removida do material para 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.

– *Antiespumantes*: Agem na estrutura da espuma fazendo com que a mesma perca elasticidade e se rompa.

– *Amaciantes*: Conferem a sensação de maciez e volume, que é dada pela parte hidrófoba da base amaciante. Por esse motivo, a absorção de água dos materiais têxteis fica prejudicada quando da aplicação de um amaciante.

Na Tabela 2.6 são apresentados os produtos químicos auxiliares mais utilizados no tingimento.

Tabela 2.6 - Auxiliares químicos utilizados em tingimento.

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
Sequestrantes	EDTA	Sequestrante
Dispersantes e surfactantes	Aniônicos, catiônicos e não-iônicos	Amaciante, dispersantes de corantes
Agentes oxidantes	Peróxido de hidrogênio Nitrito de sódio	Insolubilizante de corantes
Agentes redutores	Hidrossulfito de sódio Sulfeto de sódio	Remoção de corantes não reagidos; solubilizante
“Carriers”	Organoclorados	Aumenta a absorção

Fonte: Peres e Abrahão, 1998.

Os tensoativos ainda podem ser considerados como auxiliares no sistema de tratamento biológico de efluentes. Quando em baixas concentrações, como é o caso da indústria têxtil, auxiliam na decomposição de substâncias insolúveis em água. Isto se deve ao fato de solubilizarem o material, facilitando o acesso das bactérias às substâncias a serem degradadas (Steinhart, 2000).

2.3.3 - Corantes Utilizados na Indústria Têxtil

Segundo Correia et al. (1994), os corantes são geralmente moléculas pequenas compostos de dois grupos: um cromóforo, que é responsável pela cor e um funcional, que une o corante à fibra.

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com o método pelo qual ele é fixado à fibra. Existem muitos tipos de corantes, os principais classificados pelo modo de fixação são apresentados a seguir (Trotman, 1984; Andrade Filho e Santos, 1987; Guaratini e Zanoni, 2000).

- *Corantes Reativos*: Os corantes deste grupo possuem como característica 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 corante em que o processo de coloração se opera através de ligações de menor intensidade. A montagem (fixação) se efetua pela adição de um eletrólito.

No Brasil, a classe mais importante para a tintura de algodão é, sem dúvida, a dos corantes reativos, devido à sua facilidade de tingimento da fibra de algodão, já que se alcançam todas as tonalidades desejadas, com bons índices de solidez (Ruiz Silva e Zonignan, 1992).

- *Corantes diretos ou substantivos*: São corantes solúveis em água. Tingem diretamente as fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através das interações de Van der Waals. O banho aquoso deve ser acrescido de um eletrólito, para aumentar a afinidade pela fibra. A grande vantagem desta classe é o grau de exaustão durante a aplicação.

- *Corantes Azóicos*: São obtidos sinteticamente sobre as fibras no momento do tingimento, a partir da aplicação, no material têxtil, de dois compostos, o naftol e uma base. O naftol é um composto aromático insolúvel em água, mas que pela solubilização com hidróxido de sódio, torna-se um naftolato, que monta (fixa) na celulose. Após esta montagem, o material têxtil adquire coloração amarela, que não é sólida à lavagem e luz. A base é um composto químico insolúvel em água, o qual é solubilizado por meio de nitrito de sódio e ácido clorídrico, tornando-se uma base diazotada. Após a obtenção dessa base diazotada, faz-se sua montagem sobre o material têxtil naftolado. A ligação do naftol com a base produz o corante através de um processo que se denomina copulação.

- *Corantes Ácidos*: São solúveis em água. Tingem diretamente as fibras protéicas e poliamídicas. O termo corante ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, cetonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação.

- *Corantes a cuba*: Também chamados de corantes à tina e de redução, são insolúveis em água. Através de redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, se transformam em leuco derivados solúveis e tingem os materiais têxteis celulósicos. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura de algodão, embora devido às suas excelentes propriedades de fixação, outros materiais também são utilizados. Como a produção química de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ecológicos, o custo desta classe de corantes tem sido bastante alto.

- *Corantes ao Enxofre*: São insolúveis em água. São aplicados após solubilização com sulfureto de sódio. Após a montagem são oxidados convertendo-se nos corantes insolúveis originais. São ideais para fibras celulósicas na obtenção de cores intensas (castanho, azul marinho, preto).

Segundo Valleperas et al. (2001), os corantes ao enxofre sofreram uma evolução tão significativa que atualmente podem ser considerados o tingimento mais ecológico sobre fibras celulósicas e suas misturas. Porém apresenta elevado consumo de água, sobretudo nos processos de lavagem por transbordamento (aproximadamente 100 litros por kg de algodão), consumo de redutores (suficiente para evitar a oxidação do corante no transbordamento) e sais (quantidade mínima de 20 a 40 g/l no tingimento por esgotamento). Estes aspectos de consumo de água, redutores e de sais, somente poderão ser modificados através do aprimoramento tecnológico do processo.

A aplicação dos corantes ao enxofre com açúcares como redutor incrementou o valor da demanda química de oxigênio, mas a biodegradabilidade dos mesmos e o impacto em parte por milhão é muito pequeno, comparado com o valor global. Cerca de 50% da aplicação do preto sulfuroso hoje em dia é feita dessa forma (Valleperas et al. 2001).

- *Corantes dispersos*: Constitui uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão. Durante o processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finamente dividido) sobre o substrato têxtil. Para sua aplicação são necessários agentes dispersantes.

- *Corante Pré-Metalizados*: Tingem principalmente fibras protéicas e poliamida. 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. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito.

- *Corantes Branqueadores*: São também chamados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes. São aplicados para diminuir a aparência amarelada das fibras.

A Tabela 2.7 apresenta as principais classes de corantes têxteis, os tipos de fibras que apresentam afinidade e a taxa de fixação característica de cada corante. A Tabela 2.8 apresenta as informações dos corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano base de 1998 e a Tabela 2.9 o destino aproximado das vendas internas para os corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano base de 1998.

Tabela 2.7 - Descrição das principais classes de corantes têxteis.

Classe de corantes	Método	Fibra tipicamente aplicado	Fixação típica (%)
Ácido	Esgotamento/ "beck"/ contínuo (tapete)	Lã/ nylon	80 – 93
Básico	Esgotamento/ "beck"	Acrílicas/ algumas fibras de poliéster.	97 – 98
Direto	Esgotamento/ "beck"/ contínuo	Algodão/ raion/ outras fibras celulósicas	70 – 95
Disperso	Esgotamento a alta temperatura/ contínuo	Poliéster/ acetato/ outras fibras sintéticas	80 – 92
Reativo	Esgotamento/ "beck"/ "cold pad batch"/ contínuo	Algodão/ outras fibras celulósicas/ lã	60 – 90
Sulfurosos	Contínuo	Algodão e outras fibras celulósicas	60 – 70
Tina	Esgotamento/ "package"/ contínuo	Algodão e outras fibras celulósicas	80 – 95

Fonte: EPA, 1997.

Tabela 2.8 – Informações dos corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano de base de 1998.

Corantes	Capacidade instalada total (t/ano)	Produção (t/ano)	Vendas internas (t/ano)	Vendas externas (t/ano)	Importação (t/ano)	Exportação (t/ano)
Ácidos	4.131	4.465	3.493	355	2.936	526
Azóicos	250	192	98	92	160	2
Básicos	505	201	218	32	1.023	61
A cuba sulfurados	240	202	208	0	439	1.077
Diretos	1.309	1.700	1.573	82	642	142
Dispersos	1.584	656	653	317	1.176	793
Ao enxofre	4.700	4.278	4.227	0	1.313	628
Pré-metalizados	197	276	295	16	Ver corantes ácidos	
Reativos	6.775	6.489	3.585	3.116	1.830	3.789
Solventes	184	80	34	5	279	14
À tina	n.d.	0	265	33	288	160

Fonte: ABIQUIM, 1999.

Tabela 2.9 - Destino aproximado das vendas internas dos corantes têxteis produzidos e comercializados no Brasil no ano de base de 1998.

Usos/ aplicações	Corantes %												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Couro	87,7	-	2,8	-	7,8	-	-	I n f o r m a d o	0,6	I n f o r m a d o	-		
Fibras naturais de lã	2,8	-	-	-	-	-	-		N		0,9	N	-
de algodão	-	9	-	90	52,8	-	100		ã		83,0	ã	100
outras	1,0	9	-	-	-	-	-		o		3,0	o	-
Fibras sintéticas acrílicas	-	-	14,8	-	-	-	-		I		-	I	-
de nylon	4,8	-	-	-	-	1,9	-		n		-	f	-
elastoméricas	0,4	-	-	-	-	-	-		f		-	o	-
de poliéster	-	1	-	-	-	84,5	-		o		-	r	-
outras	-	-	-	-	-	0,4	-		r		-	m	-
Fibras artificiais de viscose	-	-	-	10	8,1	0,9	-		a		12,1	a	-
de acetato	-	-	-	-	-	12,2	-		d		-	d	-
Papel	0,6	-	81,2	-	30,6	-	-	o	0,1	o	-		
Outros	2,7	-	1,2	-	0,7	0,1	-		0,3		-		

Ácidos (1), Azóicos (2), Básicos (3), À cuba sulfurados (4), Diretos (5), Dispersos (6), Ao enxofre (7), Pré-metalizados (8), Reativos (9), Solventes (10), À tina (11).

Fonte: ABIQUIM, 1999.

Engomagem

O processo de engomagem é um dos mais complexos da cadeia têxtil, já que interfere diretamente na produção da tecelagem. É o processo pelo qual passam os fios do urdume visando aumentar a sua resistência mecânica, para resistir aos esforços nos teares e resultando em um tecido mais encorpado na etapa da confecção. Com este processo se consegue um melhor estiramento do tecido que está sendo trabalhado (Martins, 1997; Tralli, 2000).

As gomas utilizadas são próprias para cada tipo de fio; se o objetivo é um tecido mais firme, coloca-se uma solução de goma mais concentrada (Martins, 1997). As características técnicas das gomas são de grande importância e, às vezes, é difícil conseguir todas as características desejadas em um único banho, mas deve-se procurar um equilíbrio entre a necessidade, qualidade e o custo. Portanto o que se deve procurar nos produtos (gomas) são características como: poder de adesão às fibras; capacidade de formação de película elástica; poder de coesão; boa resistência à abrasão; elasticidade e resistência à ruptura; ter fluidez e poder de penetração; fornecer lubrificação aos fios; conter antimoho e serem higroscópicas; fácil desengomagem e ser biodegradável (Tralli, 2000).

Geralmente são utilizados dois tipos básicos 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. Os fios são engomados a uma temperatura de aproximadamente 100°C, através de processos contínuos ou por imersão (Coelho, 1996).

A engomagem é um processo úmido de acabamento usado em bens tecidos que removem fibras salientes de fios e tecidos. A engomagem melhora a aparência superficial dos bens tecidos e reduz o “pilling”. Este processo é sobretudo útil para tecidos que são estampados ou para os quais é exigido um acabamento suave (EPA, 1997).

Desengomagem

A desengomagem é uma etapa importante de preparação usada para remover a goma aplicada anteriormente para tecelagem. As fibras sintéticas são geralmente

engomadas com gomas solúveis em água que são facilmente removidas por lavagem com água quente ou no processo de cozimento. As fibras naturais tais como algodão são muitas vezes engomadas com gomas ou misturas de gomas e outros materiais. A remoção das gomas antes do cozimento é necessária porque elas podem reagir e causar a mudança de cor quando expostas ao hidróxido de sódio no cozimento (EPA, 1997).

Existem três tipos convencionais de desengomagem, todos baseados na impregnação do tecido: decomposição do amido por autofermentação; hidrólise ácida do amido e hidrólise do amido por digestão enzimática. Os dois primeiros métodos se encontram em desuso, devido à difícil operacionalização, resultando em irregularidade de autodigestão, devido à sensibilidade da celulose a ácidos minerais, pois se baseiam na hidrólise do amido por autofermentação com transformação do mesmo em dextrina e maltose.

O terceiro método impregna o tecido num "Foulard" com caixa de impregnação com uma solução de enzima que poderá ser de origem vegetal, animal ou bacteriana. Após a impregnação, o mesmo é encaminhado a tanques, onde permanece de 10 a 12 horas. Neste período, ocorre a hidrólise do amido, que se converte em sacarídeos solúveis, através da digestão enzimática. As caixas de impregnação junto ao "Foulard" devem estar munidas de termostatos para que a solução enzimática esteja nas temperaturas especificadas, uma vez que cada solução deve ser empregada a uma dada temperatura ideal. Depois da permanência do tecido nos tanques pelo tempo prescrito, o mesmo é encaminhado para o equipamento de lavagem, a uma temperatura entre 60 e 70°C (Martins, 1997).

Cozimento (Pré-alvejamento)

É um processo de branqueamento que remove as impurezas das fibras, fios ou tecido através de lavagem. Soluções alcalinas são tipicamente usadas para o cozimento; contudo, em alguns casos soluções solventes também podem ser usadas. O procedimento de cozimento específico, adição de produtos químicos, temperatura e tempo de processo variam com o tipo de fibra, fio e estrutura do tecido. As impurezas podem incluir lubrificantes, sujeira e outros materiais naturais, gomas solúveis em água, agentes antiestáticos e tintas residuais usadas para identificação do fio (EPA, 1997).

A Tabela 2.10 mostra o intervalo de composição utilizada no banho de pré-alvejamento de acordo com a função exercida, para malhas compostas de fibras celulósicas e/ou artificiais em escala industrial.

Tabela 2.10 - Composição utilizada no banho de alvejamento em escala industrial.

Função	Quantidade (g/L)
Ácido cítrico	0,8 a 1,0
Antiquebradura	0,5 a 2,0
Desairante/antiespumante	0,15
Emulgador	0,5
Neutralizador	2,0
Peróxido de hidrogênio	2,5
Seqüestrante/dispersante	0,8 a 1,2
Soda cáustica	3,0
Umectante/detergente	0,7

Purga

A purga pode ser realizada tanto com materiais sintéticos quanto em naturais, para remover as substâncias aplicadas ou as intrínsecas. Sua intensidade depende do tipo de material (Peres e Abrahão, 1998).

A Tabela 2.11 mostra o intervalo de composição utilizada no banho de purga de acordo com a função exercida, para malhas compostas de fibras celulósicas e/ou artificiais, em escala industrial.

Tabela 2.11 - Composição utilizada no banho de purga em escala industrial.

Função	Quantidade (g/L)
Antiquebradura	0,5
Barrilha	1,0
Desairante/antiespumante	0,15
Emulgador	1,5
Seqüestrante/dispersante	0,5 a 2,0
Umectante/detergente	0,2 a 2,0

Alvejamento

O alvejamento é uma operação que tem por objetivo eliminar as ceras e graxas, substâncias solúveis e eliminar a pigmentação amarelada das fibras a fim de preparar o substrato têxtil para os tratamentos subseqüentes, como tingimento ou estampagem.

Essa operação é necessária se o tecido acabado for branco ou tinto em cores claras. Vários tipos diferentes de produtos químicos são usados como alvejantes, como peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio ou clorito de sódio. O alvejante comumente usado, para algodão e mesclas de algodão, é o peróxido de hidrogênio, que corresponde a mais de 90% do alvejante usado nas operações têxteis, e é tipicamente usado com soluções cáusticas. Substâncias auxiliares, tais como ácido sulfúrico, ácido clorídrico, soda cáustica, bissulfito de sódio e surfactantes, são usadas durante o processo ou no enxágüe final, contribuindo com a carga poluidora (EPA, 1997; Peres e Abrahão, 1998; Kühn, 2001).

Mercerização

A mercerização é um processo químico contínuo usado para produtos de algodão e algodão/poliéster para aumentar a absorção de corantes, brilho e aparência. A mercerização tipicamente segue à engomagem e pode preceder ou seguir ao branqueamento. A mercerização é realizada exclusivamente em tecidos de algodão, que são tratados por um banho de soda cáustica concentrado sob estiramento, seguido por uma lavagem ácida para neutralizar o pH. (Correia et al., 1994; EPA, 1997).

Tingimento

A etapa de tingimento é usada em várias etapas de produção para adição de cor e aumentar o valor do produto. Os materiais têxteis são tingidos usando uma ampla gama de corantes, técnicas e equipamentos. Os corantes usados pela indústria têxtil são em grande parte sintéticos, tipicamente derivados do alcatrão e derivados do petróleo (EPA, 1997).

No tingimento podem ser usados processos contínuos ou em batelada. No tingimento em batelada, uma certa quantidade de substrato têxtil, geralmente de 100 a

1000 kg, é carregada em uma máquina de tingimento e o substrato é levado a atingir um equilíbrio, ou próximo dele, com a solução do banho que contém o corante. Os auxiliares químicos e as condições do banho são controlados (principalmente temperatura) para se obter as condições ótimas de tingimento. O corante é fixado na fibra usando calor e/ou produtos químicos. O substrato tinto é lavado para remover os corantes não fixados e os produtos químicos. No processo contínuo, o material têxtil é alimentado continuamente em solução de corante com velocidade geralmente entre 50 e 250 metros por minuto. O processo de tingimento contínuo consiste tipicamente na aplicação do corante, fixação do corante com produtos químicos ou calor, e lavagem. A fixação do corante nas fibras ocorre mais rapidamente em tingimento contínuo do que em batelada (EPA, 1997).

A adsorção e retenção do corante na fibra podem ser química, física ou ambas, dependendo da fibra e do corante. O grau de adsorção é função de vários fatores, tais como temperatura, pH, auxiliares químicos e tempo (Correia *et al.*, 1994; Peres e Abrahão, 1998).

Uma vez penetradas na fibra, as moléculas do corante fixam-se mediante a intervenção dos seguintes tipos de ligação: ligações homopolares ou covalentes, ligações químicas características das substâncias não iônicas; ligações iônicas, eletrovalentes, dadas pelas forças eletrostáticas que agem entre os cátions e ânions. Apresentam-se em muitos corantes solúveis e em algumas fibras anfóteras; além desses dois gêneros de ligações clássicas, verificam-se, entre as moléculas, as atrações de Van der Waals, originadas pelas forças de atração que os núcleos dos átomos componentes de uma molécula exercem sobre os elétrons dos átomos de uma outra (Garozzo, 1965).

Estamparia

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. E, para os tecidos, que receberão estamparia em toda a sua extensão, são usados os rolos 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 lavação. 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 (EPA, 1997).

Acabamento

O acabamento é realizado por tratamento mecânico ou químico na fibra, fio ou tecido, para melhorar a aparência, brilho, toque, caimento, resistência, estabilidade, etc. 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 à chama (ignifugação) (Araújo e Castro, 1984; EPA 1997).

2.3.5 - Geração e Tratamento de Efluentes Têxteis

Para o controle da poluição causada por efluentes industriais, o procedimento mais comum tem sido a adoção de tecnologias de tratamento de despejos, as quais representam despesas de investimentos improdutivos suplementares e custos de operação elevados (15 a 20% do investimento inicial), que aumentam à medida que as instalações envelhecem (Martins, 1997).

Segundo Martins (1997), a caracterização dos despejos têxteis é um fator de difícil descrição, uma vez que a grande característica acerca deste tipo de efluente é sua descontinuidade e diversidade. O processo de beneficiamento é periódico, mas descontínuo, em termos de vazão. O processo produtivo é cíclico na totalidade de suas operações.

A diversidade extrema de matérias-primas e esquemas de produção empregados pela indústria têxtil atribuem problemas característicos ao efluente e subsequentemente indicam quais devem ser as tecnologias de controle de poluição (Correia et al., 1994).

O processo de beneficiamento têxtil gera emissões de poluentes sólidos, gasosos e líquidos. Porém são as emissões de poluentes líquidos que causam a maior contaminação e modificação do ambiente.

Os efluentes líquidos da indústria têxtil são tóxicos e geralmente não biodegradáveis e também resistentes à destruição por métodos de tratamento físico-químico. A não biodegradabilidade dos efluentes têxteis se deve ao alto conteúdo de corantes, surfactantes e aditivos que geralmente são compostos orgânicos de estruturas complexas (Ledakowicz e Gonera, 1999).

Os consumos de água por unidade de massa do material e as características dos efluentes produzidos por uma planta de acabamento dependerão do tipo de fibras processadas e dos produtos químicos empregados. Outros fatores que determinam a quantidade e a qualidade do efluente são as operações realizadas e a tecnologia aplicada em sua execução (Sanin, 1997; Braile e Cavalcanti, 1993). As Tabelas 2.12 e 2.13 mostram os parâmetros das águas residuais do equipamento “jet” (R:B 1:6,5) e contaminantes/kg de material no equipamento “jet” (R:B 1:6,5), respectivamente. Este equipamento está descrito no item 3.1 deste trabalho.

Tabela 2.12 - Parâmetros das águas residuais do equipamento “jet” (R:B 1:6,5).

Tipo de água residuária	pH	Condutividade (µS/cm)	DQO (mg/l)	Cor (mg PtCo/l)	Turbidez (NTU)
Purga	10,5	5390	5895	200	347
Enxágüe	10,1	2660	1220	150	70
Tingimento	11,4	15780	1665	2500	46
Enxágüe	10,7	3860	780	600	17
Ensaboamento	9,5	2120	900	1250	37
Enxágüe	8,8	1850	525	300	12
Processo Total	10,9	5310	1565	1275	83

Fonte: Amat, 1999.

Tabela 2.13 - Contaminantes/kg de material no equipamento "jet" (R:B 1:6,5).

Tipo de água residuária	DQO (mg/l)	Cor (mg PtCo/l)
Purga	38317	1300
Enxágüe	7930	975
Tingimento	10822	16250
Enxágüe	12675	9750
Ensaboamento	5850	8125
Enxágüe	3412	1950
Processo Total	76294	62156

Fonte: Amat, 1999.

Há dez anos atrás, quando a água era barata, quase a custo zero, era comum encontrar-se relações litro efluente/kg de produto acabado elevadíssimas, da ordem de 400. Hoje, com a forte motivação de reduzir custos, podem-se encontrar plantas de malhas, ou mesmo tecidos planos, com uma relação entre 50 e 60 litros de efluente/kg de produto. Mesmo os grandes geradores encontram-se na marca de 100 l/kg. É comum encontrarem-se, em acabadoras algodoeiras (tecelagem plana), valores de DBO entre 750 e 3000 mg/l. Com as sucessivas campanhas de economia de água, houve uma concentração dos contaminantes. Para se ter uma melhor idéia do potencial poluidor, basta se fazer uma comparação com os efluentes domésticos, cuja DBO oscila de 200 a 300 mg/l (Conchon, 1999). A Tabela 2.14 mostra o consumo de água nos processos têxteis para a matéria-prima algodão.

Tabela 2.14 – Média do consumo de água de alguns processos têxteis conforme o tipo de fibra.

Tipo de Fibra	Processo	Consumo (l/kg)	
		Média	Variação
Algodão	Desengomagem	45	20 – 92
	Purga em contínuo	30	3 – 94
	Purga em Jigger	18	1 – 48
	Alvejamento contínuo (hipoclorito)	7	4 – 13
	Alvejamento (em banho hipoclorito)	69	21 – 173
	Alvejamento contínuo (peróxido)	38	13 – 64
	Alvejamento autoclave (peróxido)	37	8 – 30
	Alvejamento contínuo (clorito)	10	10 – 13
Algodão e fibras químicas	Tingimento contínuo	38	9 – 63
	Tingimento em Jigger	77	4 – 298
	Tingimento em barca a molinete	183	28 – 541
	Tingimento em autoclave para urdume	92	31 – 166

Fonte: Little, 1975.

Segundo Soares (1998), a composição média dos efluentes da indústria têxtil pode ser dada por: sólidos totais na faixa de 1000 a 1600 mg/l; DBO, de 200 a 600 mg/l; alcalinidade total de 300 a 900 mg/l; sólidos em suspensão, de 30 a 50 mg/l. Essa caracterização do efluente apenas define as ordens de grandeza das características dos efluentes, pois a composição do efluente é dependente do processo e do tipo de fibra processada. No processamento de fibras de algodão, por exemplo, os despejos líquidos gerados e suas características essenciais são apresentados na Tabela 2.15.

Tabela 2.15 - Características dos despejos do processamento de fibras de algodão.

PROCESSO	COMPOSIÇÃO	DBO (mg/l)	pH	Consumo de água (l/kg processado)
Engomagem	Amidos naturais, PVA e carboximetilcelulose (CMC)	620 a 2.500	7,0 a 9,0	0,5 a 7,8
Desengomagem	Glicose da hidrólise do amido, PVA solúvel e CMC solúvel	200 a 5.200	6,0 a 8,0	2,5 a 20,8
Cozimento	Ceras, pectinas, álcoois, gomas, óleos e graxas, detergente e NaOH	100 a 2.900	10,0 a 13,0	2,5 a 42,6
Mercerização	NaOH	50 a 800	5,5 a 14,0	16,7 a 309,0
Alveamento	Agentes oxidantes: hipoclorito de sódio, H ₂ O ₂	100 a 1.700	8,5 a 12,0	2,5 a 124,5
Tingimento e Estamparia	Corantes e auxiliares de tingimento	60 a 600	6,0 a 12,0	41,8 a 250,6
Acabamento	Amidos, resinas, surfactantes, etc.	20 a 500	6,0 a 8,0	12,5

Fonte: Soares, 1998.

São apresentados, na Tabela 2.16, os valores médios e parâmetros característicos dos efluentes destinados ao tratamento biológico e físico-químico, das indústrias têxteis (Storti, 2001).

Tabela 2.16 – Valores médios e parâmetros característicos do efluente têxtil bruto.

Parâmetro	Valor Médio	Parâmetro	Valor Médio
Temperatura	35°C	Nitrogênio amoniacal (NH ₃)	20 – 30 mg/L
DBO ₅	300 mg/L	Fósforo	5 – 10 mg/L
DQO	1000 mg/L	Tensoativos	30 – 40 mg/L
Sólidos em suspensão	200 mg/L	Cloretos	1000 – 1500 mg/L
Sólidos sedimentáveis	0 - 1/3 mg/L	Sulfatos	1000 – 1500 mg/L
Nitrogênio total (TKN)	30 – 40 mg/L	Cor perceptível após diluição	1/40
Fenóis	5 – 10 mg/L		
pH	7 – 10	Óleos e graxas	30 – 40 mg/L

Fonte: Storti, 2001.

A carga poluidora do efluente da desengomagem resulta de aditivos usados na receita da goma, surfactantes, enzimas, ácidos e da própria goma. Devido a sua não biodegradabilidade ou toxicidade, muitas impurezas nos efluentes de purga, tais como agentes antiestáticos (para fibras sintéticas), pesticidas e ceras de algodão, podem causar problemas na operação de sistemas de tratamento biológico (Peres e Abrahão, 1998).

Os efluentes do alvejamento normalmente possuem um alto conteúdo de sólidos com baixo ou moderado nível de DBO. Os efluentes da mercerização apresentam baixas DBO e níveis de sólidos totais. São altamente alcalinos antes da neutralização (Peres e Abrahão, 1998).

Segundo Martins (1997), nas operações de tingimento, a poluição é devida principalmente às perdas de corantes e de produtos auxiliares (sais, umectantes, ácidos, etc.), dependendo da taxa de esgotamento do banho e da massa de tecido tingido por volume de banho, que pode variar de 1:5 a 1:50. As perdas vêm dos banhos parcialmente esgotados e dos corantes não fixados nas fibras, que saem por lavagem e rinçagem após o tingimento. A poluição, devido ao tingimento, representa 30 a 40 % do conjunto da poluição orgânica de uma indústria de beneficiamento têxtil.

O efluente gerado no processamento têxtil apresenta alto teor de sólidos suspensos, alcalinidade e corantes. Para tratar este tipo de efluente são utilizados os tratamentos primários, secundários e terciários, que objetivam a remoção das partículas ou poluentes mediante operações físicas, químicas e biológicas ou combinação destas, cujo intuito é reduzir os sólidos totais, eliminar a turbidez e cor e oxidar química e bioquimicamente estas substâncias, além de remover as consideradas tóxicas. Os métodos aplicados para remoção destas partículas estão fundamentados de acordo com as proporções e os diâmetros utilizados: sólidos solúveis, fixos ou não, até 0,1 micra de diâmetro - separação por simples decantação; partículas dissolvidas, com diâmetro de 0,001 micra - separação por coagulação e floculação química; partículas coloidais, inferiores a 0,0001 micra, são removidas unicamente por transformações biológicas.

A Tabela 2.17 apresenta as características ecologicamente relevantes das substâncias que vão para os efluentes.

Os processos empregados para tratamento de efluentes líquidos podem ser classificados genericamente como primários ou mecânicos, secundários ou biológicos e terciários ou físico-químicos e constituem aqueles empregados nas indústrias têxteis. A

Tabela 2.18 resume as opções de tratamento existentes para cada tipo de processo (Peres e Abrahão, 1998).

Tabela 2.17 – Características ecologicamente relevantes das substâncias que vão para os efluentes têxteis.

Substâncias naturais e produtos auxiliares contidos em têxteis crus			
Substâncias		Biodegradabilidade	Observações
Preparações e enzimagens sintéticas	Óleos emulsionáveis	Baixa	Eliminável parcialmente por adsorção, pois as substâncias não são hidrossolúveis.
Gomas	Amidos naturais e derivados de "amido"	Muito boa	
	Gomas sintéticas	Má	PVA e acrilatos são relativamente bem elimináveis por adsorção e métodos de precipitação química
Lubrificantes e engomagem	Graxas esterificadas	Boa	
	Parafinas e óleos minerais	Má	Elimináveis parcialmente por absorção por serem substâncias não hidrossolúveis
Sujeiras naturais de fibras naturais		Boa	
Produtos auxiliares têxteis			
Substâncias		Biodegradabilidade	Observações
Tensoativos a base de álcoois graxos	Genericamente	Muito boa	
	Com baixíssima formação de espuma	Degradáveis	A degradabilidade de formulações com baixo teor de espuma alcança valores superiores a 80% de DQO, mas velocidade de degradação um pouco menor
Complexantes	Fosfanatos	Nenhuma	Elimináveis por adsorção e degradação fotolítica
	Poliacrilatos	Nenhuma	Elimináveis por precipitação química e parcialmente absorvíveis
Estabilizadores de peróxido	De acordo com sua composição química são ou não biodegradáveis		
Lubrificantes antiquebraduras	Ésteres graxos	Boa	
	Poliacrilamidas	Nenhuma	Não é relevante, pois a substância ativa é extremamente baixa

Fonte: CHT Brasil, 1998.

Tabela 2.18 - Processos de tratamento de efluentes.

Tratamento	Tipo de processo	Operação unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Lagoas de estabilização Filtros Biológicos
	Físico/Químico	Carvão ativado
Terciário	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose reversa Evaporação

Fonte: Peres e Abrahão, 1998.

As características do efluente, qualidade requerida após o tratamento, custo, disponibilidade de área e de tecnologia adequada influenciam a escolha do processo ou seqüência de processos a serem utilizados (Peres e Abrahão, 1998).

2.3.6 - Recuperação, Recirculação e Minimização de Efluentes

A disponibilidade e qualidade das fontes de suprimento de água e controles mais rigorosos dos descartes proporcionam o aumento dos custos globais de obtenção e uso de água em uma planta industrial. A busca de tecnologias de conservação e de reuso são implementadas nos circuitos industriais para fazer com que cada litro de água utilizado permaneça mais tempo no processo. A aplicação desta prática deve observar as características físico-químicas que não favoreçam processos de corrosão, deposição e proliferação de microrganismos (Amaral, 1997).

Na indústria de beneficiamento têxtil, os maiores volumes de despejos têxteis são gerados nas operações de lavagem, tingimento e acabamento. A economia de água reduz significativamente o volume do efluente final. Não é raro encontrar situações onde uma

redução de mais de 25% do consumo pode ser obtida estabelecendo práticas de economia. O uso excessivo de água nas lavagens, medidas de manejo ruins e deficiências de manutenção (válvulas defeituosas, vazamentos sem correção, águas de resfriamento que continuam fluindo com a máquina parada, etc.) são fontes comuns de grandes desperdícios. Outras razões para se ter elevados volumes de efluente é a seleção de equipamentos para lavagens ineficientes, ciclos excessivamente longos e o uso indiscriminado de água potável em todos os pontos de consumo (Sanin, 1997).

Atualmente, tem sido procurada a redução da poluição no processo industrial, não só com relação ao tratamento dos efluentes, já no seu ponto final que é a estação de tratamento, mas em toda sua geração dentro da indústria, nas diversas etapas do processo industrial. A recirculação destes despejos e a recuperação de produtos químicos e de subprodutos constituem um desafio para a redução de custos com o tratamento dos efluentes (Martins, 1997).

São preferidas tecnologias de tratamento que tornam possível reciclar no processo de produção tanto o efluente tratado quanto, sempre que possível, também os produtos de elevado valor agregado contidos no efluente. Os custos desta tecnologia são então compensados parcialmente através da economia com a redução dos custos da água utilizada e o tratamento de efluentes. O sistema para a provisão de água da planta, assim como o sistema de tratamento de resíduos seriam menores e custariam menos para serem construídos e funcionarem. Com a recuperação de materiais de valor – como a recuperação de goma por ultrafiltração – podem resultar até mesmo claras vantagens de custos (Lund, 1974; Trauter et al., 1999).

Para considerar a tecnologia de redução de poluição mais adequada, é necessário inicialmente identificar os tipos genéricos de águas residuárias das variadas operações de processamento empregadas pela indústria. O modo de identificar as fontes de poluição, propôr estratégias de redução da poluição e avaliar as condições dos sistemas de tratamentos dos efluentes líquidos, exige a compreensão dos processos e as características de seus efluentes individualmente. A extrema diversidade de matéria-prima e esquemas de produção empregados pela indústria têxtil dificulta a determinação das características dos efluentes e a definição posterior de tecnologias de controle de poluição (Correia et al., 1994, Peres e Abrahão, 1998).

Um sistema de reuso do efluente garante que o processo produtivo não sofra as conseqüências de falta da água. As tecnologias de reuso para efluentes são utilizadas nos

mais diversos segmentos: indústrias têxteis, químicas, farmacêuticas, além de curtumes, abatedouros, entre outras (Taranto, 2000).

De acordo com o tipo de tecnologia existente na indústria, podem existir situações favoráveis ou não, para o reuso dos efluentes. Por exemplo, a água recuperada pode ser armazenada em um tanque de estocagem, ser misturada com água de boa qualidade e reutilizada em todas as fases do processo de tingimento. Neste caso, a vazão de água recuperada utilizada é regulada pela salinidade, a fim de manter a concentração salina em níveis baixos, para evitar defeitos provenientes da fase de tingimento que é a etapa mais crítica. Também se pode utilizar a água reciclada nos processos de lavação, enxágüe e limpeza, onde é empregada a maior parte da água. A qualidade desta água pode ser ligeiramente inferior àquela utilizada na fase de tingimento. A possibilidade de recuperação de água se aproxima dos 50-60%, com casos em que se pode chegar até 80% (Storti, 2001).

Teoricamente a recuperação de 100% da água, em um circuito fechado, sem a remoção de sais, provocaria um acúmulo de sais até alcançar um teor que tornaria impossível o uso generalizado desta água. Na prática, uma parte da água é descartada, permitindo equilibrar seu conteúdo de sais. A vazão de recuperação é determinada em função da qualidade da água bruta e do tipo de aplicação utilizada (Storti, 2001).

Segundo Martins (1997), a redução do volume dos despejos pode se dar através do controle em planta por processamento em balcão de fluxo (circulação) e técnicas de reutilização, adequadas a um plano de ação. Este pode ser usado por processo em batelada, onde as águas usadas para enxaguar após o tingimento podem ser usadas para fazer uma solução de corante; ou as águas de lavagens da mercerização podem ser usadas para preparar a "esfrega" em batelada. Nos processos de reutilização da água, todo cuidado deve ser tomado, para que não fiquem resíduos que possam prejudicar o resultado final do novo processo; mesmo para baixas concentrações (0,5 mg/l) alguns agentes de acabamento e compostos de sais podem deixar resíduos no tecido.

Uma experiência belga mostra um grande insucesso com um projeto, cujos objetivos compreendiam a economia energética, a economia de água e a redução da poluição de um grupo de indústrias têxteis. Os sistemas usados não trataram do acúmulo de sais e outros poluentes, o que tornou inviável o processo adotado. Uma reciclagem da água a 100% é impossível para sistemas de beneficiamento sensíveis aos sais (Martins, 1997).

A demanda crescente de racionalização do consumo e utilização da água induziu, nestes últimos anos, a possibilidade e, em alguns casos, a necessidade de se utilizar a água contida no efluente gerado pela indústria. O limite da quantidade de água recuperável é determinado por vários fatores, tais como o custo de captação e estocagem da água bruta, a salinidade residual, a qualidade da fiação e do tecido produzido e os limites impostos, nos vários países, com referência à qualidade das descargas (Storti, 2001).

Antes do tratamento do efluente, é necessário minimizar a quantidade de efluente que aparece durante o processo. Se a quantidade de água fosse minimizada, o consumo de água limpa fosse reduzido e ao mesmo tempo a capacidade do sistema de tratamento fosse ampliado, a quantidade de efluente poderia ser reduzida da seguinte forma (Zbontar e Glavic, 2000):

- *reuso*, quando o efluente é usado diretamente nas outras operações, e a existência de poluentes não perturba o processo. Os efluentes são algumas vezes misturados com outros efluentes ou água limpa.

- *regeneração para reuso*, quando o efluente é refinado e reusado em outra operação e processo. Também é freqüentemente misturado com efluentes de outras operações ou água limpa.

- *regeneração – reciclagem*, quando as impurezas do efluente são eliminadas parcialmente e o efluente é retornado depois para os mesmos processos.

- Redução do consumo de água pela mudança de processos.

Sanin (1997) cita, como formas de minimização do efluente e da carga contaminante, a recuperação de gomas e eliminação das gomas por degradação biológica, ultrafiltração, precipitação, etc., a recuperação da soda cáustica, reutilização de águas nos acabamentos, pré-tratamentos e tingimentos, ou ainda a modificação de máquinas e processos.

Cobrança do Uso da Água

A fiscalização e o gerenciamento da utilização dos recursos hídricos transforma a água de um bem comum e ilimitado, para um bem de uso controlado com valor econômico. A proposta de metodologia para a cobrança sobre a utilização dos recursos hídricos deve atender duas situações: a cobrança sobre o lançamento, contemplando a carga de poluição, e sobre o consumo de água (Souza, 1995; Bello, 2000).

O objetivo da cobrança pela utilização dos recursos hídricos não é o de arrecadação, mas dispôr de uma ferramenta de gestão para induzir o uso racional, a localização da indústria onde se tem mais água disponível e obrigar a devolução da mesma em condições de qualidade satisfatória. Está estabelecido pela legislação federal que o valor arrecadado será empregado no próprio local da cobrança, para posteriores planos de serviços e obras de controle e recuperação de recursos hídricos (Bello, 2000).

Segundo Alves (2000), a água para beber se tornou muito cara e se tornará ainda mais cara. Uma comparação, por exemplo, entre o custo da água produzida na cidade de São Paulo pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), inferior a R\$1,00/m³ e o custo médio de um galão de 20 litros de água mineral, R\$3,50, que corresponderia a R\$175,00/m³, mostra o quanto a água está se valorizando, principalmente para beber. A tendência deste valor para água mineral é aumentar, uma vez que as fontes de água natural estão se tornando escassas.

Tecnologias Limpas

Acredita-se que a mudança de paradigma, reduzir na fonte do efluente ao invés de tratá-lo no final, faz com que as empresas tenham que assumir outras funções e responsabilidades além daquelas inseridas na atividade econômico-produtiva, ou seja, uma alteração nas considerações inerentes ao processo de tomada de decisão, que eram apenas de âmbito técnico e econômico, e que agora passam a ter um caráter mais amplo incorporando a variável ambiental (Silva Santos, 1998).

A mudança de postura, de tratamento fim de tubo (“end of pipe”), por otimizações no processo, para a prevenção e redução da geração dos resíduos, está condicionada à questão tecnológica e à falta de vontade de mudar (Torres, 1996).

De acordo com Torres (1996), é prática normal nas grandes empresas a adoção de uma escala de prioridades, para definir a forma de encaminhar a solução do problema da geração de resíduos. A escala mais adotada por ordem decrescente de importância estabelece os seguintes passos:

1. evitar a geração;
2. minimizar a geração;
3. reciclar o resíduo;
4. reutilizar o resíduo;
5. dar-lhe um tratamento químico, físico, biológico ou incineração;
6. dispô-lo adequadamente no solo.

No entanto, se o objetivo fosse estabelecer uma escala em que levasse em consideração a frequência de utilização dos métodos listados, com certeza a escala seria invertida.

De acordo com Machado et al. (1995), o termo *minimização de despejos* tem sido equivocadamente confundido na literatura com o termo *tecnologia limpa*. Provavelmente se deva ao fato destes termos terem como pressuposto a *poluição zero*. *Poluição zero* é um termo usado para promover a conservação e a qualidade do meio ambiente. Em diferentes contextos, este termo pode ter diferentes significados, num sentido restrito, o termo *poluição zero* implica em que todas as substâncias reagentes sejam integralmente convertidas em produtos e que todos os auxiliares de processamento sejam reutilizados e, em consequência, nenhum despejo seja gerado. Naturalmente, isto se refere ao contexto de um processo ideal.

Segundo Kiperstok (1999), as tecnologias limpas se caracterizam por priorizar a eliminação da poluição nas fontes da geração de resíduos, visando aproximar o processo produtivo da condição de emissão zero, tentando afastar a visão do binômio tratamento/disposição final (fim de tubo) como solução para os problemas ambientais gerados pela indústria.

Desenvolvimento Tecnológico do Tratamentos de Efluentes Têxteis

Os efluentes de tingimento contribuem com um grande número de contaminantes, incluindo ácidos ou bases, sólidos dissolvidos, compostos tóxicos e cor. A cor é o primeiro contaminante a ser reconhecido e deve ser removida do efluente antes de seu descarte num corpo receptor ou na terra (Mishra e Thipathy, 1993). Muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos com a utilização de membranas, enzimas e métodos físicos ou físico-químicos como ozonização, flotação, eletrofoculação, coagulação, etc. para tornar os efluentes passíveis de recuperação para utilização no processo.

Lin e Lin (1993) estudaram o tratamento de efluentes têxteis por ozonização e coagulação química, divididos em três tipos, de intensidade baixa, média e alta. Os resultados mostraram que a ozonização é altamente efetiva na remoção de cor destes efluentes. Para o efluente com baixa intensidade de cor, a ozonização foi suficiente para eliminar totalmente a cor e reduzir a turbidez. Contudo, para os efluentes com média e alta intensidade, a ozonização eliminou totalmente a cor, mas não reduziu a turbidez. No ano seguinte, Lin e Liu (1994) estudaram a utilização de um processo contínuo de ozonização e coagulação química nos efluentes têxteis de várias plantas de tingimento e acabamento em um reator multicâmara. Esse tratamento combinado foi muito eficiente na descoloração do efluente têxtil e na redução de 66% do conteúdo de DQO. Lin e Chen (1997) investigaram a possibilidade de reuso do efluente de uma planta de tratamento secundário de indústrias de tingimento e acabamento pelo tratamento, eletroquímico, coagulação química e troca iônica. Os resultados indicaram que os métodos de tratamento químico combinado são muito efetivos e são capazes de elevar a qualidade da água do efluente tratado para o padrão de reuso da indústria têxtil.

A utilização da ozonização em efluentes têxteis também foi estudada por Tzitzis *et al.* (1994). Analisaram vários tipos de efluentes têxteis e para diferentes reações e tempos de retenção. Obtiveram bons resultados usando a ozonização depois do estágio de coagulação-precipitação. Desenvolveram um modelo matemático, que pudesse descrever a descoloração do efluente e redução da DQO. Em todos os casos a comparação entre as predições do modelo e os dados experimentais foi satisfatória.

Tünay *et al.* (1996) estudaram a aplicação de precipitação química, oxidação química, adsorção e suas combinações, nos efluentes de tingimento têxteis. Os

experimentos de precipitação química são comparados com os dados da literatura em que a remoção da cor de intensidades médias e altas pode ser obtida com dosagens razoáveis. A oxidação química é mais efetiva como meio de remoção de cor; contudo, o tipo de oxidante é importante. A adsorção é geralmente efetiva na remoção da cor mas a dosagem necessária é alta.

Muitos autores estudaram o tratamento de efluentes utilizando a tecnologia de membranas. Sójka-Ledakowicz et al. (1998) testaram as membranas de nanofiltração e osmose inversa em efluentes de tinturaria como tecnologia de reuso de água. Os resultados dos testes em escala piloto e laboratoriais mostraram que as membranas podem ser usadas em água de lavação do tingimento de tecidos de algodão e poliéster. O permeado produzido pela nanofiltração é comparável ao permeado da osmose reversa, exceto pelo conteúdo de sais monovalentes, principalmente cloreto de sódio, que limita a possibilidade de uso deste permeado. O permeado depois da nanofiltração pode ser usado para lavação ou enxágüe.

O tratamento de efluentes em uma planta piloto, reproduzindo em uma pequena escala um sistema de separação baseado em ultrafiltração e osmose inversa, foi investigado por Ciardelli et al. (2000). Concluíram que permeado produzido pode ser reusado em todas as etapas de produção, incluindo o tingimento de uma coloração de intensidade clara. Ciardelli e Ranieri (2001) testaram a eficiência, em escala piloto de dois tratamentos de oxidação, ozonização e eletrofoculação, para remoção das substâncias poluentes dos efluentes das indústrias têxteis. Através do tratamento de ozônio foi alcançada uma grande remoção de cor (95 – 99%) e as águas foram reusadas satisfatoriamente em tingimento até com cores claras. É absolutamente necessário o pré-tratamento biológico e uma filtração em areia.

Gaeta e Fedele (1991) desenvolveram um processo para recuperar no mínimo 80% de água, químicos auxiliares e energia de efluentes de tinturaria têxtil. Utilizaram membranas de nanofiltração e osmose inversa. Concluíram que a água e os produtos químicos auxiliares podem ser reusados na indústria têxtil para tingir cores claras ou escuras. A energia foi recuperada na forma de água quente.

Marcucci et al. (2001) testaram diferentes processos de membranas em escala piloto para verificar a possibilidade de reuso de efluentes têxteis. A planta piloto usou pré-tratamento com filtro de areia e ultrafiltração, para o processo de membrana de

nanofiltração ou osmose inversa. O permeado da osmose inversa pode ser usado nos processos de tingimento em escala industrial.

Gross et al. (1999) testaram comparativamente membranas de nanofiltração de diferentes fabricantes, em efluentes de tinturaria de duas indústrias têxteis brasileiras. Ainda foram testados os concentrados e permeados gerados, quanto à reutilização na tinturaria. Concluíram que a nanofiltração é adequada para a descoloração, reduzindo em 99% a cor, para o tratamento posterior e para a reciclagem de efluentes de tinturaria no beneficiamento têxtil. O permeado pode ser reutilizado, sem tratamento posterior, para banhos de lavagem ou para preparação de novos banhos de tingimento, que além da água, pode reciclar os aditivos que passam pela membrana (sais, hidróxido de sódio, etc.). O concentrado também pode ser reciclado e empregado em outros processos de tingimento ou pode ser tratado posteriormente em uma etapa de purificação biológica, de modo que possa ser despejado sem problemas. Na reciclagem de corantes precisam ser feitas medições de controle colorimétricos de modo intensivo. Os autores propuseram um sistema de tratamento de efluentes de tinturaria utilizando somente processos com membranas, nanofiltração e osmose inversa. Quando os efluentes são pobres em sais são tratados por osmose inversa. Quando os efluentes possuem altos teores de sais são tratados por meio de nanofiltração. A Figura 2.3 apresenta um esquema desta tecnologia.

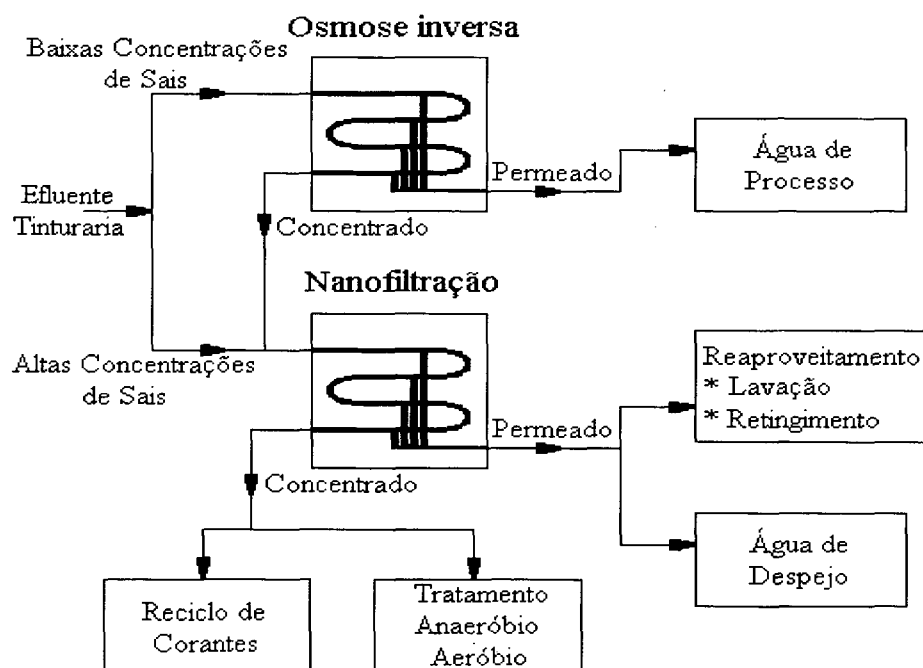


Figura 2.3 - Esquema de remoção de cor utilizando somente tecnologia de membranas.

A combinação de etapas do processo de pré-tratamento (racionalização) propicia a redução do consumo de água e de energia. Milner (2000) apresenta algumas destas combinações que foram testadas e aceitas como a combinação das fases de desengomagem e purga, ou que ainda estão sendo testadas como o processo chamado “single stage” ou em uma fase. Na primeira, a inclusão de pequenas quantidades de peróxido de hidrogênio ou persulfato de potássio, sódio ou amônio melhora o processo de desengomagem, reduzindo o consumo de água e de energia. Na segunda, a desengomagem, purga e alveijamento são realizados em um só passo, em um vaporizador. Esta técnica tem sido testada principalmente na Inglaterra e propicia economia de mão-de-obra, energia e água.

Zomignan (1998c), propõe sistemas de tanques conjugados para que se armazenem os banhos gerados nas etapas de pré-alveijamento ou purga do equipamento “jet roto-stream”. O sistema consiste de três tanques, que armazenam um certo percentual do volume do banho de cada fase do processo (banho de alveijamento e banho de enxágüe). Através deste método pode-se otimizar o processo nos seguintes aspectos de economia: água da preparação de até 42%, energia elétrica 8,35%, tempo de preparação 15,65%, produtos químicos 42,7%. Assim, tem-se a economia de água, reutilização do banho de branqueamento e redução do volume de água residual.

Muitos estudos são feitos para economizar água e possibilitar ganhos no tempo de processo, adicionando ou eliminando produtos químicos e algumas etapas. Zomignan (1995b) sugeriu a colocação de um agente de neutralização de peróxido de hidrogênio e soda cáustica no banho de pré-alveijamento. Ocorreu uma economia de 3.000 litros de água por partida que corresponde a 17% e o processo foi reduzido em 20 minutos.

Almató et al. (1999) apresentaram uma metodologia de otimização de uso de água nos processos industriais em batelada. O trabalho se limita ao reuso direto de água e não permite a separação intermediária de contaminantes. Foi formulado um modelo matemático que descreve o sistema de reuso de água através da estocagem em tanques. O sistema foi otimizado segundo diferentes critérios tais como demanda de água fresca, custo da água, custo de energia e projeto da rede de reuso de água. A metodologia foi implementada num software .

Yang et al. (2000) introduziram uma base de otimização aproximada para o projeto de uma rede de reuso de efluente. O elemento básico da aproximação é a modelagem de um sistema de reuso de efluente elementar para um simples processo de limpeza ou lavação ou enxágüe.

Glover e Hill (1993) estudaram o impacto ambiental e o efeito na minimização de resíduos comparando vários processos de tingimento (batelada, contínuo e semicontínuo) e estampagem. Das muitas considerações feitas pode-se resumir que todas estão relacionadas à otimização da operacionalidade do processo.

Zomignan (1995a) sugere três formas para a redução do consumo de água no beneficiamento têxtil. Estas sugestões envolvem o tingimento com corantes reativos sobre a malha crua. Para cada sugestão foram alcançados os seguintes resultados: tingimento sobre substrato cru sem a realização da fase de pré-alveijamento ou purga alcalina, na maioria dos casos, eleva a produção em até 33% de sua capacidade com economia média de 12% no consumo de água (mensal); neutralização do residual de peróxido de hidrogênio e soda cáustica, no próprio banho de pré-alveijamento com neutralizadores, é muito utilizada para acelerar o processo de alveijamento, conseguindo-se redução de tempo e água com o aumento de produção; redução do consumo de água através da colocação junto ao maquinário de tanques de armazenamento de banho utilizados no pré-alveijamento, gerando uma economia de até 42% no consumo de água da preparação, induzindo a outras reduções como vapor, tempo de processo, consumo de produtos químicos, etc.

Burkinshaw e Graham (1995) estudaram a reciclagem de banhos esgotados, oferecendo a potencial redução dos custos pela diminuição do consumo de água, químicos e energia, reduzindo da mesma forma os custos de tratamento de resíduos. Se o corante residual no banho esgotado é reusado pela reconstituição do banho com corante virgem, o comportamento do tingimento com corante residual mostra, idealmente, ser idêntico ao com corante virgem. No caso de tingimento de algodão com corante reativo, o banho esgotado continha tanto corante hidrolisado e reativo; o comportamento do tingimento do corante residual difere do corante reativo virgem.

A reciclagem de banhos em processos descontínuos não ocasiona a redução da carga de sujeira nos efluentes, pois quanto menor o volume de água, maior a concentração de sujeiras. As vantagens desta prática são a economia de água, energia e tempo de processo (CHT Brasil, 1998).

Os processos atuais de lavagem dos corantes reativos hidrolisados iniciam-se depois da conferência da cor usando-se transbordo, seguido de sucessivas lavagens a quente com auxílio de produtos químicos. Depois de assegurado que a água de lavagem esteja limpa, faz-se a aplicação de um fixador convencional. Silva (1997) estudou o processo de lavagem de corantes reativos utilizando um método de fixação especial.

Concluiu que o novo método economiza 45% do consumo de água nas cores claras, 58% nas médias e 55% nas escuras/especiais e o tempo de processo teve substancial redução nas cores médias, escuras/especiais, da ordem de 45% e 55%, respectivamente. A economia de vapor atingiu 35% nas cores médias e escuras/especiais.

Bohrer (1991) compara os custos de processamento para o tingimento de tecido e fio com relação de banho baixa (5:1) e elevada (10:1); são atingidas as seguintes economias: aproximadamente 30% de água, de 40 a 50% de vapor e 40% produtos químicos auxiliares. A quantidade de efluente produzida atinge uma redução de aproximadamente 30%.

O maior problema ambiental associado com o uso dos corantes reativos são as perdas nos processos de tingimento. Frequentemente, a eficiência de fixação varia entre 60% e 90%; conseqüentemente, as quantidades não fixadas são liberadas nas águas residuárias. Por isso, Pelegrini et al. (1999) estudaram a eficiência do processo fotocatalítico assistido eletroquimicamente na degradação do C. I. Reactive Blue 19. Concluíram que a eficiência do procedimento fotoquímico pode ser significativamente melhorada aplicando um processo eletroquímico simultaneamente. A utilização deste processo combinado permite a descoloração quase total do C. I. Reactive Blue 19 e mineralização de cerca de 50%, para um tempo de reação de 120 minutos.

Dhale e Mahajani (1999) estudaram o tratamento de águas residuárias com corantes reativos (procion azul turquesa CI25) para o reuso e descarte utilizando uma tecnologia híbrida, separação por membrana (nanofiltração) seguida de ação de ultrassom e oxidação úmida. Eles concluíram que a tecnologia híbrida para o tratamento e reuso é promissora. A descoloração atingida foi superior a 99%. A ação sonora seguida pela oxidação úmida é mais efetiva em condições próximas à neutralidade, quando comparada com as condições básicas.

Ruiz Silva e Zonignan (1992) estudaram o tingimento sobre malha crua, com um único auxiliar. Concluíram que usando o processo de tingimento sobre malha crua existe a possibilidade de aumentar a produção em até 33%, além da sensível redução na quantidade de água, vapor, óleo, mão-de-obra, etc. O novo processo de tingimento foi testado em todas as classes de corantes e foram encontrados ótimos resultados.

A remoção de cor dos efluente têxteis é de grande interesse, principalmente nestas duas últimas décadas. Os corantes usados na indústria têxtil são de origem sintética, e vários deles têm complexos aromáticos na estrutura molecular que resistem à degradação

pelos métodos de tratamento convencionais por causa de sua estabilidade à luz, agentes oxidantes, e digestão aeróbica. A presença, mesmo que pequenas frações, de corantes na água são altamente visíveis devido à cor e efeitos estéticos de correntes e outros recursos de água (Mishra e Thipathy, 1993).

A eliminação da cor dos efluentes de tingimento viabilizaria a reutilização em processos como enxágües, limpezas ou tingimento, ocasionando a economia no consumo de água (López e Gutarra, 2000).

Arslan et al. (2000) estudaram o tratamento fotocatalítico heterogêneo de dois efluentes de tinturaria sintéticos usando diferentes fotocatalisadores de dióxido de titânio e condições de reação. Os resultados delinearam claramente a importância da seleção da condição de reação mais favorável e a alta eficiência de remoção atingida dos fotocatalisadores para casos de tratamento específicos.

Moraes et al. (2000) avaliaram a minimização do impacto ambiental dos efluentes têxteis, principalmente os efeitos relacionados a sua alta coloração e a presença de corantes reativos tóxicos e carcinogênicos. Utilizaram processos fotoquímicos e ozonização na forma isolada e combinada. O estudo enfocou a redução do conteúdo de carbono orgânico total, cor e toxicidade. Para um tempo reacional de 60 minutos, o processo fotocatalítico reduz a cor e o carbono orgânico total em cerca de 90% e 50%, respectivamente. O processo de ozonização concede uma descoloração de cerca de 65%, mas a redução do carbono orgânico total é insignificante. Quando os processos foram combinados a descoloração foi quase completa e a redução do carbono orgânico total foi de 60%.

A aplicação de enzimas nos processos têxteis tem se tornado relevante, principalmente pela redução no impacto ambiental, devido à substituição de produtos químicos. Cunha et al. (2000) estudaram a utilização de enzimas na indústria têxtil e concluíram que a tecnologia enzimática permite a produção de produtos finais de melhor qualidade com relação ao aspecto visual, ao toque e às propriedades de resistência, devido à alta especificidade e disponibilidade a um número maior de processos de acabamento. Inclusive a implementação operacional desta tecnologia, na maioria dos casos, pode ser realizada nos equipamentos já existentes na planta.

O desempenho das membranas de nanofiltração no tratamento de efluentes contendo sais e corantes reativos foi investigado por Jiratananon et al. (2000).

Correia et al. (1994) citam o trabalho em que Treffry-Goatley testou vários métodos de remoção de cor. Estes resultados geraram uma classificação alternativa dos corantes, relacionada às tecnologias aplicadas para sua remoção (Tabela 2.19). Neste sistema de classificação, as diferentes classes de corantes (considerando sua aplicação) foram divididas em 3 grupos de acordo com o estado em solução e na carga do corante. Cada grupo está associado ao melhor método de descoloração.

Tabela 2.19 - Classificação dos corantes têxteis com relação à remoção de cor.

Classificação	Classe de corantes	Carga/estado da solução	Tecnologia
Grupo I	Dispersos, Azóicos, Tina e Sulfurosos	Carregado negativamente/ Coloidal	Coagulação, Membrana e Oxidação
Grupo A	Ácidos, Reativos, Diretos, Mordentes e Metais complexos	Aniônico/Solúvel	Adsorção, Troca iônica, Membrana e Oxidação
Grupo C	Básicos	Catiônicos/Solúvel	Adsorção, Troca iônica, Membrana e Oxidação

Fonte: Correia et al., 1994.

Kirby et al. (1995) testaram *Phanerochaete chrysosporium* no biotratamento do efluente têxtil, na presença e na ausência de fonte de carbono primário. Obtiveram melhores resultados quando o tratamento foi realizado na presença da fonte de carbono.

Ledakowicz e Gonera (1999) testaram a inibição do crescimento microbiano do lodo ativado num efluente têxtil sintético sob a influência da aplicação de diferentes oxidantes no pré-tratamento do processo de oxidação avançado (AOP).

Um sistema de descoloração contínua foi proposto por Palma et al. (1998) como pré-tratamento num sistema de tratamento integrado, bioreator empacotado pulsado, combinando fungos e bactérias anaeróbicas. Este sistema foi efetivo na descoloração de um composto colorido, o corante poliantraquinona R-478, que foi degradado em porcentagens excedendo 70%.

Scorzelli e Torem (1997) abordam a importância da flotação iônica para a remoção de metais pesados a partir de soluções muito diluídas. O processo de flotação iônica é uma técnica bastante promissora, pois requer um espaço pequeno (fator importante na localização industrial), é de operação rápida, tem flexibilidade de operação para

diversos metais e custo moderado, devido à quantidade de coletor necessária ser a mínima, ou seja, ser proporcional à concentração de metal desejado.

Dumas Martins (1997) estudou a utilização de dióxido de carbono (CO_2) para neutralização de efluentes alcalinos. A neutralização com CO_2 consiste basicamente em reagir produtos com características alcalinas com o ácido carbônico, gerado pela solubilização do CO_2 em água, de maneira a neutralizá-los e preparar o efluente para as etapas seguintes do tratamento, como preparação para lançamento direto em corpo receptor; preparação do efluente para posterior tratamento biológico; preparação para o processo de coagulação e floculação; precipitação de metais pesados. Este método possui baixo custo e investimento inicial, melhores condições operacionais e segurança, economia com manutenção, facilidade de controle e segurança na neutralização.

Yu et al. (2000) testaram a recuperação de ácido acético de efluentes têxteis diluídos contendo 0,2% em peso de ácido acético por membrana de eletrodialise bipolar. Os resultados mostraram que o método é tecnicamente viável e pode ser obtida uma solução acima de 70% em peso de ácido acético.

No próximo capítulo será apresentada a metodologia utilizada no presente trabalho, assim como serão descritos os processos estudados.

3 - METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho foi necessária a realização de um grande número de ensaios experimentais para a caracterização dos afluentes/efluentes das etapas do processo produtivo da Indústria Têxtil. Análises quantitativas e qualitativas foram realizadas para caracterizar tanto os parâmetros de qualidade na emissão final, como a verificação dos parâmetros de tolerância da qualidade da água recuperada dos efluentes.

Neste capítulo é apresentada a metodologia empregada para a amostragem e caracterização dos efluentes estudados, assim como a descrição dos equipamentos e parâmetros de processo dos sistemas selecionados para pesquisa. As análises experimentais foram realizadas no laboratório químico da empresa Marisol Indústria do Vestuário S. A. e LABMASSA – Laboratório de Transferência de Massa do EQA/UFSC.

3.1 - Equipamento Tipo “Jet”

Estes equipamentos, tipo “jet”, são equipamentos de tingimento de tecido em corda, descontínuo, que também podem realizar os processos de pré-tratamento (purga e pré-alveamento), possuindo diversos princípios de funcionamento. No caso do equipamento selecionado para o presente estudo, o funcionamento se baseia na circulação simultânea do tecido e do banho, com a injeção direta do banho através do tecido, provocando, desta forma, o movimento do tecido. Alguns equipamentos trabalham sob pressão (quando a temperatura é superior a 95°C) e possuem um dispositivo (leitor eletromagnético) para identificar o local da costura de união das extremidades, que também possibilita determinar o número de voltas que a malha efetua na máquina. A Figura 3.1 apresenta o esquema representativo do equipamento “jet”.

Estes equipamentos e o processo em geral possuem o desempenho otimizado por um sistema de automação integrado chamado de *Sedomaster* que controla os equipamentos “jet”, os sistemas de centralização, os sistemas de controle de receitas e colorimetria. Ainda permite a impressão de relatórios informativos contendo dados das diversas variáveis existentes no processo.

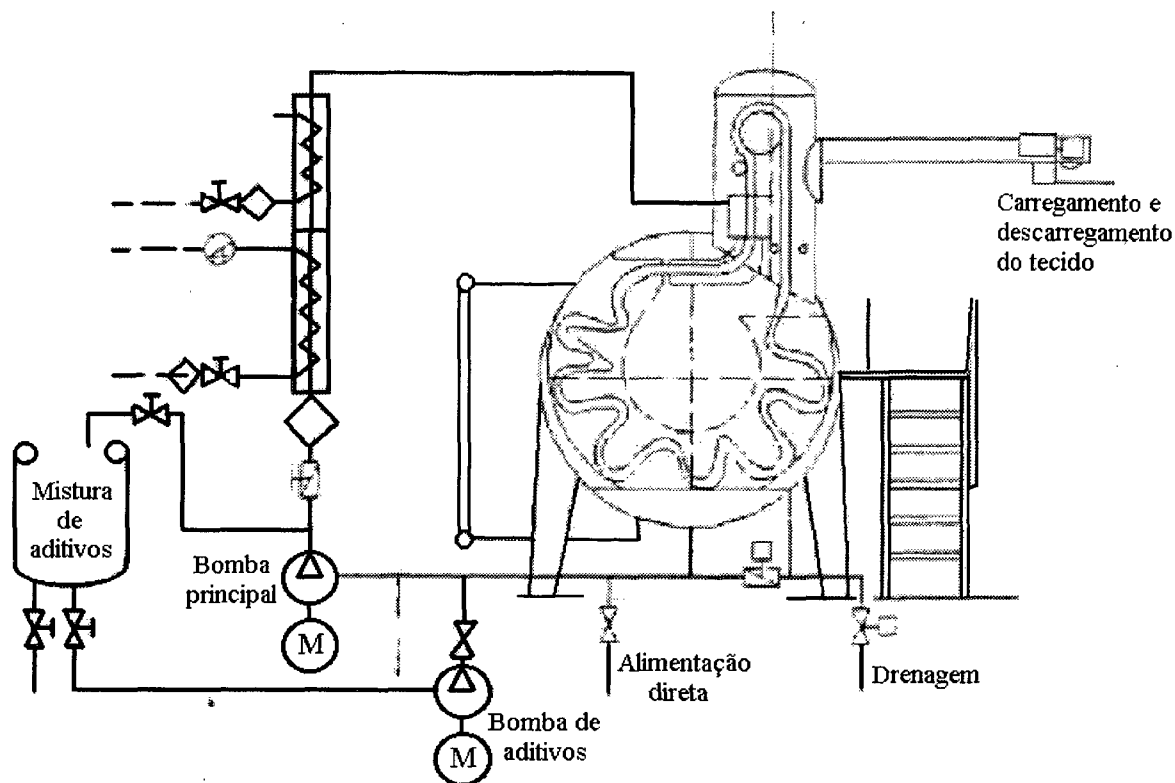


Figura 3.1 - Esquema representativo do equipamento "jet".

3.2 – Coleta das Amostras

A caracterização dos efluentes líquidos é composta por duas etapas. A primeira etapa compreende o levantamento de dados, realizado através de coleta de dados em históricos de produção, manuais de equipamentos e produtos químicos, entrevistas informais e observações no processo. A segunda etapa corresponde aos resultados obtidos nas análises realizadas nas amostras dos afluentes e dos efluentes das etapas de purga/pré-alveijamento/tingimento.

Devido às inúmeras combinações possíveis de cores, substratos e equipamentos, foi necessário restringir algumas variáveis. Estas restrições geraram os seguintes parâmetros para a coleta de amostras:

- Escolha do substrato têxtil: foi escolhida a fibra de algodão como substrato têxtil, com composição superior a 95%, pois não apresenta sazonalidade de coleção (inverno ou verão).

– Escolha do corante: foram selecionadas uma cor de intensidade clara, uma média, uma escura, todas tingidas com corantes reativos, um branco com alveijamento óptico e um preto com processo sulfuroso. A classificação das intensidades das cores variam conforme a quantidade percentual de corante presente no banho. A cor de intensidade clara possui quantidade de corante inferior a 0,5%. A cor de intensidade média possui quantidade de corante entre 0,5% e 1,5% . A cor de intensidade escura possui quantidade de corante superior a 1,5%.

3.3 - Amostragem e Preservação dos Afluentes e dos Efluentes

O número de amostras coletadas durante as operações de purga, pré-alveijamento e tingimento variou de acordo com o número de despejos das cores processadas. Foi coletado o volume de 1 litro, em cada ponto de coleta. Todas as coletas foram realizadas nas tubulações de descarga de efluentes, para evitar a perda da representatividade e reprodutibilidade da amostras, pois se a coleta fosse realizada no tanque de retorno, necessitaria recircular o volume do tanque de retorno pelo menos duas vezes antes de efetivar a coleta, para remover o volume contido na tubulação que estaria em condições diferentes das presentes dentro do equipamento(banho).

Para armazenar as amostras, utilizaram-se recipientes de vidro limpos com solução sulfocrômica, para eliminar quaisquer resíduos presentes no recipiente, que causariam alteração nos resultados. O armazenamento das amostras foi feito de acordo com o Manual de Águas Residuárias Industriais da CETESB, sob refrigeração a 4°C.

3.4 - Esquemas Representativos dos Processos Estudados

O esquema representativo do processamento das cores branco, preto, intensidades clara, média e escura é apresentado a seguir. Cada esquema apresenta as correntes de

entrada (afluentes) e saída (efluentes). Informações adicionais sobre o processo são apresentadas no Capítulo Resultados e Discussão.

Nos esquemas representativos apresentados, a seguir, o sentido das setas indicam a entrada ou saída das correntes líquidas. A repetição das setas indicam sucessivas lavagens, entrada de auxiliares e descarte de efluentes. A Figura 3.2 apresenta o esquema representativo do processo de preparação por purga convencional. Este processo é empregado como pré-tratamento da cor preta.

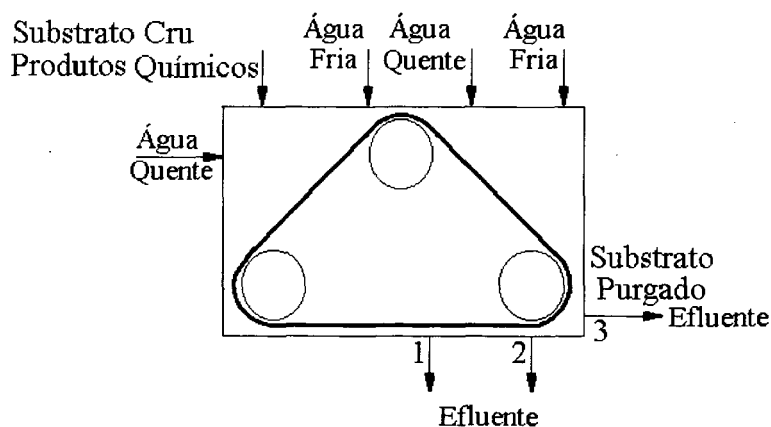


Figura 3.2 - Esquema representativo do processo de preparação por purga convencional.

O processo de preparação por purga convencional é representado pelo esquema na Figura 3.2, mostrando as entradas e saídas existentes (representadas pelas setas). O processo consiste basicamente em encher o equipamento com água quente e adicionar os produtos químicos auxiliares (desairante, antiespumante, sequestrante, antiquebradura, dispersante, emulgador). A seguir é iniciado o carregamento da malha (material têxtil). Após o carregamento da malha, o banho é submetido a um gradiente positivo de temperatura de $3,5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, até atingir 95°C , temperatura na qual irá circular por 30 minutos. Então, sofre um gradiente negativo de temperatura de $2,5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, até atingir 70°C . Este resfriamento é do tipo direto, pois é realizado com a adição de água (lavando).

O início da descarga do efluente corresponde à primeira amostra usada na caracterização físico-química da purga convencional. Ao atingir o patamar programado é realizada uma lavagem com 3000 litros de água quente durante 5 minutos. A segunda amostra é retirada próximo ao final desta lavagem. Novamente é realizada uma lavagem com 3000 litros de água fria durante 5 minutos. A terceira amostra é retirada próximo ao final

desta lavação. A seguir o equipamento é esvaziado e preenchido novamente para o início do processo de tingimento.

A Figura 3.3 apresenta o esquema representativo do processo de preparação por purga ácida. A purga ácida é o processo de pré-tratamento para o tingimento da cor escura selecionada. No período em que foram realizadas as coletas da cor escura selecionada a empresa utilizava purga ácida. Atualmente o processo para esta cor utiliza como pré-tratamento do substrato o pré-alveijamento.

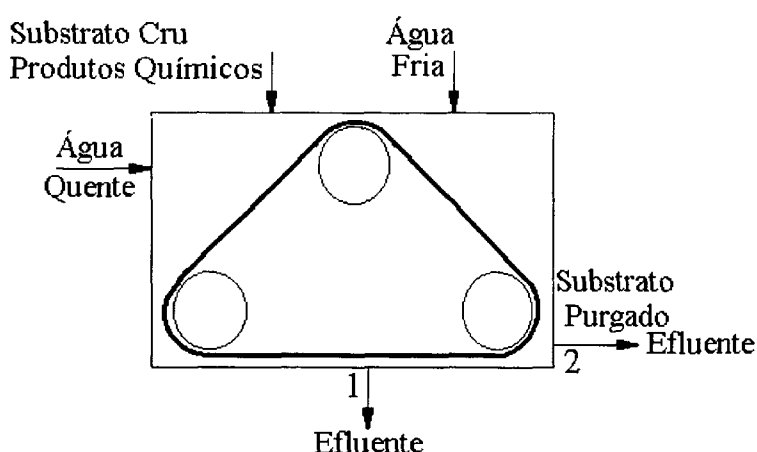


Figura 3.3 - Esquema representativo do processo de preparação por purga ácida.

O processo de preparação por purga ácida é representado pelo esquema na Figura 3.3. Este processo inicia-se com o carregamento do tanque com água quente, adicionando-se, após esta etapa, os produtos químicos auxiliares (desairante, antiespumante, sequestrante, antiq uebradura, dispersante, emulgador). A seguir é iniciado o carregamento da malha (material têxtil). Após o carregamento da malha, o banho é submetido a um gradiente positivo de temperatura de 3,5°C/minuto, até atingir 95°C, temperatura na qual irá circular por 30 minutos. Então, sofre um gradiente negativo de temperatura de 3,5°C/minuto, até atingir 70°C. Este resfriamento é do tipo indireto; é realizado pelo trocador de calor.

Ao atingir o patamar programado o banho é esvaziado. Este é o efluente 1 e corresponde à amostra usada na caracterização físico-química do primeiro despejo da purga ácida. O equipamento é então completado com água fria. O volume de água

adicionado leva em consideração o “pick up” da malha, ou seja, é descontado o volume de água retido na mesma. A água fria é circulada durante 10 minutos e descartada. Este é o efluente 2 e este processo corresponde à amostra usada na caracterização físico-química do segundo despejo. A seguir o equipamento é completado novamente para o início do processo de tingimento.

A Figura 3.4 apresenta o esquema representativo do processo de preparação para o tingimento da cor branca.

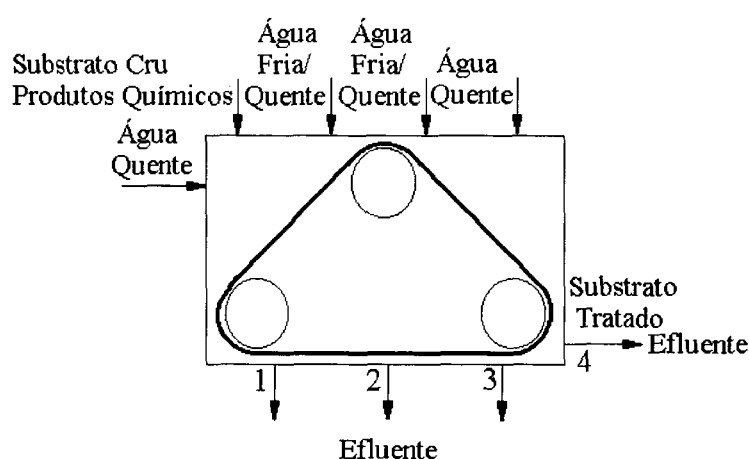


Figura 3.4 – Esquema representativo do processo de preparação para o tingimento da cor branca.

O processo de preparação para o tingimento da cor branca representado pelo esquema da Figura 3.4 mostra as entradas e saídas existentes (representadas pelas setas). O processo consiste basicamente em encher o equipamento com água quente e injetar rapidamente os produtos químicos auxiliares (desairante, antiespumante, sequestrante, antiquebradura, dispersante, emulgador).

A seguir é realizado um aquecimento rápido até 70°C. A malha é carregada. É adicionada por injeção rápida soda cáustica e a seguir peróxido de hidrogênio. O banho é aquecido rapidamente até atingir 95°C, temperatura na qual irá circular por 50 minutos. Então, o banho sofre um resfriamento controlado indireto até atingir 90°C (gradiente de temperatura 2,5°C/minuto). Ao atingir esta temperatura o banho sofre um resfriamento controlado indireto até atingir 70°C (gradiente de temperatura 4,0°C/minuto). Após atingir

esta temperatura o banho é esvaziado. Este despejo corresponde à primeira amostra usada na caracterização físico-química do pré-tratamento da cor branca. O equipamento é então preenchido com água fria e quente.

O banho é aquecido rapidamente até atingir 70°C, temperatura na qual o banho circula durante 10 minutos e é esvaziado. Esta operação é realizada duas vezes, portanto os seus despejos geram a segunda e terceira amostras. O equipamento é então completado com água quente, é aquecido até atingir 60°C, temperatura na qual o banho circula durante 10 minutos e é descartado. Deste despejo se origina a quarta amostra. A seguir o equipamento é preenchido novamente com água para o início do processo de tingimento óptico.

A Figura 3.5 apresenta o esquema representativo do processo de preparação por pré-alveamento para as cores de intensidade clara e média.

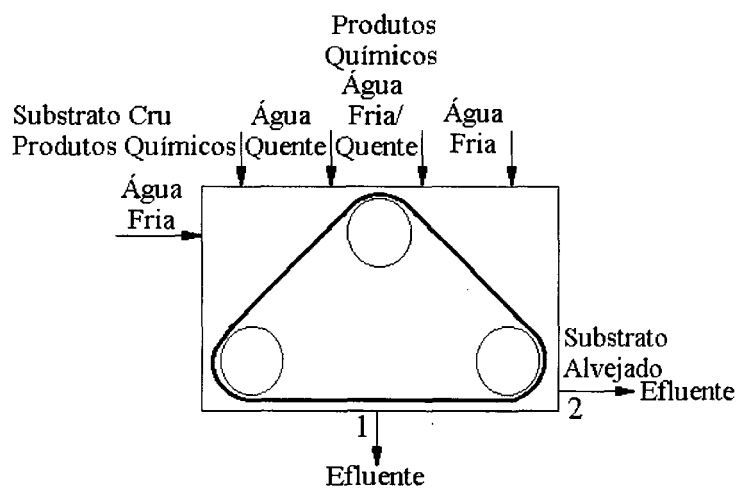


Figura 3.5 – Esquema representativo do processo de preparação por pré-alveamento para o tingimento das cores de intensidade clara e média.

O processo de preparação usando pré-alveamento, para o tingimento das cores de intensidade clara e média, é ilustrado na Figura 3.5. O equipamento é completado com água fria e os produtos químicos auxiliares (desairante, antiespumante, sequestrante, antiq uebradura, dispersante, emulgador) são adicionados rapidamente. A seguir é iniciado o carregamento da malha.

Após o carregamento da malha, é adicionada por injeção rápida soda cáustica e a seguir peróxido de hidrogênio. O banho é aquecido rapidamente até atingir 95°C, temperatura na qual irá circular por 30 minutos. Então, o banho sofre um resfriamento controlado até atingir 70°C. Após atingir esta temperatura é iniciada uma lavagem de transbordo à quente, durante 8 minutos.

O despejo inicial do transbordo corresponde à primeira amostra usada na caracterização físico-química do pré-alveijamento das cores claras e médias. Ao final deste tempo o banho é esvaziado. A amostra deste despejo corresponde à segunda amostra. O equipamento é então preenchido com água fria e quente. É injetado rapidamente o neutralizador de peróxido e hidróxido de sódio, para a neutralização do pré-alveijamento. Este banho é aquecido rapidamente até atingir 70°C, temperatura em que o banho circula durante 10 minutos. Após este tempo é realizado o teste de residual de peróxido. Após esta verificação é então injetado rapidamente ácido cítrico, mantendo-se o banho em circulação por 5 minutos. Após esta etapa inicia-se uma lavagem com água fria durante 10 minutos, sendo o banho esvaziado. Este despejo corresponde a terceira amostra. A seguir o equipamento é completado novamente para o início do processo de tingimento.

A Figura 3.6 apresenta o esquema representativo do processo de tingimento para a cor branca.

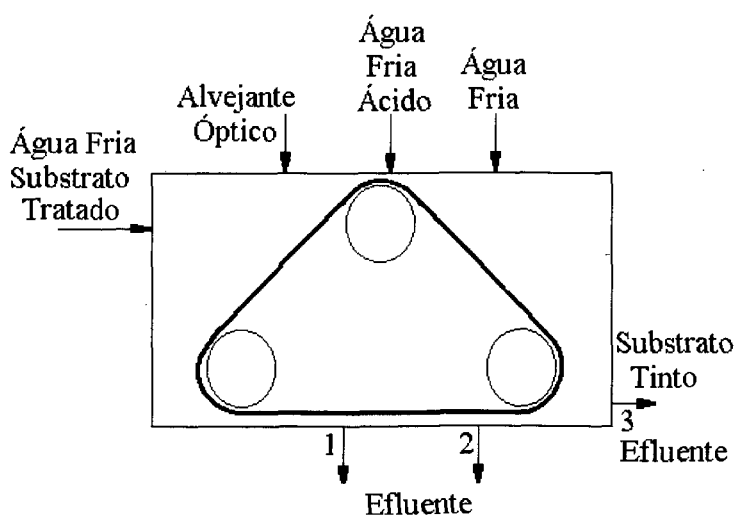


Figura 3.6 - Esquema representativo do processo de tingimento da cor branca.

O processo de tingimento da cor branca está representado pelo esquema na Figura 3.6 onde as entradas e saídas do processo estão representadas pelas setas. O volume de enchimento do equipamento é determinado pela relação de banho e o “pick up” da malha. Após o preenchimento do equipamento com água fria, é dosado o alvejante óptico, tendo esta etapa a duração de 10 minutos.

À temperatura de 70°C o banho deve circular durante 15 minutos. É realizado um resfriamento do tipo indireto (trocador de calor), até atingir 50°C, temperatura na qual o banho circula durante 5 minutos. Após este tempo o equipamento é esvaziado. Deste despejo é coletada a primeira amostra para caracterização físico-química do efluente da cor branca.

O equipamento é preenchido com água fria, sendo injetado rapidamente ácido; a solução é mantida por 10 minutos. Após este tempo é iniciada uma lavação com água fria durante 5 minutos. O despejo inicial desta lavação corresponde à segunda amostra. A terceira amostra é retirada com o tempo de 5 minutos. Então é verificado o pH (6,0 a 7,0) e retirada amostra para conferência de tonalidade. Caso o pH ainda não tenha sido atingido, deve-se lavar, até alcançá-lo. A malha então deve ser descarregada e o banho esvaziado. Deste despejo é retirada a quarta amostra.

A Figura 3.7 apresenta o esquema representativo do processo de tingimento para a cor preta.

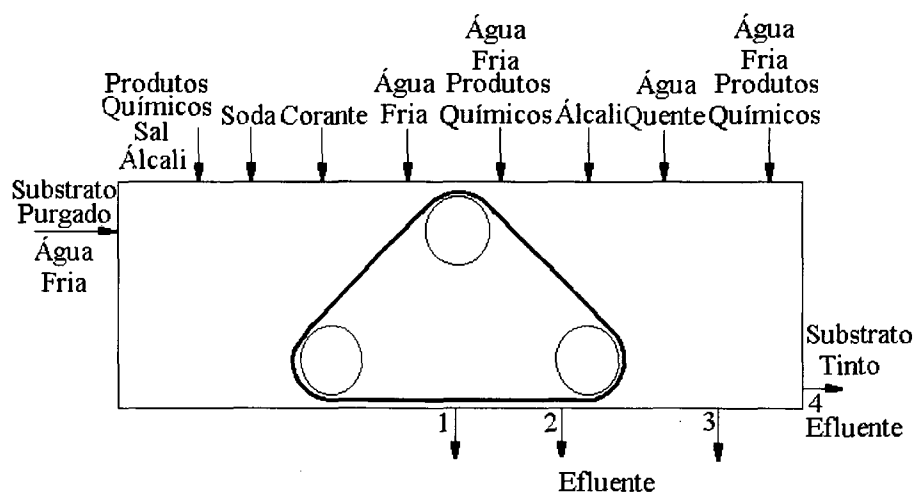


Figura 3.7 - Esquema representativo do processo de tingimento da cor preta.

O processo de tingimento da cor preta ocorre logo após a purga convencional. O equipamento é completado com água fria e então os produtos químicos auxiliares (desirante, antiespumante, sequestrante, dispersante, umectante, agente redutor orgânico para tingimentos sulfurosos) são injetados rapidamente no banho. A seguir a barrilha e o sal são adicionados juntos; o tempo de dosagem é de 5 minutos. Logo após, é adicionada soda cáustica durante 15 minutos.

A dosagem do corante é realizada durante 20 minutos à temperatura de 60°C. Após a adição do corante, o banho sofre um gradiente positivo de temperatura 1,0°C/minuto, até atingir a temperatura de 95°C. O banho permanece nesta temperatura durante 30 minutos, sendo em seguida submetido a um gradiente negativo de temperatura 3,0°C/minuto, até atingir 60°C. Quando o banho atinge esta temperatura, inicia-se uma lavação com duração de 30 minutos. O despejo inicial desta lavação corresponde à primeira amostra do tingimento.

O despejo antes do término de 30 minutos corresponde à segunda amostra do tingimento. Após o volume do banho é acertado, com água quente, e então é realizada uma lavação com produtos químicos (ácido, dispersante e oxidante de corantes sulfurosos). Esta lavação ocorre a 70°C durante 15 minutos. O despejo desta lavação corresponde à terceira amostra de efluente do processo de tingimento. O volume do banho é acertado, com água quente, e então é realizada uma nova lavação com produtos químicos (barrilha). Esta lavação ocorre a 70°C durante 15 minutos. Após este tempo é iniciado um gradiente negativo de 3,0°C/minuto, até atingir 60°C. Este resfriamento é do tipo direto. O despejo deste resfriamento corresponde à quarta amostra de efluente do processo de tingimento. A seguir é realizada uma lavação com 3000 litros de água fria durante 5 minutos.

A quinta amostra é retirada quando o equipamento é esvaziado. O equipamento é preenchido com água fria. São adicionados ao banho por injeção rápida produtos químicos para o acabamento do tingimento (agente de avivagem para sulfurosos, barrilha). Este banho circula durante 20 minutos. Após a conferência da tonalidade e pH final (8,0 – 9,0), a malha é descarregada e o banho é esvaziado. Este despejo corresponde à sexta amostra.

A Figura 3.8 apresenta o esquema representativo do processo de tingimento para a cor de intensidade clara.

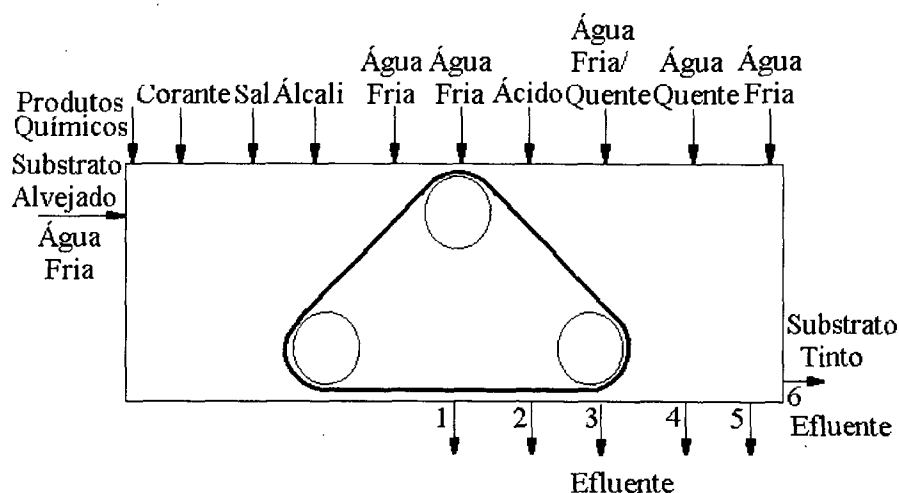


Figura 3.8 - Esquema representativo do processo de tingimento da cor clara.

O processo de tingimento da cor de intensidade clara está representado pelo esquema na Figura 3.8. A malha presente no equipamento indica o volume de água a ser completado (pick up). Após o enchimento com água fria, é feita a injeção rápida dos produtos químicos auxiliares de tingimento (sequestrante, dispersante, anti-quebradura, ácido). O banho circula durante 5 minutos e então é realizada a verificação do pH (5,0 – 6,0). Após a conferência do pH o banho é submetido a um gradiente positivo de temperatura 3,0°C/minuto, até atingir 60°C. Após atingir esta temperatura é iniciada a dosagem dos corantes (20 minutos).

Ao terminar a adição dos corantes, inicia-se a dosagem do sal (30 minutos). Então o banho circula durante 5 minutos, sendo verificada, após este período, a densidade. Se a densidade lida conferir com a da tabela de concentração de sal, o processo continua normalmente, se não é corrigido o problema (por exemplo, adição de sal). O banho circula 20 minutos. A seguir é iniciada a dosagem da barrilha, durante 45 minutos. Depois de dosada a barrilha, o banho circula por 30 minutos para fixação. Terminado o tempo é iniciada uma lavagem de 5 minutos. O despejo inicial corresponde à primeira amostra.

A segunda amostra é coletada quando o banho está sendo esvaziado. O equipamento é então preenchido com água fria, que circula durante 8 minutos, sendo que, após este período o equipamento é esvaziado. Este despejo corresponde à terceira amostra. O equipamento é novamente completado com água fria. É injetado rapidamente ácido ao

banho, que circula durante 10 minutos antes de ser despejado. Este despejo corresponde à quarta amostra.

O equipamento é completado com água fria e quente. Sofre um gradiente positivo 3,5°C/minuto, até atingir 90°C, temperatura na qual circula durante 8 minutos. Então é realizado um resfriamento controlado (gradiente negativo de temperatura 3,5) até atingir 80°C. Nesta temperatura, inicia-se uma lavação de 5 minutos com água quente. A quinta amostra é retirada no início da lavação e a sexta amostra quando o banho é esvaziado. O equipamento é preenchido com água fria, que circula durante 8 minutos. Após este tempo é conferido o pH (7,0) e retirada a amostra para conferência de tonalidade. A malha é então descarregada e o banho é esvaziado. Deste despejo é coletada a sétima amostra.

A Figura 3.9 apresenta o esquema representativo do processo de tingimento para a cor de intensidade média.

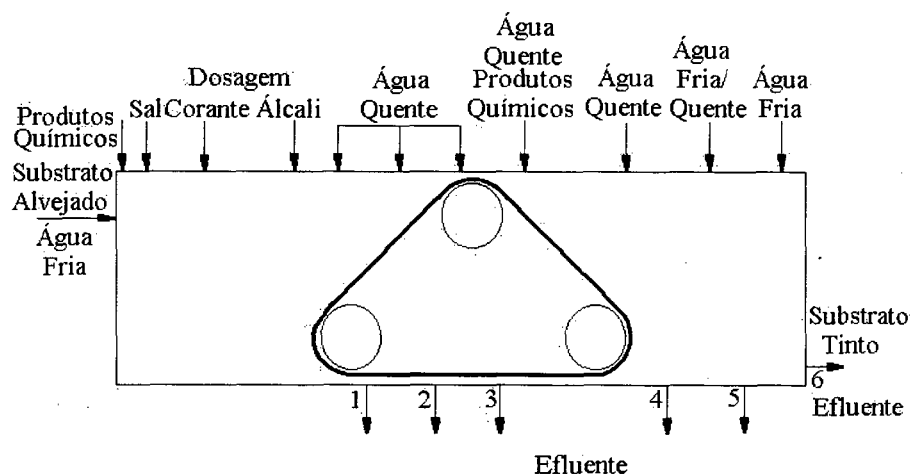


Figura 3.9 - Esquema representativo do processo de tingimento da cor média.

O processo de tingimento da cor de intensidade média está representado pelo esquema ilustrado na Figura 3.9. A malha presente no equipamento indica o volume de água a ser preenchido (pick up). Após o enchimento com água fria e injeção rápida dos produtos químicos auxiliares de tingimento (sequestrante, dispersante, antiq uebradura, ácido), o banho circula durante 5 minutos, à temperatura de 50°C, e então é realizada a adição do sal (15 minutos). Após este período é realizada a verificação do pH (5,5 – 6,0) e

da densidade. Após a conferência do pH e densidade, é iniciada a dosagem dos corantes (30 minutos).

Ao terminar a adição dos corantes, o banho sofre um gradiente positivo de temperatura ($1,4^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$), até atingir 92°C , temperatura na qual circula durante 20 minutos. A seguir é iniciada a dosagem da barrilha, durante 30 minutos. Depois de dosada a barrilha, o banho circula por 30 minutos para fixação. Em seguida é iniciada uma lavagem com água quente durante 5 minutos. O despejo inicial corresponde à primeira amostra.

A segunda amostra é coletada quando o banho está sendo esvaziado. O equipamento é então completado com água quente, que sofre um aquecimento rápido até atingir 80°C e circula durante 10 minutos, sendo em seguida esvaziado. Esta operação é realizada duas vezes, portanto destes despejos é coletada a terceira e quarta amostra.

O equipamento é novamente preenchido com água quente. São injetados rapidamente produtos químicos (antiquebradura, lubrificante, sequestrante, dispersante) ao banho, que circula durante 15 minutos à temperatura de 95°C . É realizada uma lavagem com água quente durante 5 minutos. O despejo inicial corresponde à quinta amostra.

A sexta amostra é coletada quando o banho está sendo esvaziado. O equipamento é completado com água quente. O banho então é aquecido rapidamente até 80°C , temperatura na qual circula durante 10 minutos, sendo após resfriado até 60°C (gradiente de temperatura $4,0^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$). Ao atingir a temperatura o banho é esvaziado. Deste efluente é coletada a sétima amostra. O equipamento é preenchido com água fria e o banho circula durante 8 minutos. Após este período é conferido o pH (7,0) e retirada a amostra para conferência de tonalidade. A malha é então descarregada e o banho é esvaziado. Deste despejo é coletada a oitava amostra.

A Figura 3.10 apresenta o esquema representativo do processo de tingimento para a cor de intensidade escura.

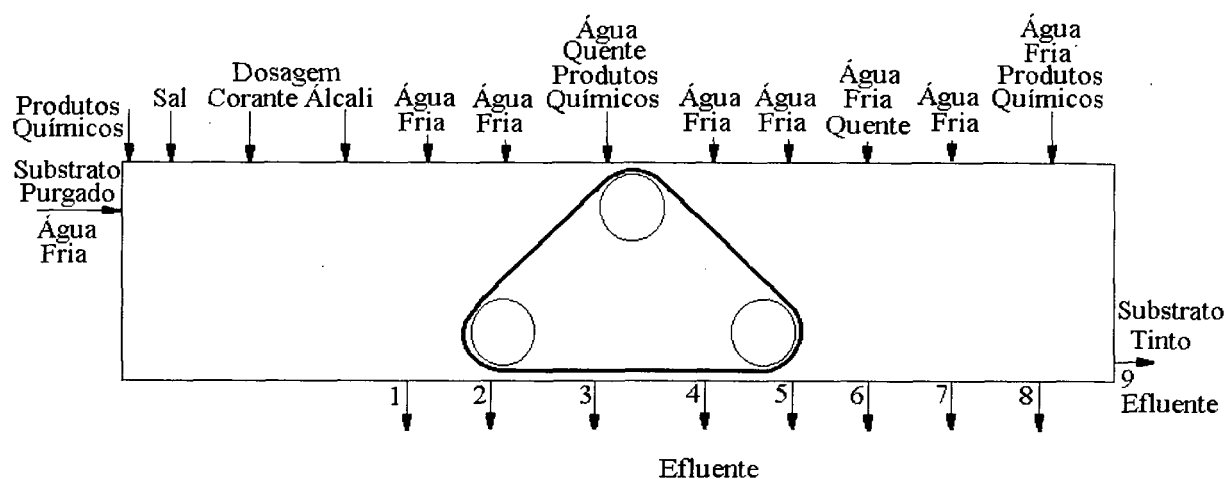


Figura 3.10 - Esquema representativo do processo de tingimento da cor escura.

O processo de tingimento da cor de intensidade escura após a purga ácida está representado pelo esquema na Figura 3.10. O equipamento com água fria e os produtos químicos auxiliares de tingimento (sequestrante, antiq uebradura, ácido) têm a temperatura elevada até 50°C, temperatura na qual circula durante 5 minutos. Após este período inicia-se a adição de sal durante 15 minutos. Decorrido este período, verifica-se o pH e a densidade. A seguir é iniciada a dosagem do corante durante 30 minutos. Após a adição do corante a temperatura sofre um gradiente positivo de 1,4°C/minuto, até atingir 92°C. Nesta temperatura o banho circula 20 minutos, para então iniciar-se a dosagem do álcali (30 minutos). Após a dosagem o banho circula 30 minutos para fixação e sofre um gradiente negativo de 3,5°C/minuto até atingir 85°C, para ser esvaziado. Este é o efluente 1 e neste processo corresponde a amostra usada na caracterização físico-química do primeiro despejo.

O equipamento é então completado com água quente e o banho é aquecido até 80°C e circulado durante 10 minutos antes de ser esvaziado. Esta operação de lavação é realizada duas vezes, portanto gera os efluentes da segunda e terceira amostra para caracterização físico-química.

Nesta fase chamada de ensaboamento, o equipamento é completado com água quente e tem a adição de produtos químicos (sequestrante, dispersante, antiq uebradura). Este banho circula 15 minutos à temperatura de 95°C, antes de sofrer um gradiente negativo de 3,5°C/minuto até atingir 85°C e ser esvaziado. Este efluente gera a quarta amostra.

As duas fases seguintes são lavagens como anteriormente descritas. Destas fases é coletada a quinta e sexta amostra. O equipamento é preenchido com água fria/quente e é aquecido até atingir 65°C, temperatura na qual circula durante 10 minutos antes de ser resfriado até 60°C (3,5°C/minuto) e esvaziado. Este efluente corresponde à sétima amostra.

A próxima fase é uma lavagem com água fria para retirada de amostra para conferência de tonalidade. Este banho circula 10 minutos antes de ser esvaziado. A seguir é realizada a aplicação do fixador; para isto o equipamento é completado com água fria e adição de ácido. É verificado o pH (5,0 – 7,0) antes da dosagem (20 minutos) do fixador. Depois de dosado o fixador, o banho é aquecido até 50°C e circula durante 8 minutos para ser esvaziado. Este efluente corresponde à oitava amostra. O equipamento é completado com água fria para lavagem; circula durante 8 minutos antes do pH ser novamente verificado (7,0), para o descarregamento da malha. O banho é esvaziado e deste efluente tem-se a nona amostra.

3.5 - Procedimento Experimental

Cada amostra foi caracterizada de acordo com as seguintes análises:

- Sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos fixos (SF);
- pH;
- Temperatura;
- Alcalinidade parcial e total;
- Condutividade;
- Turbidez;
- Cor;
- Metal Ferro;
- Demanda Química de Oxigênio (DQO).

A descrição dos métodos utilizados, adaptados do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995), encontra-se na seção 3.5.1 deste capítulo.

A Tabela 3.1. apresenta a identificação das amostras de acordo com a intensidade de cores, código de amostragem e percentual de corante utilizado para o tingimento (substrato 100% algodão) e classe dos corantes utilizados para o tingimento das cores selecionadas.

Tabela 3.1 - Identificação dos efluentes conforme a intensidade das cores selecionadas.

Intensidade de Cores	Código da amostra	% Corante	Classe de corante	Marca do Corante	Processo de Preparação
Clara	A	0,4194	Reativo	Cibacrone F/FN	Pré-alvejamento
Média	B	0,588	Reativo	Procion XL+	Pré-alvejamento
Escura	C	4,25	Reativo	Procion XL+	Purga Ácida
Preto	D	18	Enxofre	Diresul	Purga
Branco	E	0,8	Alvejante óptico	Uvitex	Pré-tratamento para tingir branco óptico

3.5.1 - Métodos Analíticos

3.5.1.1 - Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Fixos (SF)

Os sólidos suspensos totais (SST) e sólidos fixos (SF) foram determinados por secagem da amostra, filtrada em papel qualitativo de filtração lenta, a 105°C e posterior calcinação a 550°C, respectivamente.

3.5.1.2 - Medida de pH

O pH foi medido potenciometricamente usando-se um eletrodo combinado de vidro e prata/cloreto de prata.

O potenciômetro foi calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, conforme indicado pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995).

3.5.1.3 - Alcalinidade Parcial e Total

Foram determinadas a alcalinidade parcial e total nos afluentes e efluentes. Estas metodologias consistem em:

A.1) Alcalinidade Parcial

A.1.1) Colocar 50 ml da amostra em um erlenmeyer de 250 ml.

A.1.2) Adicionar 03 gotas do indicador fenolftaleína 1%. A amostra deve adquirir coloração avermelhada. Caso isto não aconteça, a alcalinidade parcial é zero.

A.1.3) Titular sob agitação, a solução contendo o indicador, com ácido sulfúrico 0,1 N. A amostra deverá atingir uma coloração levemente rosa próximo ao incolor.

A.1.4) A solução deve ser guardada para o ensaio de alcalinidade total. A bureta não deve ser zerada.

A.2) Alcalinidade Total

A.2.1) Adicionar sobre a amostra titulada anteriormente, 3 gotas de indicador Alaranjado de Metila.

A.2.2) Titular com a solução de ácido sulfúrico 0,1 N até que atinja uma coloração avermelhada.

3.5.1.4 – Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A condutividade e os STD foram determinados na temperatura de referência de 25°C, em condutivímetro da marca Orion, modelo 124.

3.5.1.5 - Turbidez

A turbidez foi determinada no turbidímetro da marca Hach, modelo 2100P.

3.5.1.6 - Cor

A cor determinada foi a aparente. Mediu-se a cor no comprimento de onda 455 nm, do programa 120, do espectrofotômetro marca Hach, modelo DR/2000.

3.5.1.7 - Metal Ferro

A determinação do metal ferro foi realizada através da utilização de kit específico para determinação colorimétrica do metal no espectrofotômetro DR/2000 da marca Hach. Esta é uma metodologia adaptada do Standard Methods (APHA, 1995) e consiste em:

A.1) Digestão Prévia

A.1.1) Colocar 50 ml da amostra em um béquer de 100 ml.

A.1.2) Adicionar 3 ml de solução de ácido clorídrico 1:1.

A.1.3) Reduzir o volume para aproximadamente 30 ml através de aquecimento em uma chapa.

A.1.4) Esperar esfriar e ajustar o pH para $4,0 \pm 0,2$, com solução de hidróxido de sódio 15%.

A.1.5) Completar o volume com 50 ml de água deionizada.

B.2) Determinação de Ferro

B.2.1) A determinação da concentração de ferro total presente na amostra foi feita no espectrofotômetro HACH DR/2000, pelo programa número 265, cujo comprimento de onda é 510 nm.

A.2.2) Após o ajuste do pH deve-se adicionar 25 ml de amostra em uma cubeta.

A.2.3) Adicionar o conteúdo do envelope que contém o reagente Ferrover e agitar para dissolver o reagente na amostra.

A.2.4) Ao apertar a tecla SHIFT/TIMER inicia-se a contagem de 3 minutos de reação. Observa-se a formação de uma coloração alaranjada que variará de intensidade de acordo com a concentração de ferro presente.

A.2.5) Após este tempo deve-se utilizar 25 ml de amostra sem adição de reagente como branco.

3.5.1.8 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da DQO foi realizada através da utilização do kit para DQO 0-1500mg/l, para leitura colorimétrica no espectrofotômetro DR/2000 da marca Hach. Esta é uma metodologia adaptada do método colorimétrico de refluxo fechado descrito no

Standard Methods (APHA, 1995) e consiste em adicionar 2 ml da amostra no tubo de ensaio contendo o reagente DQO 0 – 1.500 mg/l, agitar a mistura, colocar para digerir no reator de DQO a 150°C por 2 horas. Após o término do tempo de digestão, retira-se do aparelho para resfriar e procede-se a leitura no espectrofotômetro marca Hach modelo DR/2000. O programa de leitura desta análise é o 435, cujo comprimento de onda para leitura é 625 nm.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização dos Efluentes

A caracterização dos efluentes foi realizada no processo industrial de uma empresa têxtil de grande porte, que possui processos automatizados, com capacidade nominal de 37.920 kg de tecido/dia. A Estação de Tratamento de Águas (E.T.A.) é alimentada pela água do Rio Itapocu, numa vazão média de 220 m³/h. Cerca de 186 m³/h desta vazão são utilizados no beneficiamento têxtil, nos processos de purga, alvejamento, tingimento, lavagem de quadros da estamparia, laboratório, etc., gerando uma vazão média de aproximadamente 160 m³/h de efluentes, que são enviados para a Estação de Tratamento de Efluentes (E.T.E.). A Figura 4.1 apresenta o esquema representativo da água utilizada no beneficiamento com as médias das correntes, desde a captação até o despejo no corpo receptor.

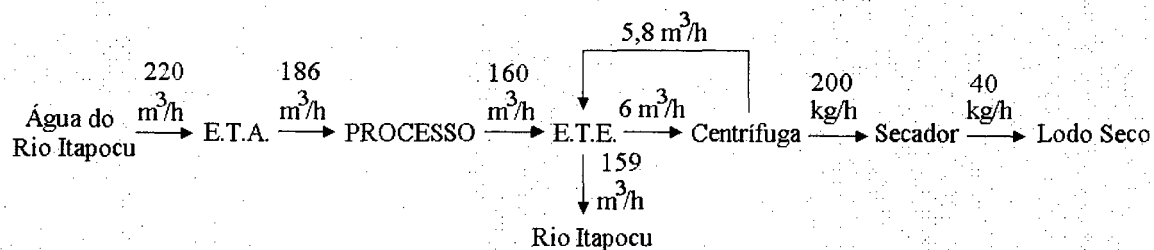


Figura 4.1 – Esquema representativo da água utilizada no beneficiamento desde a captação até o despejo no corpo receptor.

A Tabela 4.1 apresenta as vazões médias tratadas nas estações de afluentes e efluentes da empresa, durante o ano de 2001 e a relação entre o consumo total de água e a quantidade total de malha produzida.

A Tabela 4.2 apresenta a relação entre o consumo total de água e a quantidade total de malha produzida durante os anos de 1996 a 2000.

Tabela 4.1 – Vazões médias tratadas nas estações de tratamento de afluentes e efluentes durante alguns meses do ano de 2001.

Mês 2001	Março		Abril		Maio		Junho	
	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.
m ³ tratados/mês	112.610	96.400	96.557	74.850	92.420	74.363	98.248	79.877
m ³ tratados/h	216,56	159,34	194,67	162,36	203,57	134,96	217,84	158,49
L/kg malha*	172,15	147,37	181,16	140,44	186,88	150,36	197,65	160,69
Produção de malha (kg)	654.151		532.977		494.551		497.093	
Kg vapor/kg malha	6,81		6,88		9,50		6,86	
Mês 2001	Julho		Agosto		Setembro		Outubro	
	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.	E.T.A.	E.T.E.
m ³ tratados/mês	115.489	96.241	99.310	89.708	108.066	87.946	121.746	85.645
m ³ tratados/h	195,41	162,84	168,04	144,92	198,65	169,45	242,00	138,00
L/kg malha*	190,05	158,37	169,05	152,7	207,77	169,08	233,15	164,01
Produção de malha (kg)	607.691		587.460		520.129		522.189	
Kg vapor/kg malha	10,77		8,29		8,93		9,64	

*padrão mundial para E.T.A. 165 L/kg malha e para E.T.E. 115 L/kg malha

Tabela 4.2 - Histórico da Estação de Tratamento de Efluentes (litros/kg malha).

Ano	1996	1997	1998	1999	2000
Janeiro	118,9	125,7	131,2	123,3	144,5
Fevereiro	116,7	144,1	130,7	113,4	132,7
Março	125,6	125,2	120,2	105,2	70,8
Abril	129,1	125,1	107,5	109,8	161,6
Maio	105,7	11,9	117,3	114,4	147,4
Junho	124,4	117,3	117,4	112,3	136,6
Julho	110,8	133,1	108,5	101,9	156,3
Agosto	116,8	141,9	110,5	100,1	139,9
Setembro	129,1	133,6	120,3	102,6	160,9
Outubro	131,9	150,6	97,8	99,3	167,2
Novembro	126,1	145,5	111,9	156,2	127,0
Dezembro	92,2	125,3	107,6	139,3	157,0
Média	118,9	131,6	115,1	114,8	141,8

Os efluentes gerados no processo de beneficiamento têm composição e vazões variadas. A Tabela 4.3 apresenta as atividades da empresa estudada quando possuía uma produção média de 200 ton/mês (1984). A Tabela 4.4 apresenta o consumo de água no processo de tingimento para diferentes corantes (a relação inclui a água utilizada na etapa de preparação).

Tabela 4.3 – Características químicas e vazões médias dos efluentes gerados nas etapas do processo de beneficiamento têxtil.

Etapa	Características	Vazão média (m ³ /d)
Purga	Efluente contendo NaOH, detergente, com temperatura média de 70°C	83
Alvejamento	Efluente contendo NaOH, silicatos, carbonatos, EDTA, peróxido, com temperatura média de 60°C	81
Pré-alvejamento	Basicamente as mesmas do alvejamento	108
Caustificação	Efluente contendo NaOH e umectante	34
Tingimento (reativos)	Efluente contendo corantes, carbonato, cloreto, detergente, com temperatura média de 60°C	665
Tingimento (naftol)	Efluente contendo NaOH, naftol, sulfatos, ácidos, acetatos, carbonatos, detergente, com temperatura média de 45°C	190
Tingimento (enxofre)	Efluente contendo NaOH, corante, cloretos, redutores, oxidantes, detergentes, com temperatura média de 75°C	57
Estamparia	Efluente proveniente da limpeza de quadros, com temperatura ambiente	13

* As demais fontes de geração de efluentes avaliadas não estão incorporadas na tabela por apresentarem menor relevância. A geração total apresentada permaneceu em torno de 1500 m³/dia.

Tabela 4.4 – Levantamento do consumo de água na tinturaria referente ao mês de agosto de 2001.

Processo	Número de remessas	Participação do processo no total da produção (%)	Quantidade produzida (kg)	Relação L/kg
Remazol 60°C	7	0,2	702	165,0
Remazol 80°C	125	4,2	20.629	165,0
Remazol RR	122	4,1	28.715	165,0
Naftol	12	0,4	4.260	251,0
Procion HEXL	21	0,7	6.358	128,0
Processo malha fio tinto	54	1,8	22.014	20,0
Tingimento poliéster	67	2,2	7.253	197,0
Tingimento Poliamida	206	6,9	31.891	192,3
Natural pré-alvejado	58	1,9	22.733	27,0
Cibacrone FN	666	22,3	147.504	165,0
Drimaren X	116	3,9	24.164	112,0
Procion XL+ purgado	94	3,2	29.563	77,5
Procion XL+ pré-alvejado	272	9,1	75.185	83,0
Preto enxofre	148	5,0	40.013	254,0
Branco	478	16,0	133.849	61,0

No período em questão o consumo de água para desmontes, lavações e retintamento de malha, que correspondem a 10,5% do total produzido de malha, foi de 7,06%. Neste mesmo período a quantidade de água utilizada para os processos de limpeza química dos equipamentos foi de 2,66%.

A completa caracterização do efluente têxtil, com reprodutibilidade, é difícil, devido à mudança do perfil de malhas e cores em função das coleções outono/inverno e primavera/verão. Foram escolhidas neste trabalho as cores branco óptico, preto enxofre e de intensidades clara, média e escura para caracterização dos efluentes do beneficiamento. Na Tabela 4.5 é apresentado o consumo médio de água industrial no processo descontínuo das etapas de purga, pré-alveamento e tingimento, no equipamento “Jet”, sendo a RB 1:8, assim como o volume de água utilizado por kg de malha para cada intensidade de cor.

A Tabela 4.6 apresenta a quantidade de substratos processados no ano de 2000, conforme os meses do ano.

Tabela 4.5 – Relação de volume de água/massa de substrato por cor selecionada, obtida no equipamento tipo “Jet”.

Cor	Capacidade nominal do equipamento (kg)	Massa processada (kg)	Volume (L) RB 1:8	Volume/Massa (L/kg)
Clara	300	269,0	22.750	84,57
Média	300	270,0	27.578	102,14
Escura	340	291,0	18.333	63,00
Branca	600	566,0	23.973	42,36
Preta	480	443,5	46.244	104,27

Tabela 4.6 – Processamento total de substratos no ano 2000.

Mês/ 2000	Produção Total (kg)	Produção utilizando sintéticos		Mês/ 2000	Produção Total (kg)	Produção utilizando sintéticos	
		kg	%			kg	%
Janeiro	324.316	95.186	29	Julho	534.945	40.540	8
Fevereiro	538.311	143.352	27	Agosto	604.067	54.404	9
Março	564.506	167.529	30	Setembro	538.690	67.486	13
Abril	448.560	152.759	34	Outubro	522.655	61.792	12
Maior	505.589	51.154	10	Novembro	619.757	80.147	13
Junho	510.896	36.022	7	Dezembro	389.382	51.571	13

Observação: Os dados referentes ao mês de Janeiro até Abril são estimados.

4.2 – Caracterização do Afluente

A água utilizada nas etapas caracterizadas no processo de beneficiamento têxtil é chamada de água industrial e apresenta as características físico-químicas apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Resultado da caracterização da água industrial.

Análises	Resultados
pH	6,95
Temperatura	22,8°C
Alcalinidade Parcial	15,50 mg/L
Alcalinidade Total	50 mg/L
Condutividade	111,88 μ S/cm
STD	54,95 mg/L
SST	ausência
SF	ausência
Turbidez	0,63 NTU
Cor	4,80 PtCo
Ferro	0,07 mg/L
DQO	0,70 mg/L

Estes parâmetros serão considerados, neste estudo, como sendo os limites de tolerância exigidos no processo.

4.3 – Caracterização dos Efluentes das Etapas de Preparação e Tingimento

4.3.1 – Caracterização dos Efluentes da Cor Branca

A cor branca é obtida pela aplicação de um corante chamado alvejante óptico. O consumo de água e produtos químicos adicionados nas fases das etapas de preparação e de tingimento são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Identificação das fases do processo de preparação e tingimento da cor branca.

Etapa	Fases	Tipo de água programada		Seqüência de amostragem	Produtos químicos adicionados	Volume consumido por fase	
		Entrada	Saída			litros	%*
Preparação	Pré-tratamento	Quente	70°C	1	Lubrificante, antiebradura, antiespumante, estabilizador, sequestrante, dispersante e emulgador.	4.536	18,92
	Lavação	Fria/Quente	70°C	2	-	2.838	11,84
	Lavação	Fria/Quente	70°C	3	-	2.838	11,84
	Lavação	Quente	60°C-	4	-	2.838	11,84
Tingimento	Tingimento	Fria	50°C	1	Alvejante óptico	2.838	11,84
	Neutralização	Fria	-	2	Ácido acético	2.838	11,84
	Lavação	Fria	-	3	-	5.247	21,88
Volume total de água consumido na etapa de preparação da cor branca						13.050	54,44
Volume total de água consumido na etapa de tingimento da cor branca						10.923	45,56
Volume total de água consumido na etapa de preparação e tingimento da cor branca						23.973	100

* Porcentagem relativa ao consumo total de água das etapas de preparação e tingimento.

A Figura 4.2 apresenta na forma gráfica a cor dos efluentes coletados nas fases de preparação. Verifica-se no gráfico a presença de um pico referente à amostra de lavação após o tratamento químico do substrato. Este pico se deve à remoção dos produtos químicos e sujeiras que estavam retidos nas fibras do substrato. Verifica-se que na segunda lavação que corresponde a terceira amostra, a cor é reduzida em aproximadamente 92%.

O gráfico da turbidez apresentado na Figura 4.3 descreve um comportamento similar ao do gráfico da cor. A redução da turbidez da terceira amostra em relação à segunda foi de aproximadamente 95,6%.

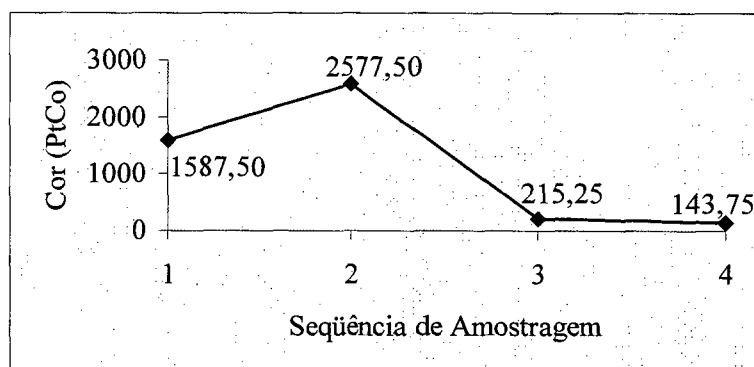


Figura 4.2 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

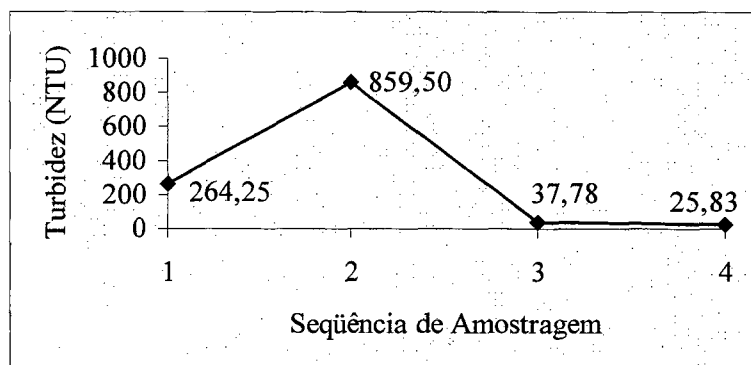


Figura 4.3 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

O gráfico apresentado na Figura 4.4 mostra como a DQO diminui conforme se processam as fases da etapa de preparação da cor branca. No primeiro despejo desta etapa de preparação da cor branca, que corresponde à fase em que são adicionados os produtos químicos, a DQO possui um valor muito elevado em comparação às outras amostras de efluentes das fases de lavagem subsequentes. Verifica-se que ocorreu uma redução de 68% na DQO da terceira amostra em relação à segunda e da quarta amostra em relação à terceira uma redução de aproximadamente 59%.

Os resultados apresentados na Figura 4.5 ilustram que os STD possuem um comportamento similar à do gráfico da DQO. Esta análise permite identificar a eficiência das lavagens utilizadas no processo para remover as substâncias que ainda estejam impregnadas nas fibras do substrato. Verifica-se que a redução da quantidade de sólidos totais dissolvidos, da terceira amostra em relação à anterior foi cerca de 67% e da quarta em relação à terceira foi aproximadamente 57,6%.

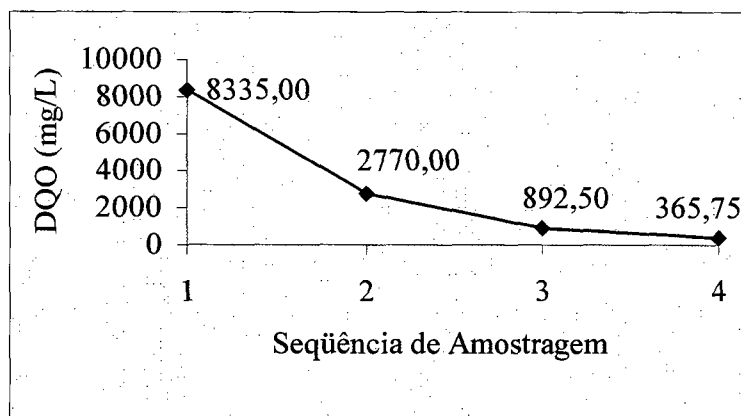


Figura 4.4 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

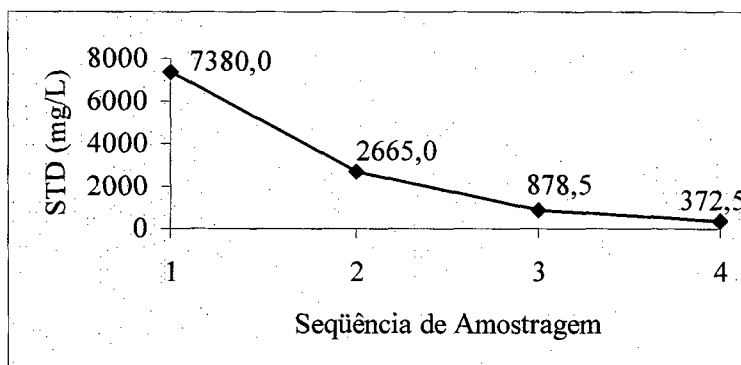


Figura 4.5 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

A Figura 4.6 apresenta o gráfico da condutividade. Verifica-se que a quantidade de sais dissolvidos é proporcional à condutividade, por isso o gráfico da condutividade apresenta similaridade com o gráfico dos STD.

O pH em relação as fases amostradas da etapa de preparação da cor branca devido aos produtos químicos auxiliares foi alcalino, como pode ser observado na Figura 4.7. Através do pH, pode-se ter um indicativo se o efluente apresentará ou não alcalinidade parcial, dependendo apenas da faixa de pH que a amostra se encontra. Se o pH for alcalino, será provável a presença de alcalinidade parcial.

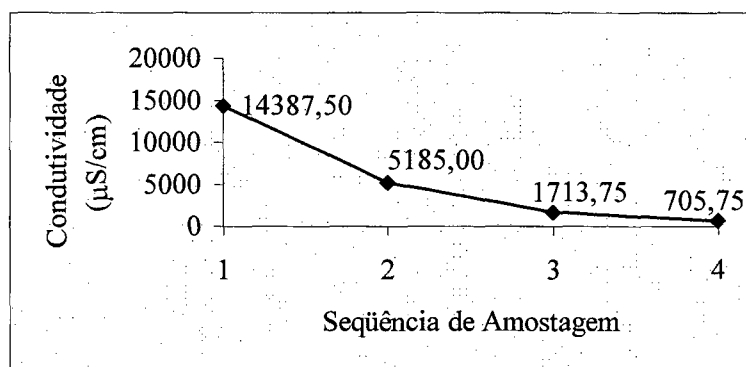


Figura 4.6 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

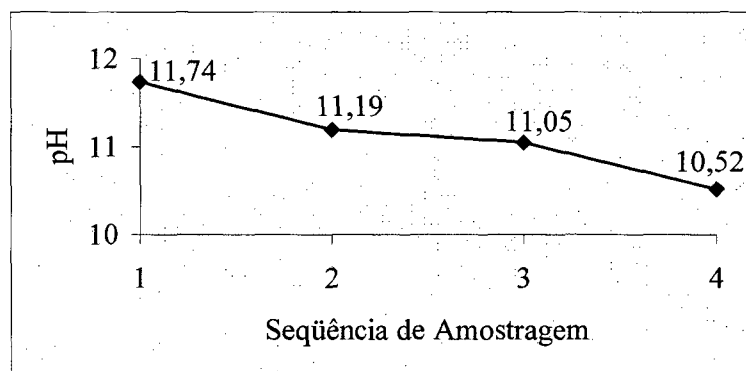


Figura 4.7 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

A Figura 4.8 apresenta o gráfico da alcalinidade parcial; verifica-se que na Figura 4.9, a alcalinidade total apresenta um comportamento similar à alcalinidade parcial.

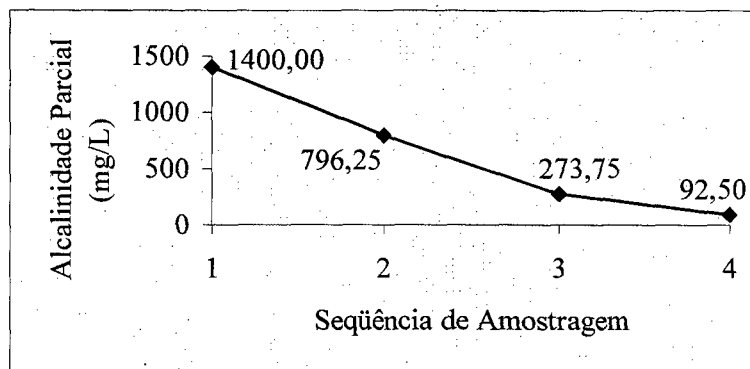


Figura 4.8 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

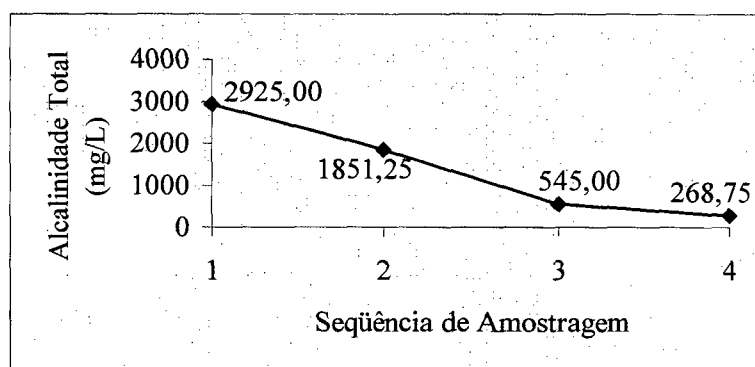


Figura 4.9 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

O comportamento dos SST, para o material amostrado, está representado na Figura 4.10. Verifica-se a diferença de comportamento na quarta amostra em relação às anteriores, apesar das lavações sucessivas, que têm a finalidade de remover este tipo de material.

A Figura 4.11 apresenta a quantidade presente de SF nas amostras analisadas. Observa-se que apenas a quarta amostra apresenta presença de material inorgânico.

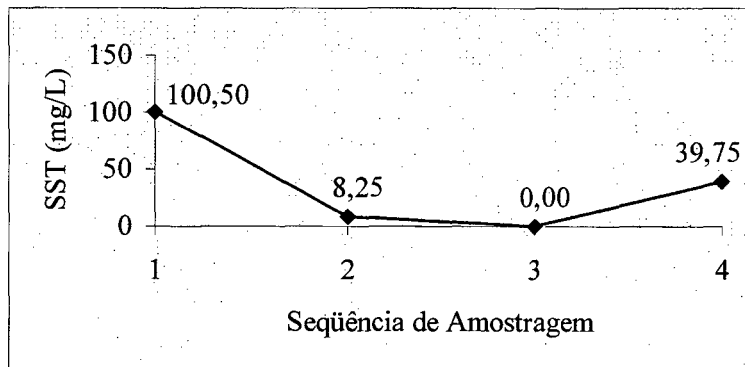


Figura 4.10 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

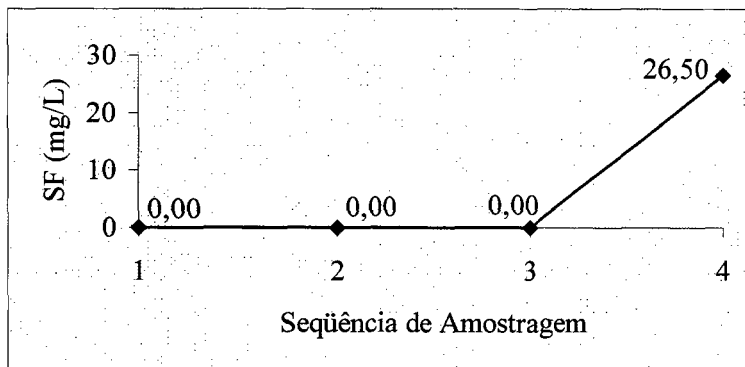


Figura 4.11 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

A quantidade do metal ferro presente nos efluentes está apresentada na Figura 4.12. A determinação deste metal é muito importante para as águas que abastecem o processo de beneficiamento têxtil, principalmente se o objetivo desta determinação for para a recuperação e reutilização de água. Verifica-se que a quantidade de ferro é próxima à quantidade desejável (0,1 mg/l) nas amostras 3 e 4.

A Figura 4.13 apresenta a temperatura do efluente gerado nas fases da preparação da cor branca. Verifica-se que nesta etapa os efluentes possuem temperatura superior a 50°C.

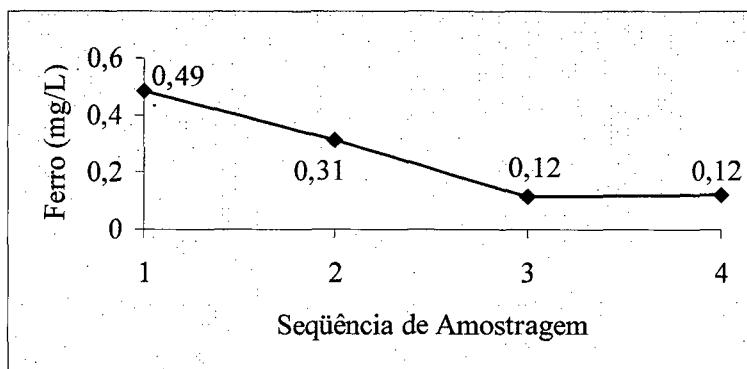


Figura 4.12 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

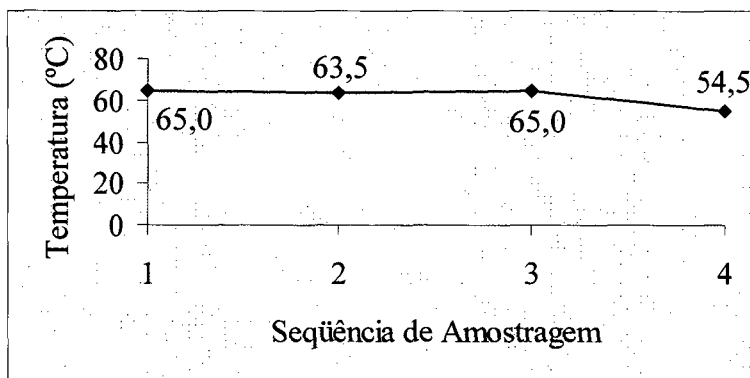


Figura 4.13 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor branca.

A Figura 4.14 apresenta o comportamento da cor em relação aos despejos das fases da etapa de tingimento óptico. Verifica-se que o alvejante óptico não confere elevada cor ao efluente. As amostras seguintes de neutralização e lavagem apresentam característica decrescente.

A turbidez do efluente de tingimento óptico (Figura 4.15) apresentou, como na etapa de preparação, o comportamento similar ao da cor. Os efluentes apresentaram baixa turbidez.

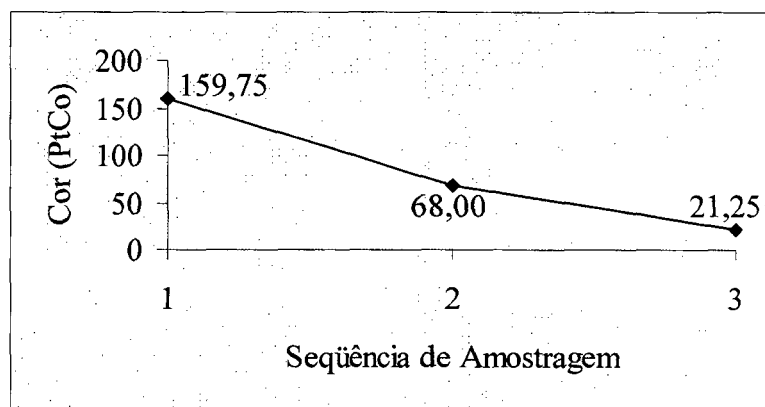


Figura 4.14 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

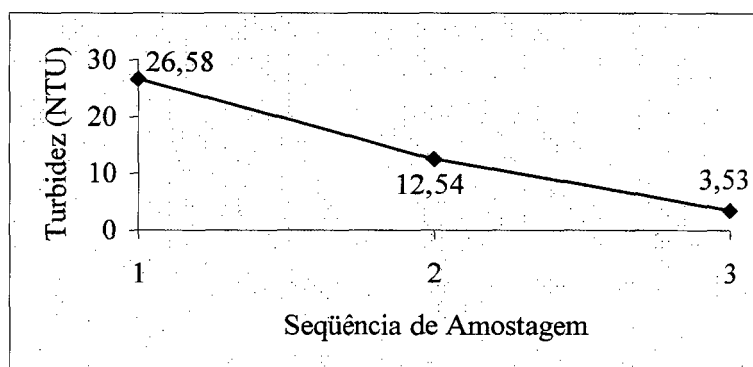


Figura 4.15 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

A DQO, das fases da etapa do tingimento da cor branca, apresentou um pico na segunda amostra, devido à neutralização do banho com ácido. O aumento do valor da DQO da primeira para a segunda amostra foi de 12%, pois na composição do efluente além da presença do residual do alvejante óptico também continha o ácido da neutralização. Na lavagem, que corresponde a terceira amostra, a DQO foi reduzida em aproximadamente 77%, como apresentado na Figura 4.16.

Na Figura 4.17 verifica-se que a quantidade de STD não sofre uma diminuição tão acentuada como a verificada na etapa de preparação. A diminuição pouco acentuada, da primeira amostra para a segunda, deve-se à adição de ácido ao segundo banho para neutralização. A quantidade de sólidos é reduzida em aproximadamente 51% com a lavagem (terceira amostra).

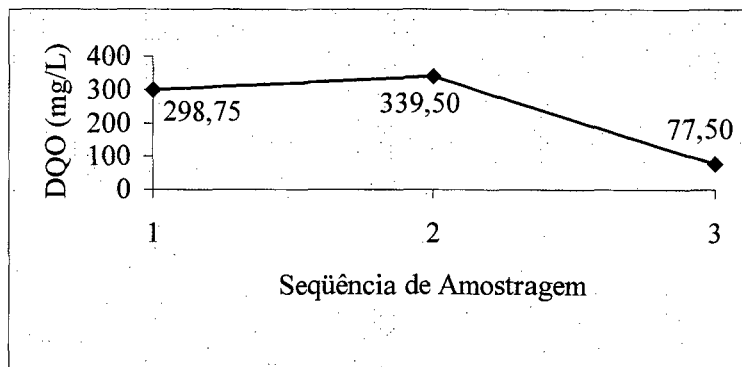


Figura 4.16 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

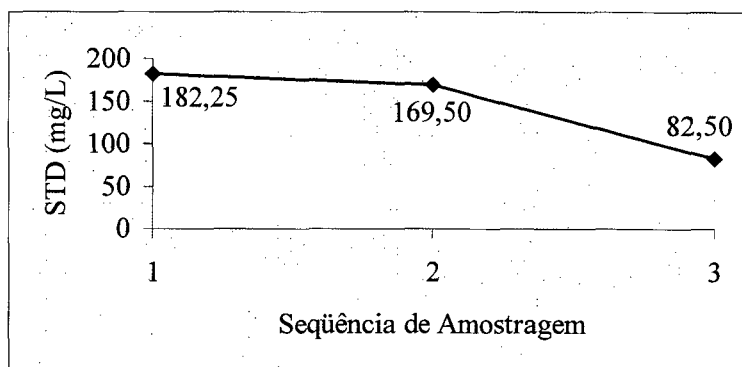


Figura 4.17 – Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

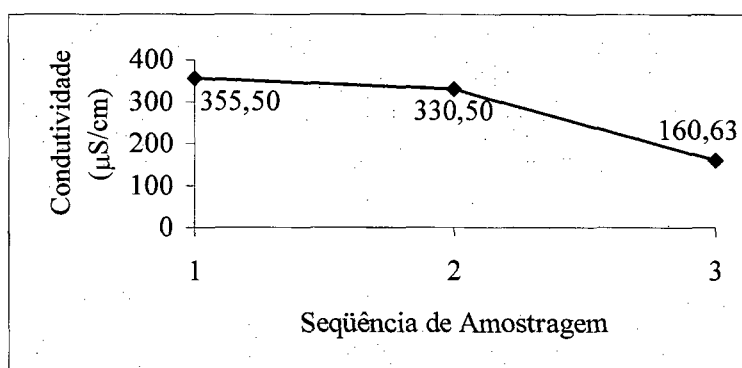


Figura 4.18 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

Verifica-se, na Figura 4.18, que a condutividade apresenta similaridade com o gráfico dos STD.

Verifica-se, na Figura 4.19, que o pH alcalino de 10,05 atinge 5,05, após a adição do ácido. No tingimento da cor branca, a neutralidade do pH é atingida através de lavações.

Como anteriormente citado, a alcalinidade parcial pode ser prevista pelo pH; no caso, como o pH foi ácido nas amostras 2 e 3, verifica-se que foi quantificada apenas na amostra 1 (Figura 4.20). Desta forma, a alcalinidade total não apresenta similaridade com a parcial (Figura 4.21).

Nas análises de SST e SF não foi observada a presença de nenhum material orgânico ou inorgânico.

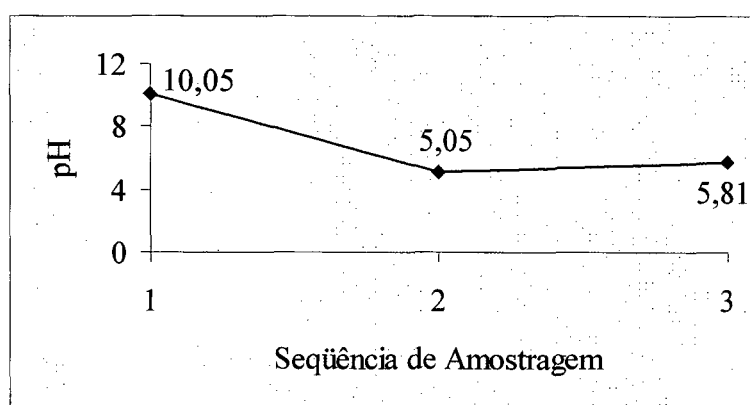


Figura 4.19 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

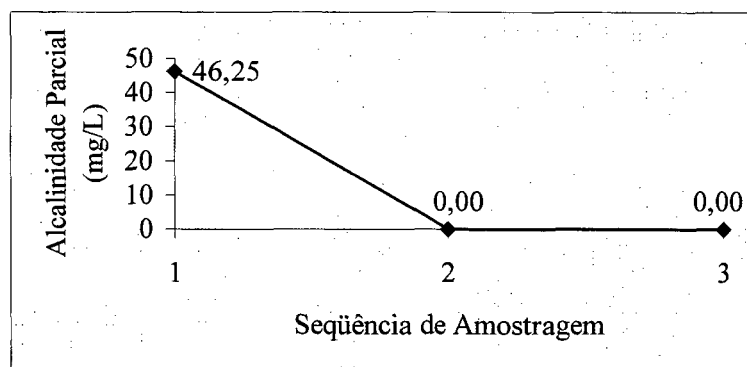


Figura 4.20 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

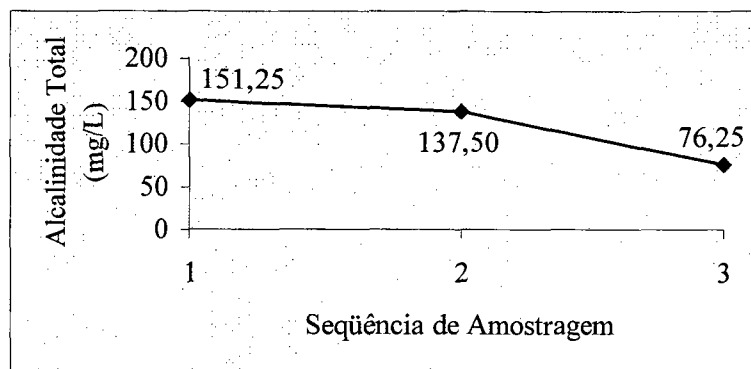


Figura 4.21 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

Verifica-se na Figura 4.22 que as amostras 2 e 3 apresentaram o valor de teor de ferro dentro do limite de tolerância que é inferior a 0,1 mg/l. Porém a reutilização destas amostras de forma direta em outros processos de tingimento, exceto o do branco, é inviável devido à presença de residual de alvejante óptico.

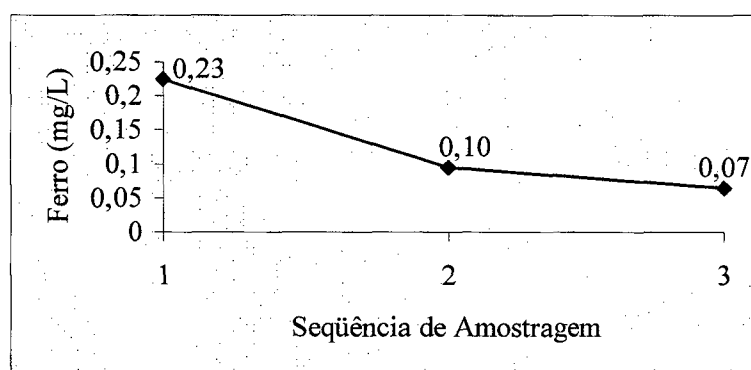


Figura 4.22 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

A temperatura dos efluentes gerados nas fases de tingimento da cor branca apresentaram temperatura inferior à 55°C, conforme pode ser verificado na Figura 4.23.

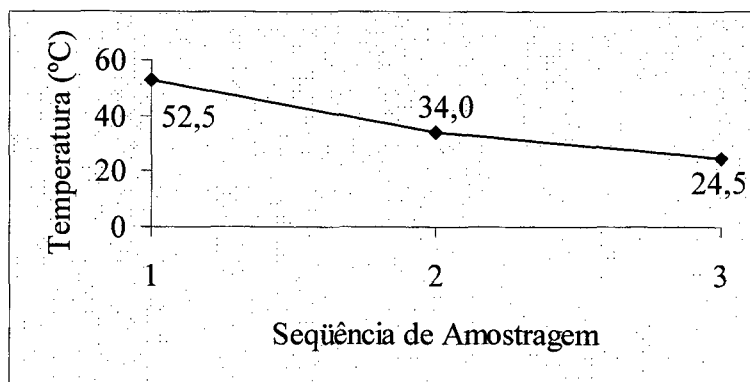


Figura 4.23 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor branca.

A Tabela 4.9 apresenta a contribuição no consumo de água do beneficiamento de um dos processos acompanhados para a coleta de amostras visando a caracterização da cor branca. Verifica-se que a maior quantidade consumida está na preparação, onde a possibilidade de reutilização direta é mais promissora.

Tabela 4.9 – Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor branca.

Etapa	Volume consumido por etapa	
	litros	%
Preparação	13.050	54,44
Tingimento	10.923	45,56
Total consumido	23.973	100,00

4.3.2 – Caracterização dos Efluentes da Cor Preta

A caracterização dos efluentes desta cor que utiliza no tingimento corante do tipo ao enxofre será apresentada nesta seção. O tratamento prévio para o tingimento é realizado pela purga convencional. A Tabela 4.10 apresenta as características das fases que compõem as etapas da purga convencional e tingimento, identificando a seqüência de amostragem, respectivamente.

Tabela 4.10 – Identificação das fases da etapa de preparação e tingimento da cor preta.

Etapa	Fases	Tipo de água programada		Seqüência de amostragem	Produtos químicos adicionados	Volume consumido por fase	
		Entrada	Saída			Litros	%*
Preparação	Purga convencional	Quente	70°C	1	Desairante, antiespumante, antiq uebradura, dispersante, sequestrante e emulgador	3.547	7,67
	Lavação	Quente	-	2	-	3.000	6,49
	Lavação	Fria	-	3	-	3.000	6,48
Tingimento	Tingimento	Fria	60°C	1	Desairante, antiespumante, dispersante, sequestrante, umectante, antioxidante, corante, NaCl, NaOH e CaCO ₃	2.287	4,95
	Resfriar lavando	Fria	-	2	-	24.549	53,08
		Quente	70°C	3	Ácido acético, dispersante de corantes sulfurosos, oxidante para corantes sulfurosos	2.287	4,95
	Neutralização	Quente	60°C	4	Barrilha	2.287	4,95
	Lavação	Fria	-	5	-	3.000	6,48
	Lavação	Fria	-	6	Barrilha, agente protetor de fibras e avivagem para sulfurosos, regulador de pH.	2.287	4,95
Volume total de água consumido na etapa de preparação da cor preta						9.547	20,64
Volume total de água consumido na etapa de tingimento da cor preta						36.697	79,36
Volume total de água consumido na etapa de preparação e tingimento da cor preta						46.244	100

* Porcentagem relativa ao consumo total de água das etapas de preparação e tingimento.

Apesar da presença de produtos químicos e sujeiras das fibras do substrato têxtil, dissolvidos e em suspensão, a amostra 1 apresentou pouca quantidade de cor. As amostras seguintes apresentaram diminuição na coloração, devido às lavagens (Figura 4.24).

As amostras de turbidez (Figura 4.25) indicaram que as amostras apresentam pouco material em suspensão ou colóides; e a quantidade diminuiu com as lavagens.

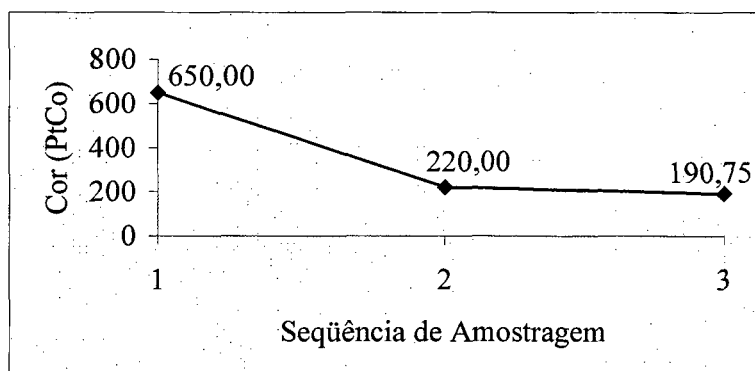


Figura 4.24 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

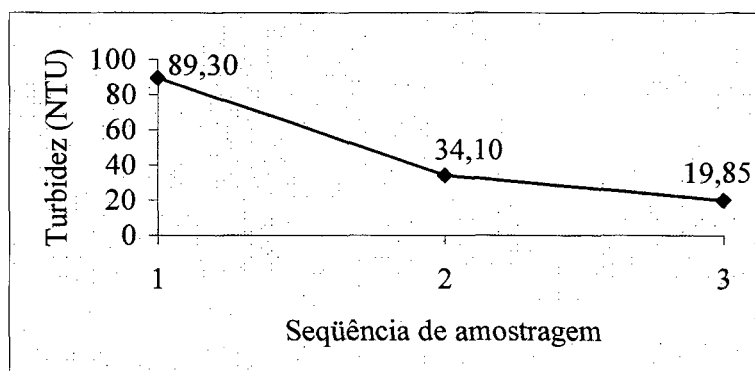


Figura 4.25 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

A DQO na primeira amostra devido aos produtos químicos da purga foi elevada. Da primeira para segunda amostra, que corresponde a uma lavagem quente, reduziu a DQO em aproximadamente 63,8% e da segunda para terceira de 36,6% (Figura 4.26).

As análises de STD (Figura 4.27) e condutividade (Figura 4.28) apresentaram a mesma tendência em seus gráficos que a da DQO.

O pH ácido é característico em todas as três amostras da etapa da purga. Entretanto, o pH tende a neutralidade, quando são realizadas as lavagens quente e fria, que correspondem às amostras 2 e 3, respectivamente (Figura 4.29).

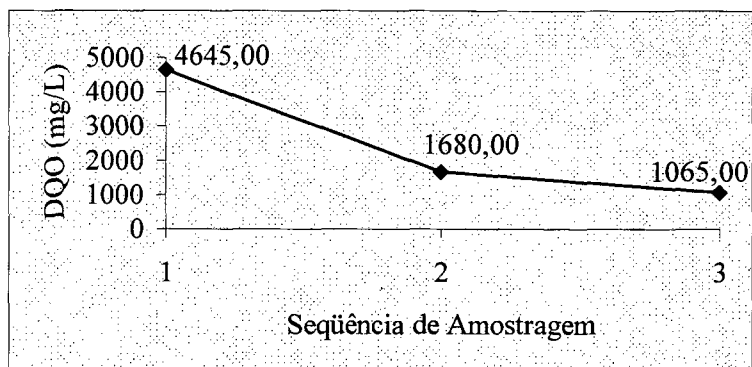


Figura 4.26 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

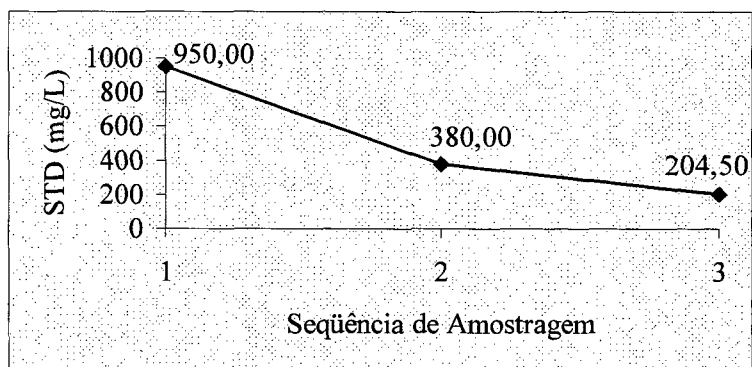


Figura 4.27 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

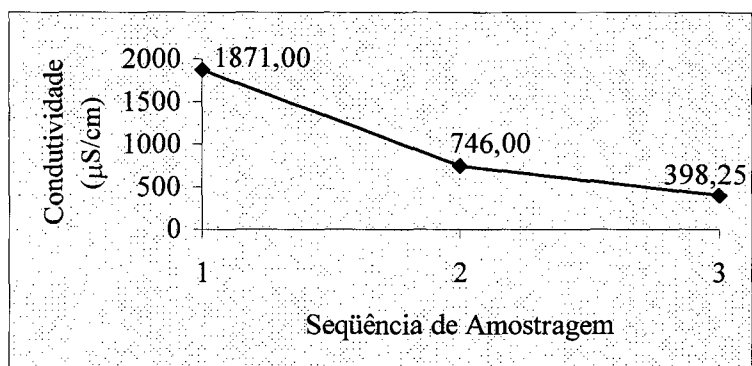


Figura 4.28 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

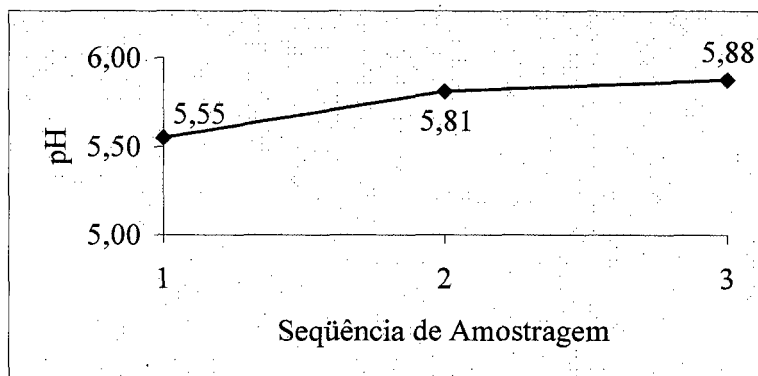


Figura 4.29 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

Como anteriormente citado, devido ao pH ácido, não foi determinada a presença de íons responsáveis pela alcalinidade parcial. A alcalinidade total foi quantificada e representada na forma gráfica na Figura 4.30.

Nas amostras analisadas, apenas a primeira amostra apresentou presença de SST (Figura 4.31).

A quantidade de SF obtida para a primeira amostra foi a mesma que a obtida nos SST; portanto todo o material da amostra 1 é inorgânico, como pode ser observado na Figura 4.32.

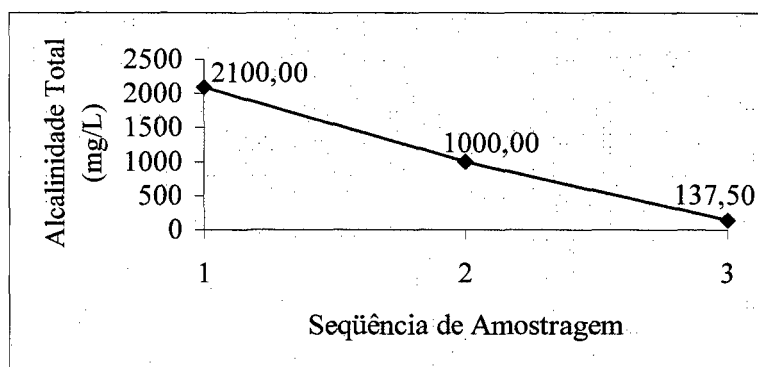


Figura 4.30 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

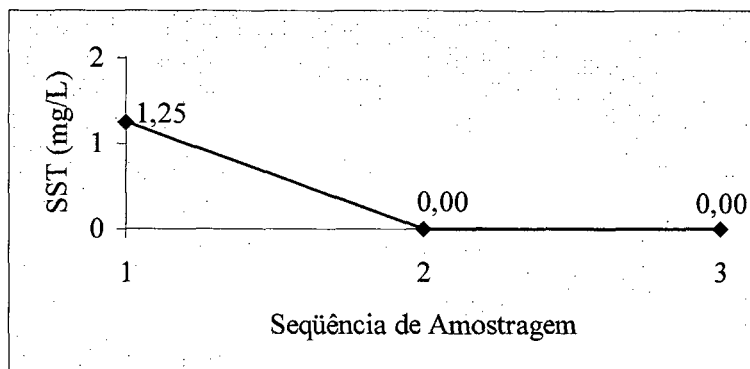


Figura 4.31 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

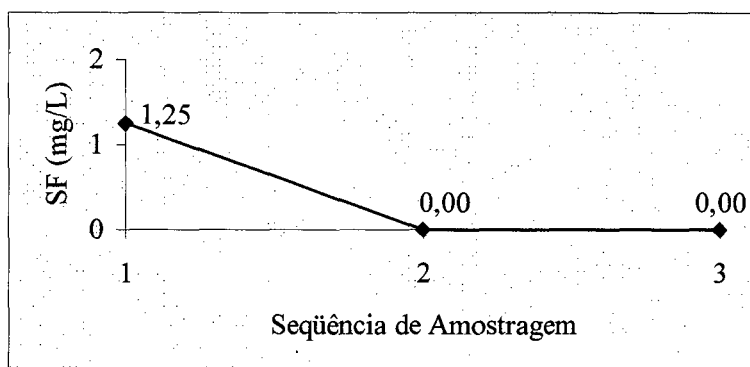


Figura 4.32 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

Observa-se na Figura 4.33 que a presença do metal ferro é maior no primeiro despejo, e tende a diminuir com as lavações. A maior quantidade de ferro no despejo do primeiro efluente se deve à presença de sequestrantes. A amostra 3 apresenta quantidade de ferro igual ao limite tolerado nas águas de abastecimento têxtil.

A temperatura dos despejos é superior a 40°C. Para a amostra 3, que corresponde à uma lavação a frio, a temperatura é aproximadamente 43°C, conforme se pode observar na Figura 4.34.

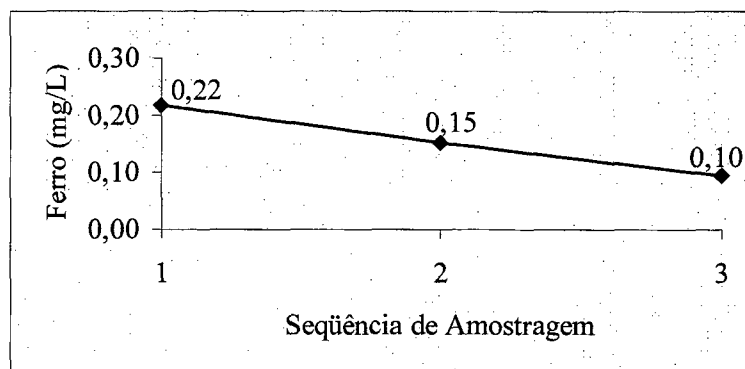


Figura 4.33 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

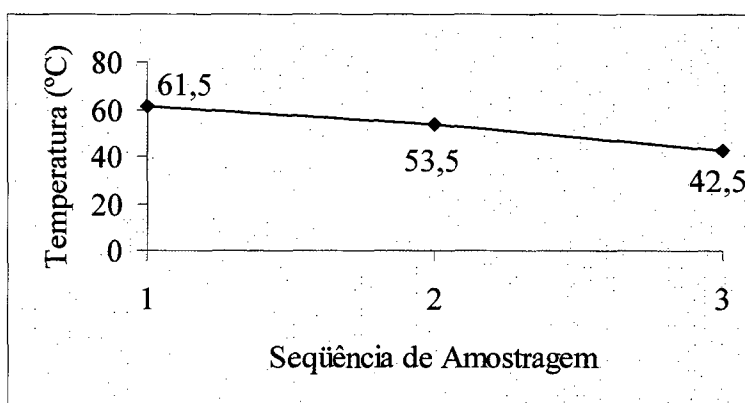


Figura 4.34 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor preta.

Verifica-se na Figura 4.35 que devido à grande quantidade de produtos químicos e corantes, a cor foi bastante elevada na amostra 1 e reduziu cerca de 99,5% após a lavagem de resfriamento. Apesar de elevada cor, os efluentes do tingimento apresentaram baixa turbidez exceto a primeira e sexta amostra, inclusive esta última obteve maior turbidez que a amostra 1 (Figura 4.36).

A DQO do efluente da fase de tingimento (1), é elevada devido à grande quantidade de produtos orgânicos. Com o resfriamento por lavagem a carga orgânica é diminuída em 99,52% (Figura 4.37).

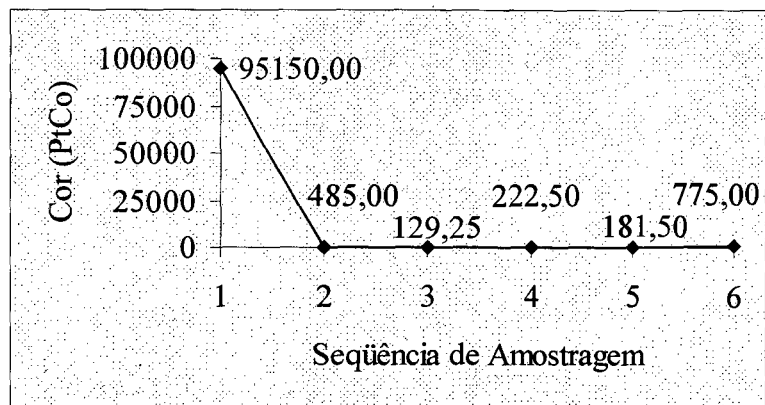


Figura 4.35 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

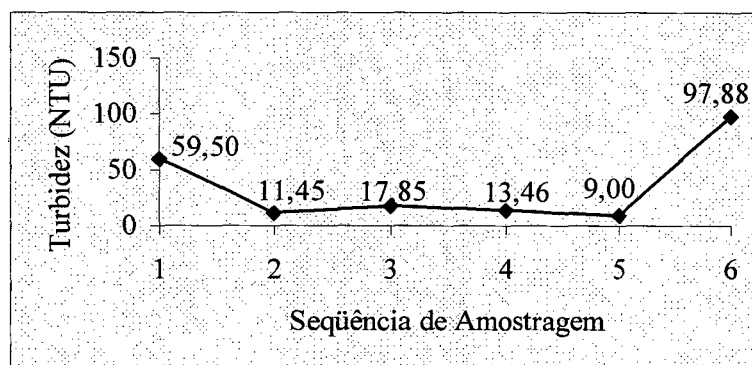


Figura 4.36 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

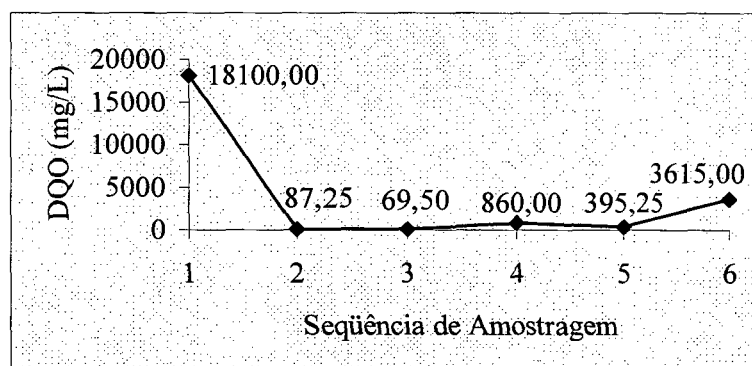


Figura 4.37 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

Devido à elevada carga de STD na primeira amostra, a escala adotada não permite uma visualização nítida do aumento de 79,74% da amostra 2 para 3 e da amostra 5 para 6 de 53,40% (Figura 4.38). A mesma dificuldade de visualização gráfica da Figura 4.38 também ocorre na Figura 4.39, pois a elevada condutividade da primeira amostra, não possibilita perceber graficamente que as amostras 3, 4 e 6 apresentam condutividade entre 1.900 e 2.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

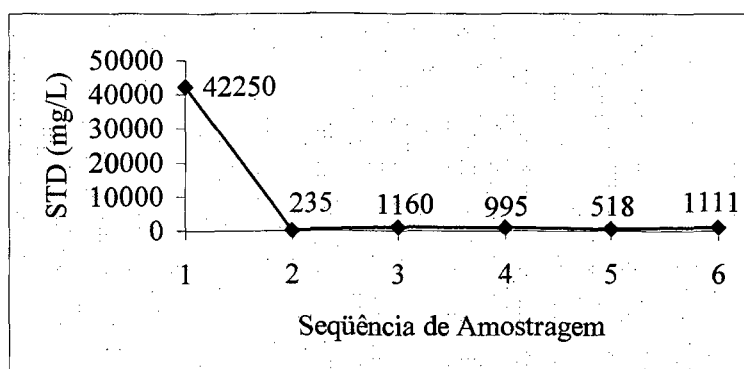


Figura 4.38 – Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

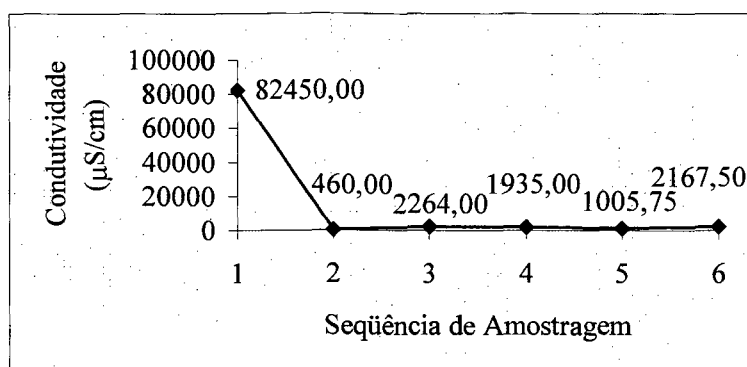


Figura 4.39 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

A amostra 1 apresenta pH alcalino devido à presença de hidróxido e carbonato. Na amostra 2, que corresponde a uma lavagem, verifica-se que o pH tende a neutralidade. A amostra 3 tem o pH na faixa ácida. Na amostra 4 o pH se torna novamente alcalino devido

à adição de barrilha. Na amostra 5 ocorre uma leve redução no pH, que torna a aumentar alcalinamente com a adição de barrilha, na amostra 6 (Figura 4.40).

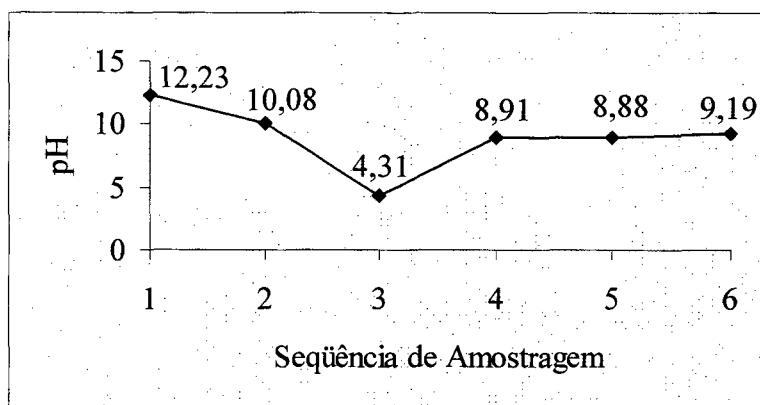


Figura 4.40 – Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

A alcalinidade parcial apresenta um grande decréscimo da amostra 1 para a 2. Não é quantificada alcalinidade parcial nas amostras 2 e 3 (Figura 4.41).

A alcalinidade total da amostra 1 é reduzida para amostra 2 em cerca de 95,29% (Figura 4.42).

A quantidade de SST determinada no efluente 1 foi elevada comparada com os outros pontos. A quantidade de SF foi pelo menos a metade da quantidade determinada em SST. Estas quantidades podem ser verificadas na Figura 4.43 e 4.44, respectivamente.

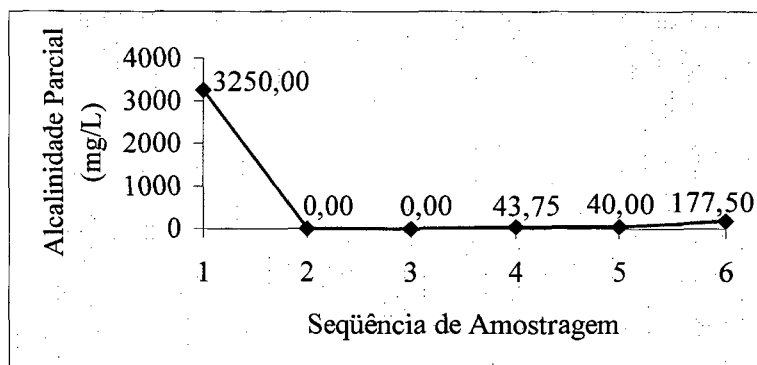


Figura 4.41 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

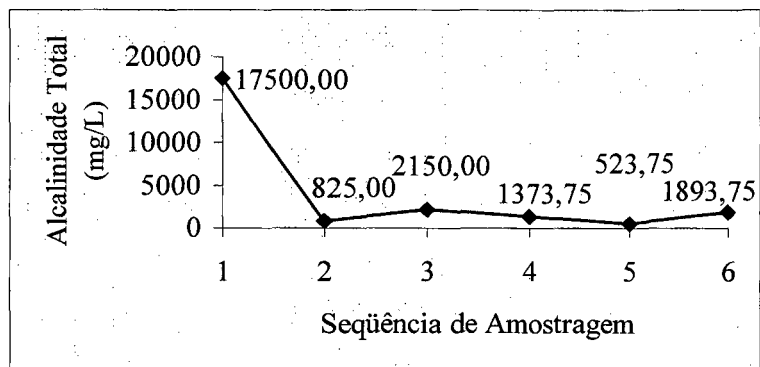


Figura 4.42 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

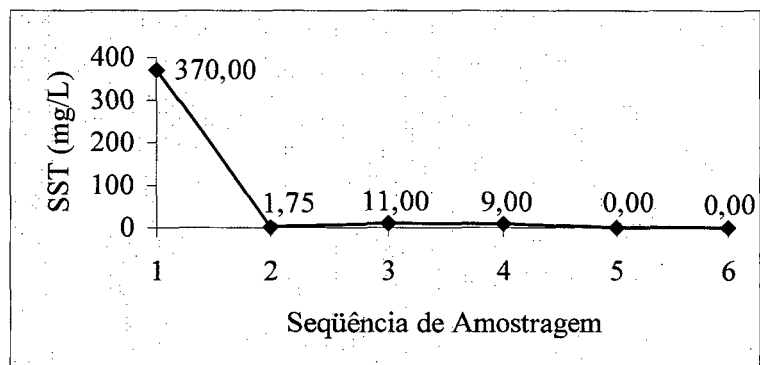


Figura 4.43 – Variação da SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

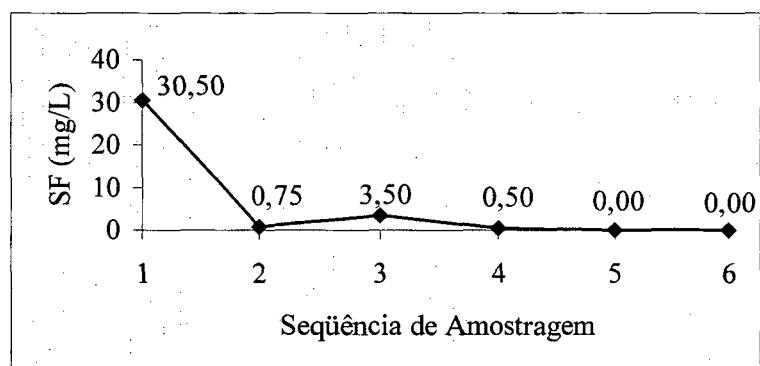


Figura 4.44 – Variação da SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

Na Figura 4.45 observa-se que a quantidade do metal ferro foi bastante variada. Apesar de constar com nenhuma quantidade na amostra 1, não significa que não exista a presença deste metal no banho, uma vez que foi impossível determiná-lo devido à coloração do efluente na primeira amostra. A amostra 5, que corresponde à lavagem da neutralização, apresentou a quantidade abaixo do parâmetro de tolerância. Também estão dentro do parâmetro de tolerância as amostras 2 e 5.

Na Figura 4.46 observa-se o comportamento térmico dos despejos dos efluentes. O resfriamento por lavagem consegue atingir uma temperatura média de 26,5°C. A quinta amostra, que é lavagem fria, a temperatura média de descarte foi 40°C e na sexta de 36,5°C.

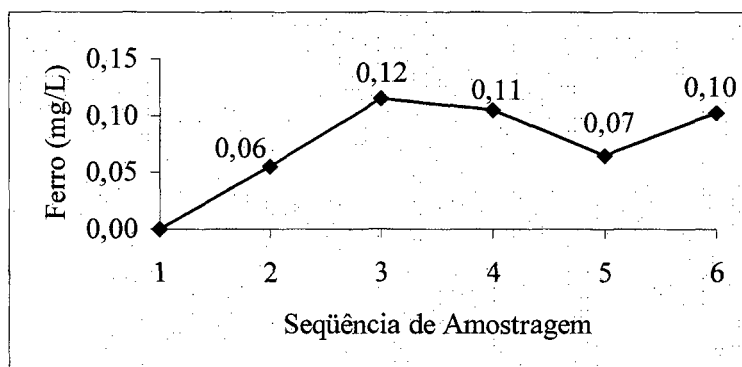


Figura 4.45 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

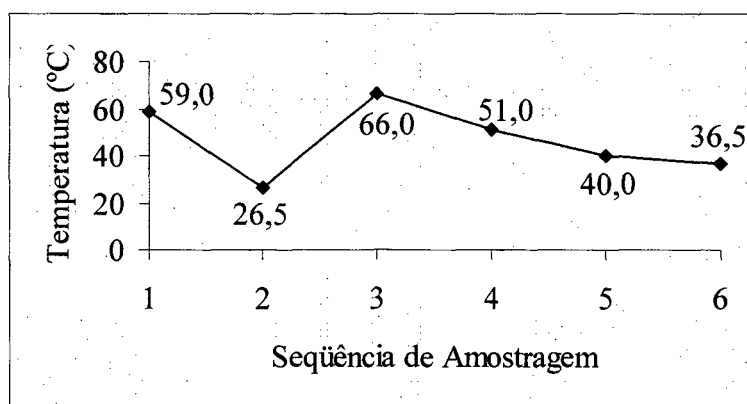


Figura 4.46 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor preta.

A etapa de preparação (purga convencional) para tratamento da fibra para posterior tingimento da cor preta consome menos de $\frac{1}{4}$ do total de água requerida nestas etapas de preparação por purga convencional e tingimento (Tabela 4.11).

O elevado consumo de água no tingimento da cor preta se deve à lavagem para remover o corante que não reagiu com a fibra, com duração de trinta minutos.

Tabela 4.11 – Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor preta.

Etapa	Volume consumido por etapa	
	Litros	%
Preparação	9.547	20,64
Tingimento	36.697	79,36
Total consumido	46.244	100,00

4.3.3 – Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Clara

Conforme estabelecido no Capítulo 3 – Metodologia, a classificação da cor de intensidade clara se deve à quantidade total de corante a ser utilizada no processo de tingimento ser inferior a 0,5%. O corante utilizado para este tingimento é do tipo reativo, da classe cibacrone. A Tabela 4.12 apresenta as características das fases que compõem a etapa de preparação e tingimento.

A cor e a turbidez apresentam similaridade em seus gráficos, como pode ser observado nas Figuras 4.47 e 4.48.

A tendência de comportamento das amostras do pré-alveamento nas análises de DQO (Figura 4.49), STD (Figura 4.50) e condutividade (Figura 4.51) são similares. Nos gráficos a ordem de grandeza dos resultados da primeira amostra é maior relativamente às outras análises realizadas.

Tabela 4.12 – Identificação das fases da etapa do processo de preparação e tingimento da cor de intensidade clara.

Etapa	Fases	Tipo de água programada		Seqüência de amostragem	Produtos químicos adicionados	Volume consumido por fase	
		Entrada	Saída			Litros	%*
Preparação	Pré-alveijamento	Fria	70°C	1	Desairante, antiespumante, antiq uebradura, dispersante, sequestrante, H ₂ O ₂ e NaOH	2.295	10,09
	Lavação	Quente	-	2		3.248	14,27
	Neutralização do pré-alveijamento	Fria/Quente	70°C	3	Neutralizador de H ₂ O ₂ e NaOH	1.515	6,66
	Lavação	Fria	-	4		4.059	17,84
Tingimento	Tingimento	Fria	60°C	1	Desairante, antiespumante, antiq uebradura, dispersante, sequestrante, ácido, NaCl e CaCO ₃	1.515	6,66
	Lavação	Fria	-	2	-	2.029	8,92
	Lavação	Fria	-	3	-	1.515	6,66
	Neutralização do tingimento	Fria	-	4	Ácido Cítrico	1.515	6,66
	Lavação	Fria/Quente	80°C	5	-	1.515	6,66
	Lavação	Fria	-	6	-	2.029	8,92
	Lavação	Fria	-	7	-	1.515	6,66
Volume total de água consumido na etapa de preparação da cor de intensidade clara						11.117	48,86
Volume total de água consumido na etapa de tingimento da cor de intensidade clara						11.633	51,14
Volume total de água consumido na etapa de preparação e tingimento da cor de intensidade clara						22.750	100

* Porcentagem relativa ao consumo total de água das etapas de preparação e tingimento.

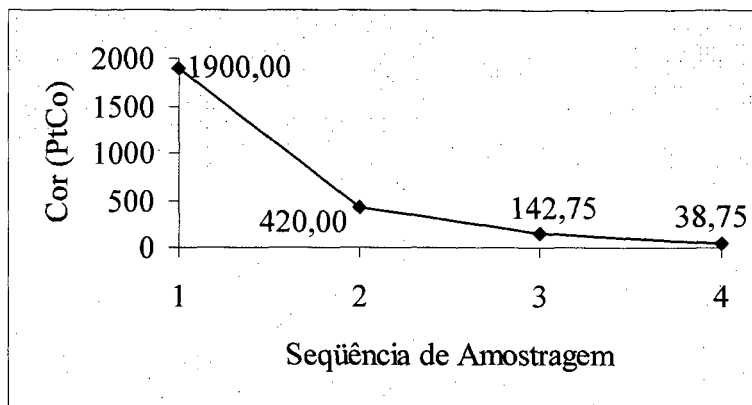


Figura 4.47 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

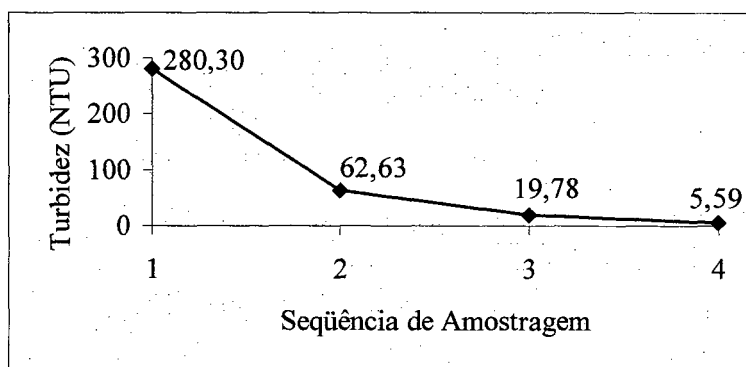


Figura 4.48 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

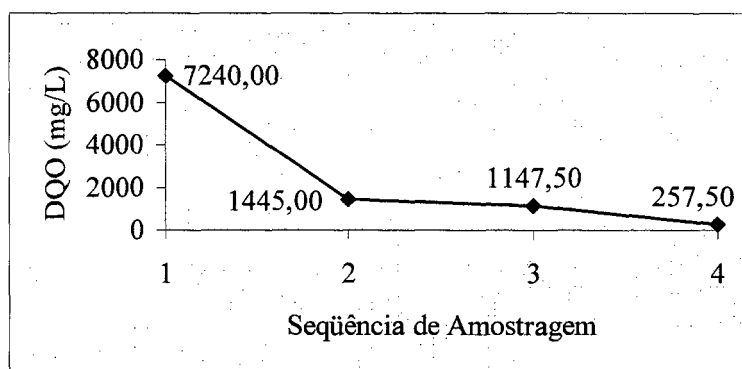


Figura 4.49 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

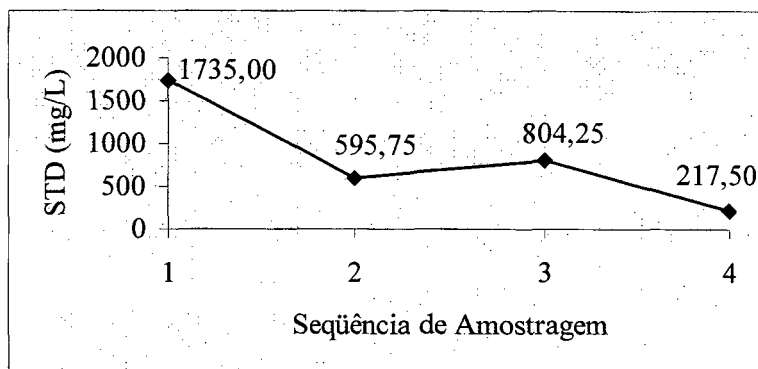


Figura 4.50 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

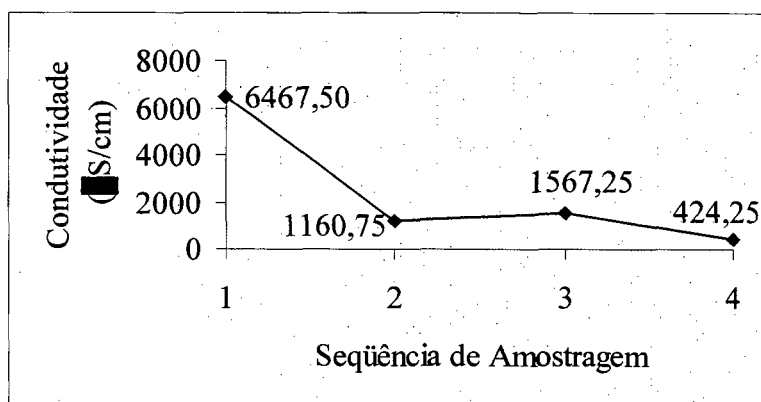


Figura 4.51 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

O pH é alcalino nas amostras 1 e 2, devido à presença de hidróxido de sódio e torna-se ácido na amostra 3, devido à neutralização. A amostra 4 sofre um pequeno aumento do pH que tende à neutralidade, devido à lavagem (Figura 4.52).

Observa-se na Figura 4.53 que a alcalinidade parcial diminui da primeira para segunda amostra, devido à diminuição da concentração de hidróxido presente. Nas amostras 3 e 4 não foi possível determinar a alcalinidade parcial.

O comportamento da alcalinidade total é apresentado na Figura 4.54, seguindo a mesma tendência da alcalinidade parcial.

A quantidade de SST e SF da etapa de preparação da cor de intensidade clara é apresentada nas Figuras 4.55 e 4.56, respectivamente.

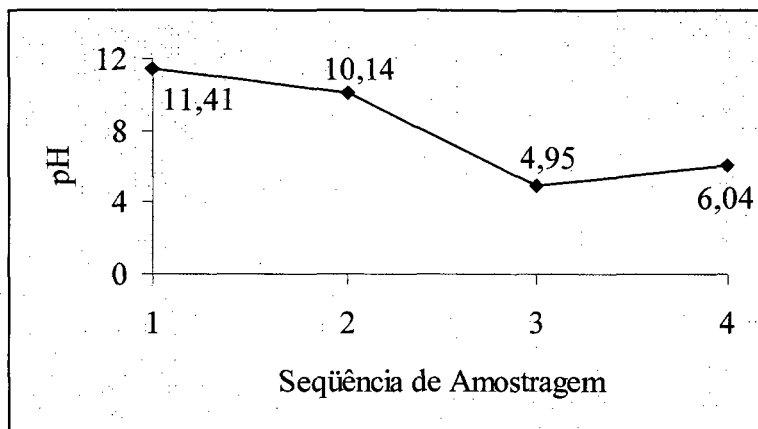


Figura 4.52 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

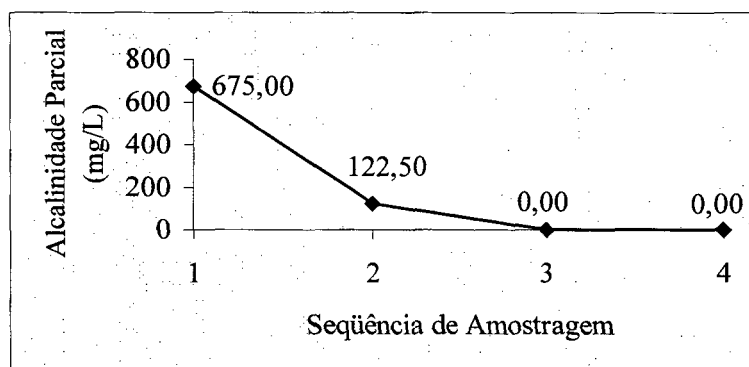


Figura 4.53 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

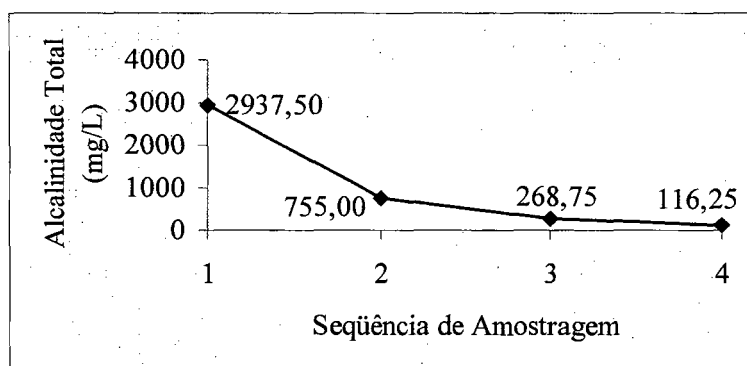


Figura 4.54 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

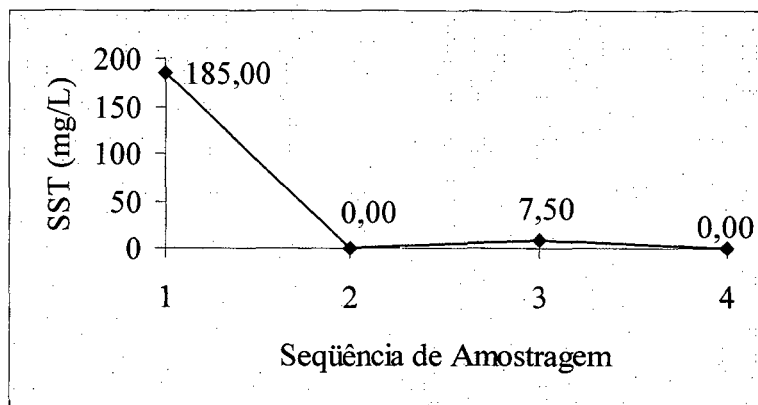


Figura 4.55 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

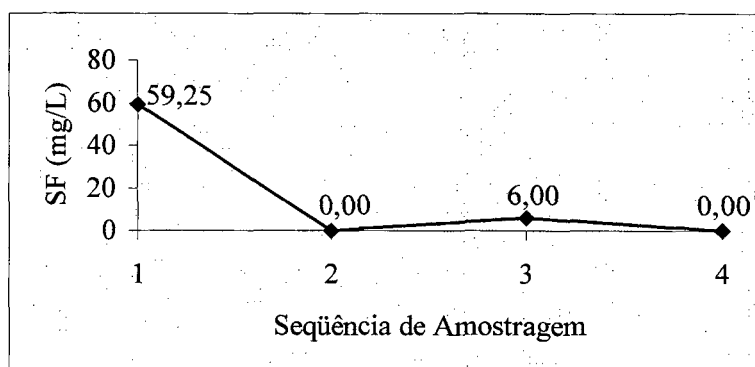


Figura 4.56 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

Como anteriormente observado em análises de efluentes de outras cores, a quantidade de ferro decresce, ao longo da seqüência de amostragem. Na Figura 4.57 pode ser observado o comportamento do metal ferro.

As amostras apresentaram a temperatura no descarte menor que a programada. Na amostra 3 a temperatura deveria ser de 70°C, porém a amostra apresentou uma temperatura média de 58°C. O comportamento da temperatura ao longo das amostragens pode ser visto na Figura 4.58.

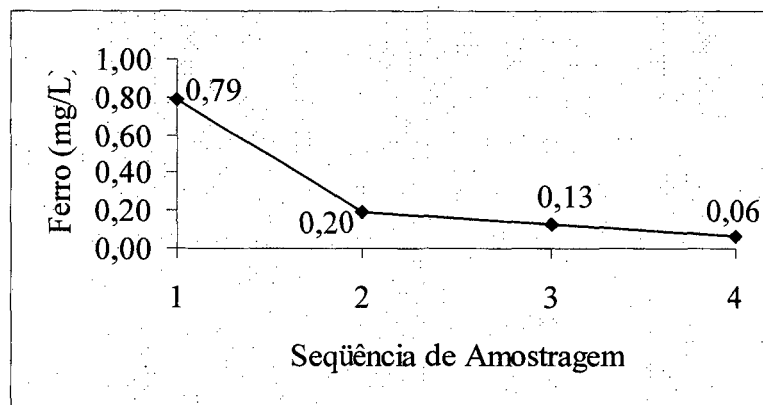


Figura 4.57 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade clara.

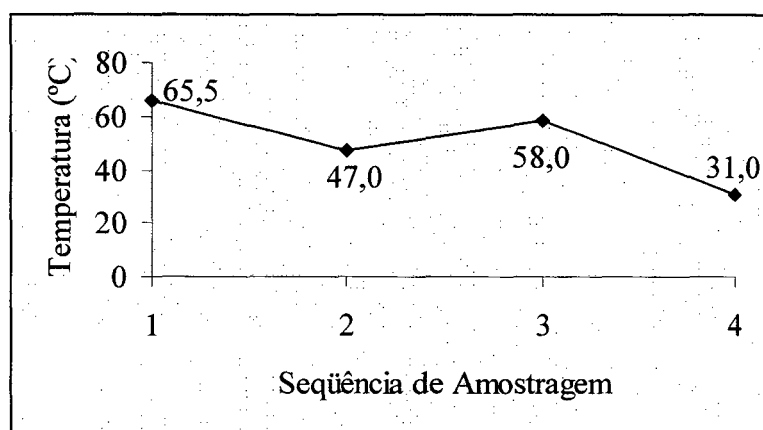


Figura 4.58 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de pré-alveamento da cor de intensidade clara.

Na etapa de tingimento da cor de intensidade clara, o gráfico da cor representado na Figura 4.59 apresenta elevado valor de cor para a primeira amostra, correspondente ao descarte do tingimento, enquanto que o valor da turbidez (Figura 4.60) foi pequeno.

As Figuras 4.61, 4.62 e 4.63 representam a DQO, STD e condutividade, respectivamente; apresentam valores elevados na primeira amostra, diminuindo bruscamente as quantidades determinadas nas outras amostras.

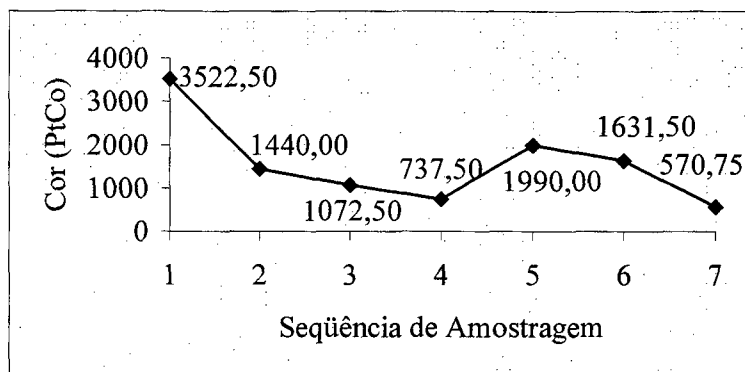


Figura 4.59 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

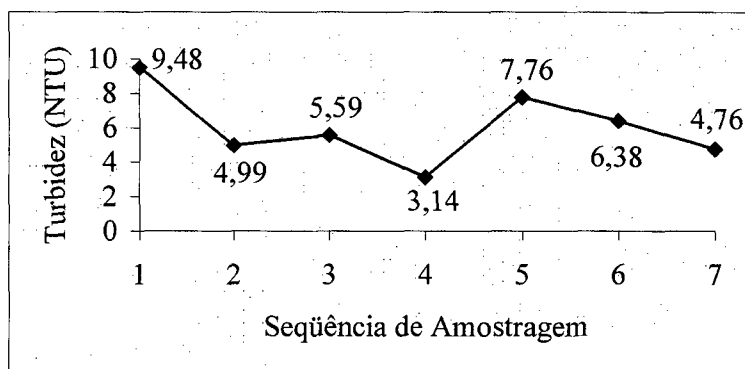


Figura 4.60 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

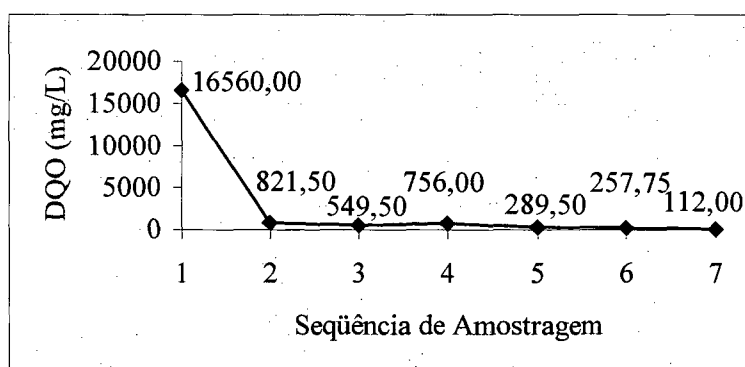


Figura 4.61 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

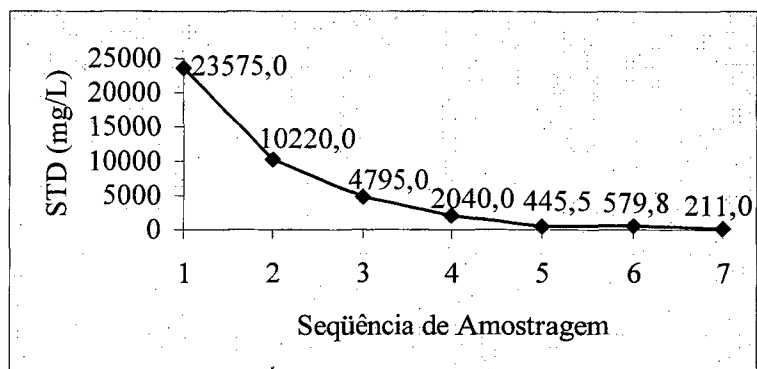


Figura 4.62 – Variação da STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

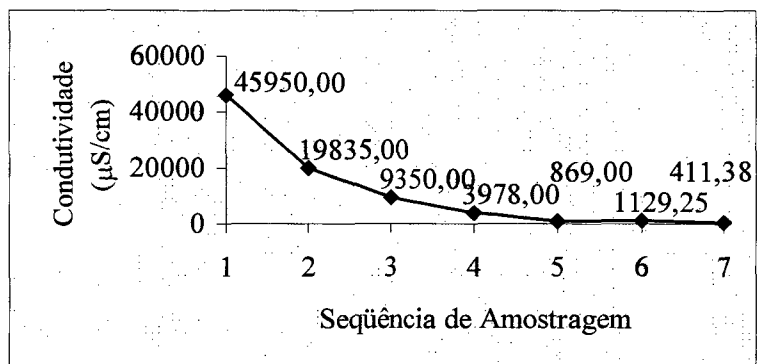


Figura 4.63 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

O pH é alcalino nos banhos em que contém carbonato de cálcio e nos seguintes em que possui residual. A adição de ácido para neutralização o torna ácido. As lavagens subsequentes fazem que o pH tenda a neutralidade (Figura 4.64).

Devido à presença do carbonato na amostra 1, a alcalinidade parcial é elevada, decrescendo na seqüência de amostragem até não ser detectada nas amostras 5, 6 e 7 (Figura 4.65).

Observa-se que a alcalinidade total da amostra 1 apresentou-se elevada (Figura 4.66).

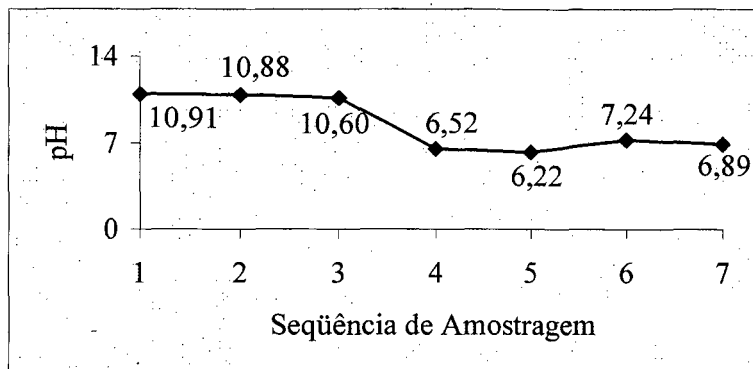


Figura 4.64 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

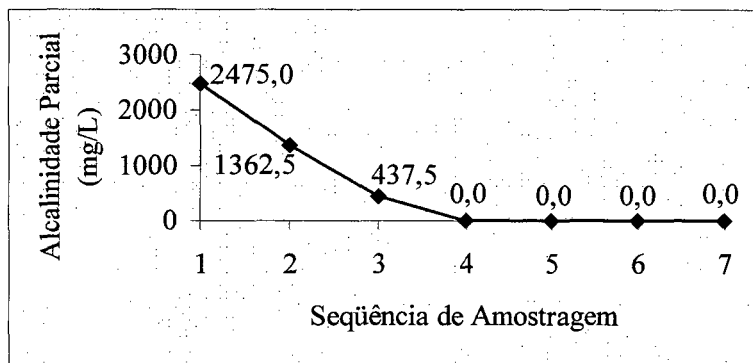


Figura 4.65 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

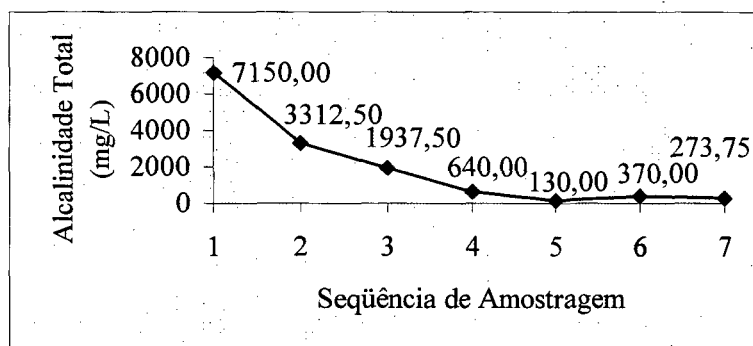


Figura 4.66 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

Foi identificada nas amostras analisadas a presença de SST nas 5 primeiras amostras (Figura 4.67). Os SF presentes nas amostras analisadas são apresentados na Figura 4.68.

A determinação de ferro na amostra 1 não foi possível devido ao reagente da análise descolorir a amostra impossibilitando a leitura. Verifica-se que nas outras amostras ocorreu um aumento na quantidade de ferro (Figura 4.69).

A Figura 4.70 apresenta dois picos com temperatura superior a 50°C, sendo que nas lavagens frias ocorre uma redução na temperatura.

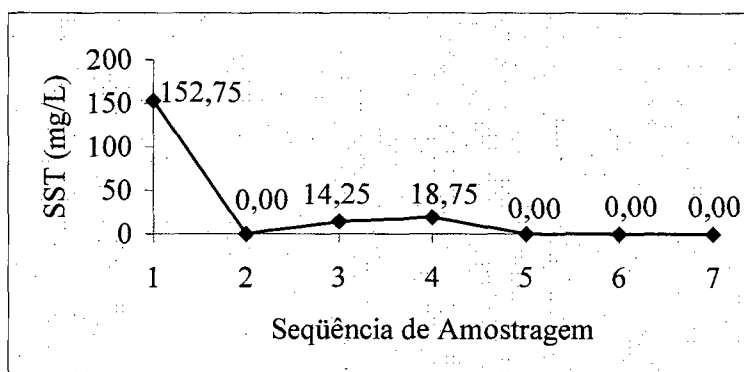


Figura 4.67 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

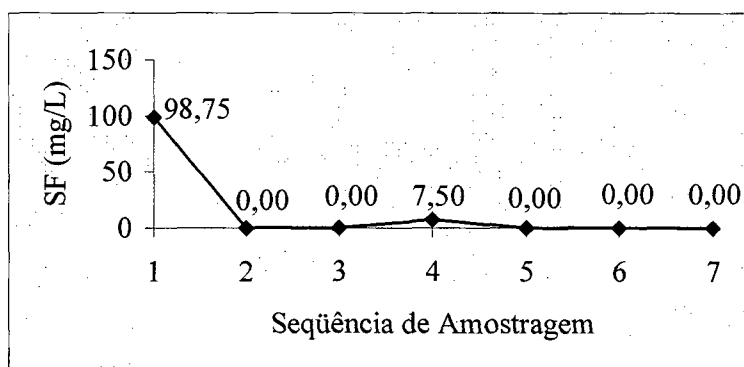


Figura 4.68 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

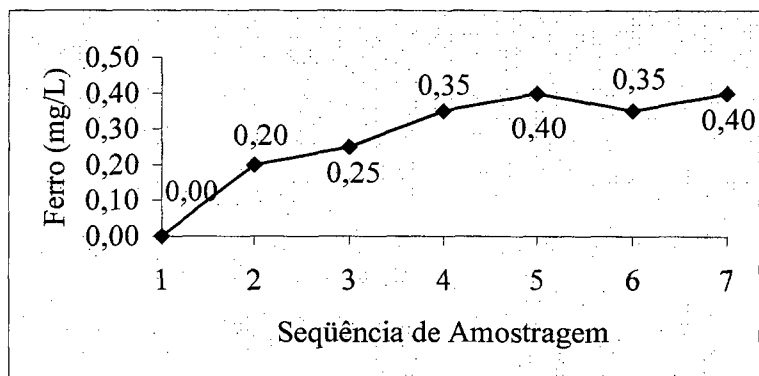


Figura 4.69 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

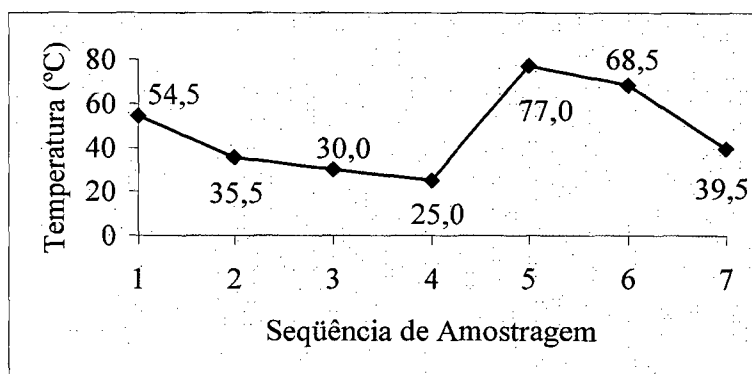


Figura 4.70 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade clara.

Verifica-se na Tabela 4.13 que, no beneficiamento da cor de intensidade clara, o maior consumo de água ocorre na etapa de preparação (48,86%) e esta etapa apresenta maior possibilidade de reuso direto.

Tabela 4.13 – Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor clara.

Etapa	Volume consumido por etapa	
	Litros	%
Preparação	11.117	48,86
Tingimento	11.633	51,14
Total consumido	22.750	100,00

4.3.4 – Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Média

Seguindo as definições estabelecidas para a abordagem das cores, será investigado nesta secção a cor de intensidade média. Na Tabela 4.14 são apresentadas as características das fases que compõem as etapas de preparação e tingimento da cor de intensidade média.

Tabela 4.14 – Identificação das fases da etapa do processo de preparação e tingimento da cor de intensidade média.

Etapa	Fase	Tipo de água programada		Seqüência de amostragem	Produtos químicos adicionados	Volume consumido por fase	
		Entrada	Saída			Litros	%*
Preparação	Pré-alveijamento	Fria	70°C	1	Desairante, antiespumante, antiebradura, dispersante, sequestrante, H ₂ O ₂ e NaOH	2.165	7,85
	Lavação	Quente	-	2	-	4.485	16,26
	Neutralização do pré-alveijamento	Fria/Quente	70°C	3	Neutralizador de H ₂ O ₂ e NaOH	1.388	5,04
	Lavação	Fria	-	4	-	5.604	20,32
Tingimento	Tingimento	Fria	92°C	1	Desairante, antiespumante, antiebradura, dispersante, sequestrante, ácido, NaCl e CaCO ₃	1.388	5,04
	Lavação	Quente	-	2	-	2.804	10,17
	Lavação	Quente	80°C	3	-	1.388	5,03
	Lavação	Quente	80°C	4	-	1.388	5,03
	Ensaboamento	Quente	95°C	5	Antiebradura, dispersante, sequestrante	1.388	5,03
	Lavação	Quente	-	6	-	2.804	10,17
	Lavação	Fria/Quente	60°C	7	-	1.388	5,03
	Lavação	Fria	-	8	-	1.388	5,03
Volume total de água consumido na etapa de preparação da cor de intensidade média						13.642	49,47
Volume total de água consumido na etapa de tingimento da cor de intensidade média						13.936	50,53
Volume total de água consumido na etapa de preparação e tingimento da cor de intensidade média						27.578	100

* Porcentagem relativa ao consumo total de água das etapas de preparação e tingimento.

O corante utilizado para o tingimento desta cor é do tipo reativo, da classe Procion.

Os resultados das análises realizadas nos efluentes de preparação da cor de intensidade média apresentam as mesmas características das cores de intensidade clara, uma vez que esta etapa de preparação possuem as mesmas fases e utilizam os mesmos produtos químicos.

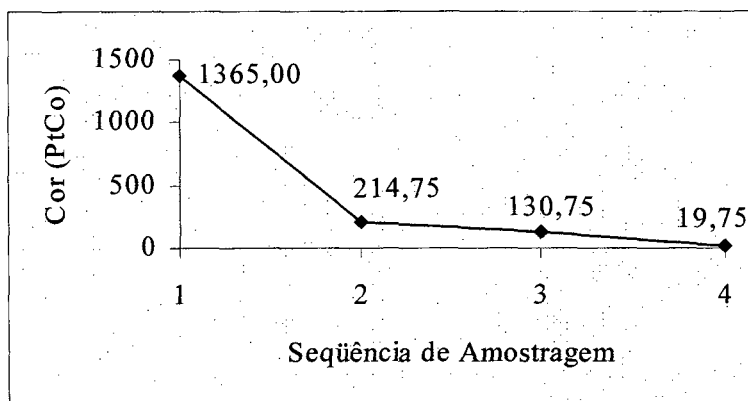


Figura 4.71 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

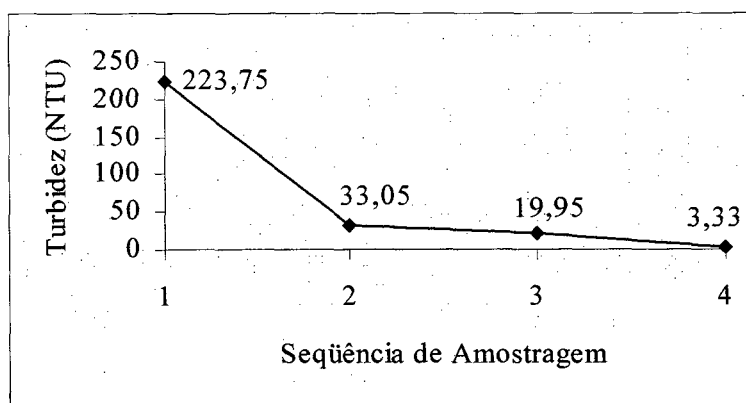


Figura 4.72 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

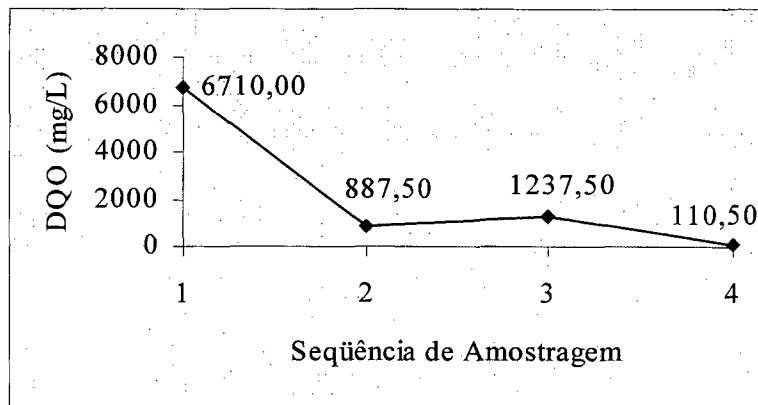


Figura 4.73 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

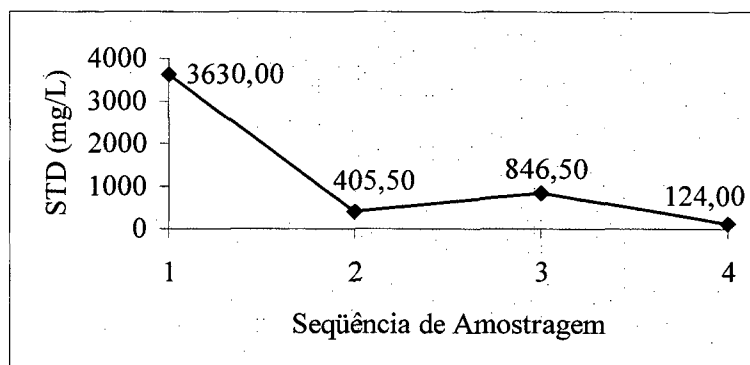


Figura 4.74 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

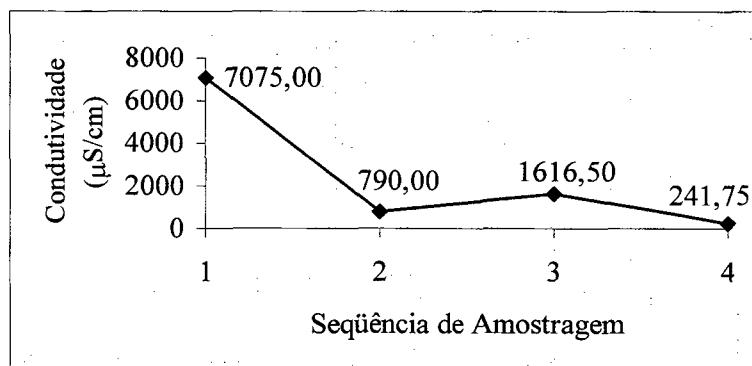


Figura 4.75 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

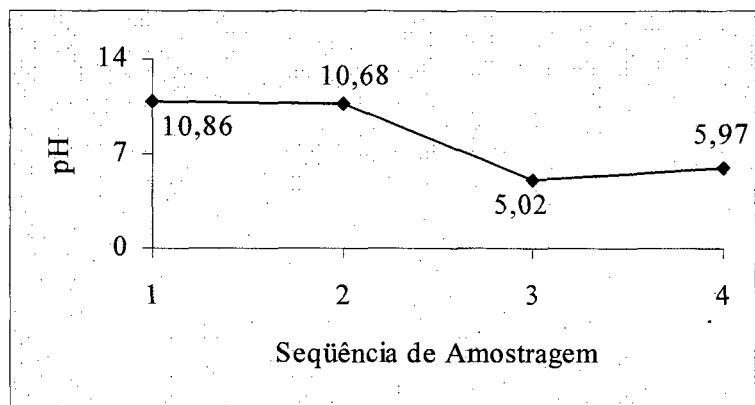


Figura 4.76 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

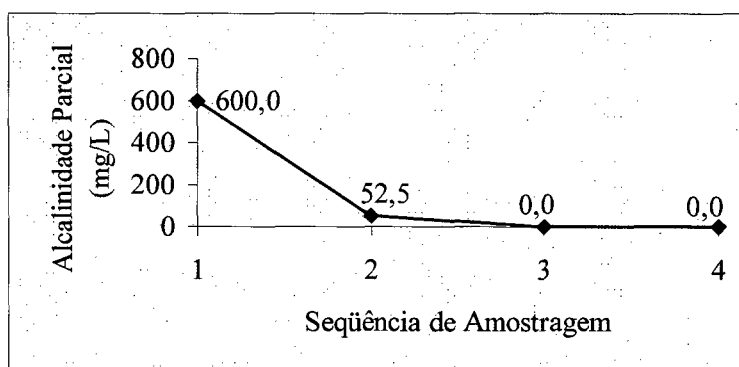


Figura 4.77 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

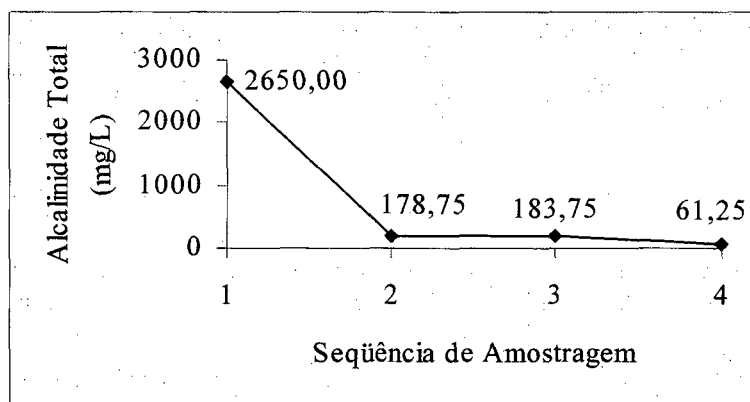


Figura 4.78 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

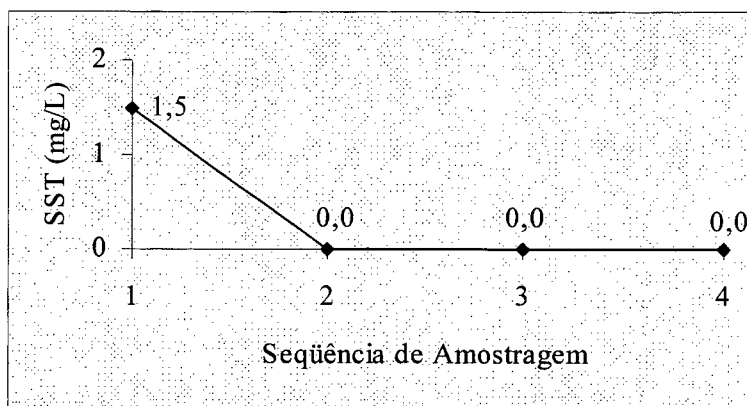


Figura 4.79 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

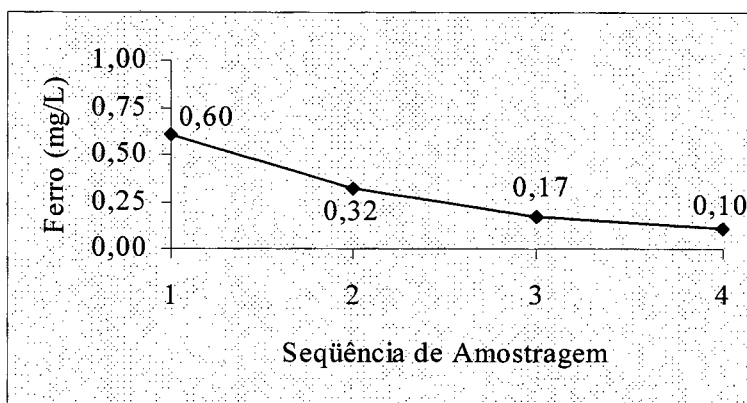


Figura 4.80 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

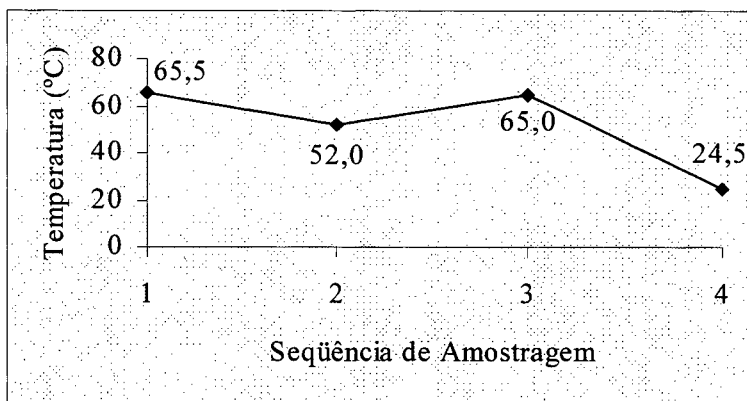


Figura 4.81 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade média.

Na etapa de tingimento da cor de intensidade média, observa-se na Figura 4.82 que a cor elevada se deve à presença do corante presente na amostra do despejo de tingimento. A turbidez (Figura 4.83) apresentou baixos valores e de característica irregular. A turbidez não apresentou similaridade com os dados da cor.

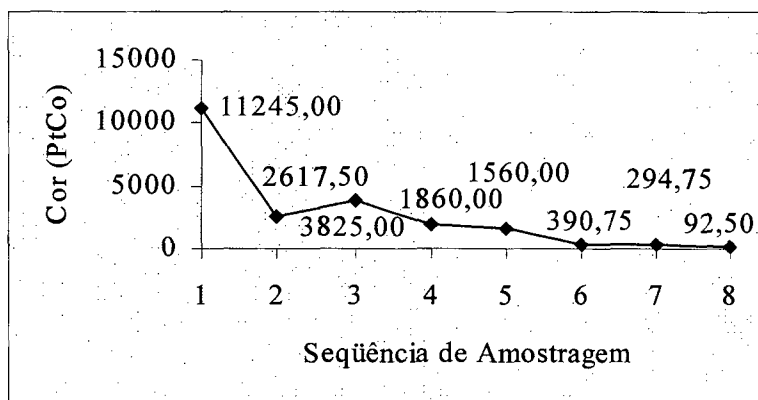


Figura 4.82 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

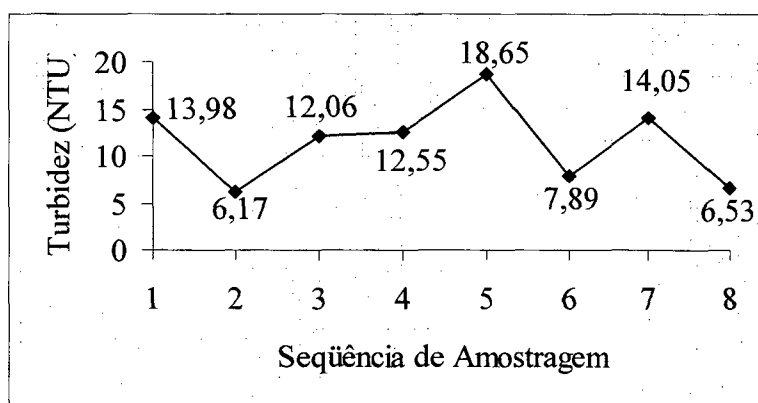


Figura 4.83 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

Como em outras amostras de outros efluentes, as análises de DQO, STD e condutividade, respectivamente Figuras 4.84, 4.85 e 4.86, tiveram elevados valores em relação às demais amostras, que impossibilitam, devido à escala, a visualização da pequena variação que existe nas demais amostras.

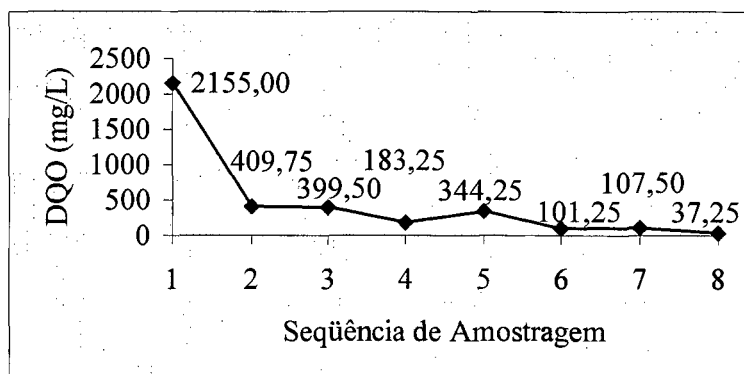


Figura 4.84 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

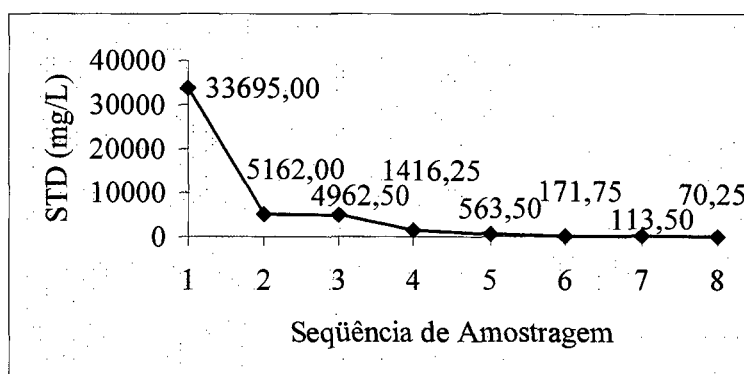


Figura 4.85 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

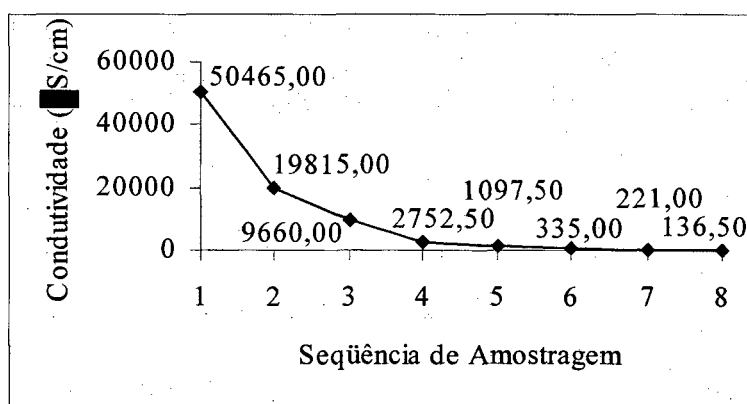


Figura 4.86 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

O comportamento do pH conforme as fases da etapa de tingimento apresenta a mudança do pH alcalino na primeira amostra para o pH neutro na última amostra (Figura 4.87).

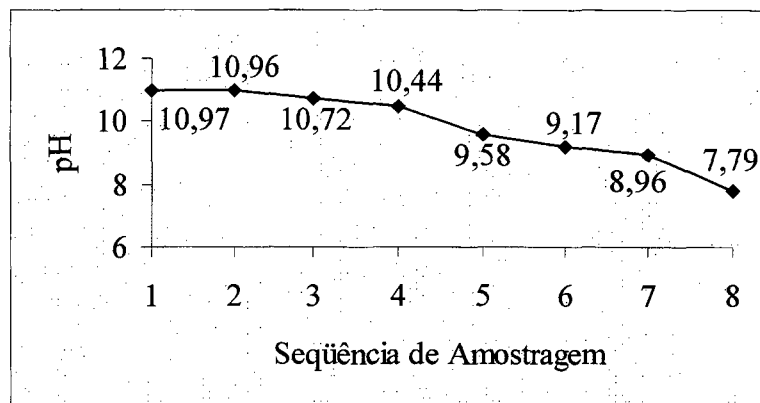


Figura 4.87 – Variação do pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

Devido à presença de carbonato na amostra 1, a alcalinidade parcial foi elevada (Figura 4.88). As amostras 6 e 7 não apresentaram alcalinidade parcial. A alcalinidade total na forma gráfica é apresentada na Figura 4.89.

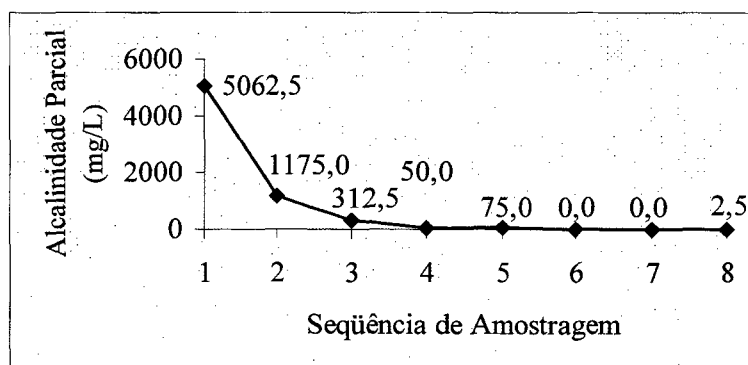


Figura 4.88 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na

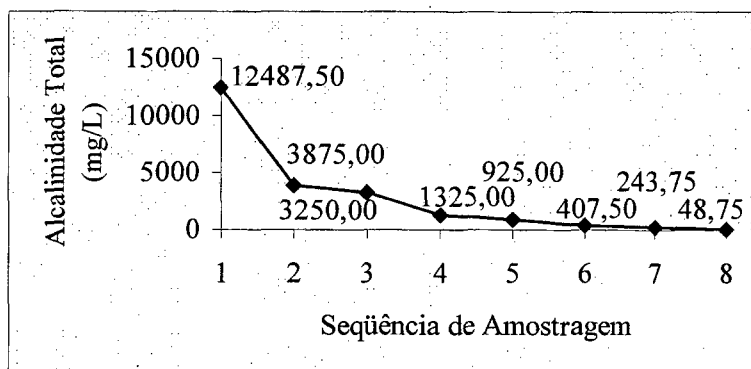


Figura 4.89 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

A quantidade de SST determinada nas amostras analisadas é apresentada na Figura 4.90. Foi verificada a ausência de SF.

A amostra 1 devido à descoloração do corante pelo reagente de ferro, não permitiu a determinação do metal. As outras amostras apresentaram quantidade de ferro inferior a 0,11 (máximo atingido pelos efluentes de tingimento) na última amostra. O gráfico apresentado na Figura 4.91, referente à análise de ferro, apresenta tendência de aumento nas duas últimas amostras.

As variações da temperatura dos despejos de tingimento da cor média são apresentadas na Figura 4.92. Observa-se que existe grande variação na temperatura; a menor temperatura observada é na última amostra de 40,5°C.

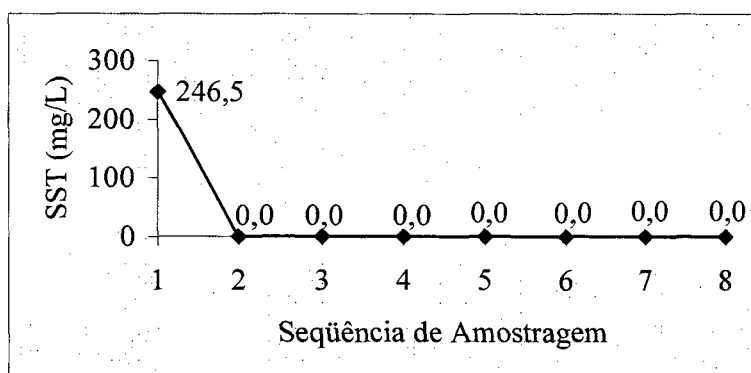


Figura 4.90 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

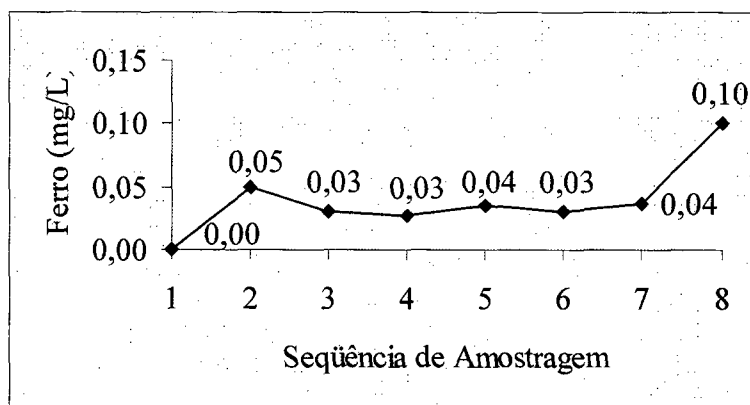


Figura 4.91 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

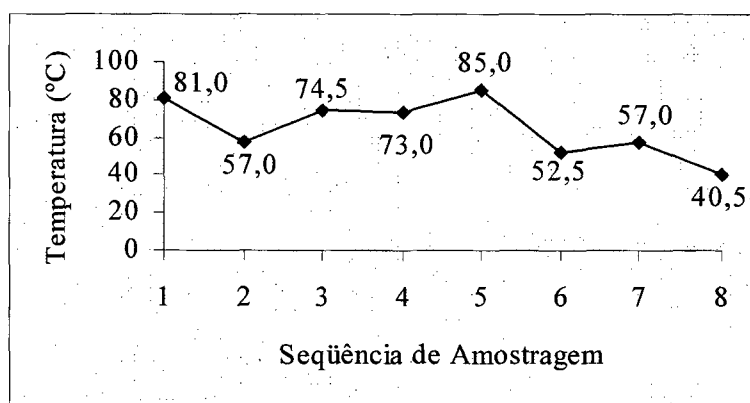


Figura 4.92 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade média.

A Tabela 4.15 apresenta o consumo de água no beneficiamento da cor de intensidade média. Observa-se que o consumo de água foi maior na etapa de tingimento que preparação.

Tabela 4.15 – Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor de intensidade média.

Etapa	Volume consumido por etapa	
	Litros	%
Preparação	13.642	49,47
Tingimento	13.936	50,53
Total consumido	27.578	100,00

4.3.5 – Caracterização dos Efluentes da Cor de Intensidade Escura

Nesta secção serão apresentados os resultados obtidos no processo industrial relativos à cor escura. O corante utilizado para este tingimento é do tipo reativo, da classe procion. A Tabela 4.16 apresenta as características das fases que compõem as etapas de preparação e tingimento.

Tabela 4.16 – Identificação das fases da etapa de preparação e tingimento da cor de intensidade escura.

Etapa	Fase	Tipo de água programada		Seqüência de amostragem	Produtos químicos adicionados	Volume consumido por fase	
		Entrada	Saída			Litros	%
Preparação	Purga ácida	Quente	70°C	1	Desairante, antiespumante, antiebradura, dispersante, sequestrante, H ₂ O ₂ e NaOH	2.328	12,69
	Lavação	Fria	-	2		1.455	7,93
Tingimento	Tingimento	Fria	85°C	1	Corante, antiebradura, dispersante, sequestrante, ácido, NaCl e CaCO ₃	1.455	7,93
	Lavação	Quente	80°C	2	-	1.455	7,93
	Lavação	Quente	80°C	3	-	1.455	7,94
	Ensaboamento	Quente	85°C	4	Antiebradura, dispersante, sequestrante	1.455	7,94
	Lavação	Quente	80°C	5	-	1.455	7,94
	Lavação	Quente	80°C	6	-	1.455	7,94
	Lavação	Fria/ Quente	60°C	7	-	1.455	7,94
	Lavação	Fria	-	8	-	1.455	7,94
	Aplicação de fixador	Fria	50°C	9	Ácido e fixador para fibras celulósicas	1.455	7,94
	Lavação	Fria	-	10	-	1.455	7,94
Volume total de água consumido na etapa de preparação da cor de intensidade escura						3.783	20,62
Volume total de água consumido na etapa de tingimento da cor de intensidade escura						14.550	79,38
Volume total de água consumido na etapa de preparação e tingimento da cor de intensidade escura						18.333	100

* Porcentagem relativa ao consumo total de água das etapas de preparação e tingimento.

A análise dos efluentes da preparação, por purga ácida, da cor de intensidade escura, possui apenas dois efluentes. A cor do primeiro despejo em relação ao segundo é reduzida em 59,13% (Figura 4.93).

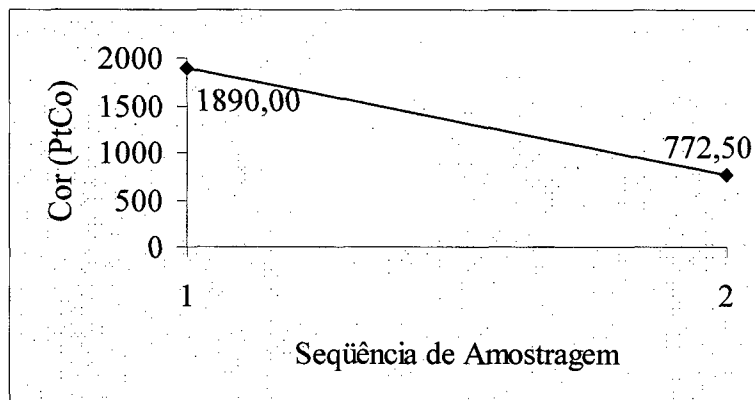


Figura 4.93 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

A Figura 4.94 apresenta a forma gráfica dos resultados de turbidez da preparação. A redução de turbidez é cerca de 62,14%.

As Figuras 4.95, 4.96 e 4.97 apresentam a DQO, STD e condutividade, respectivamente, observando-se a redução destes parâmetros com as sucessivas lavações.

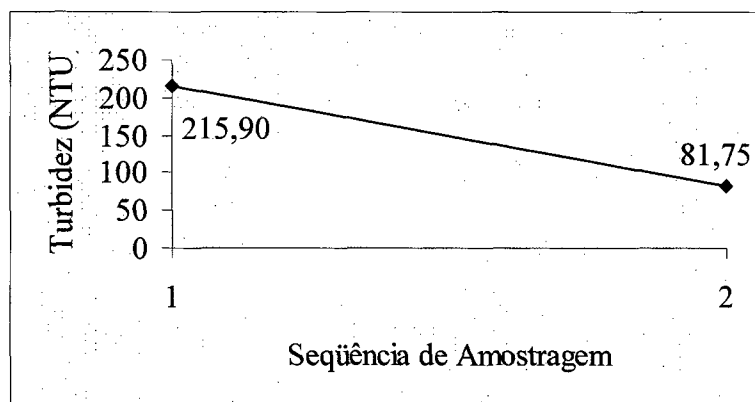


Figura 4.94 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

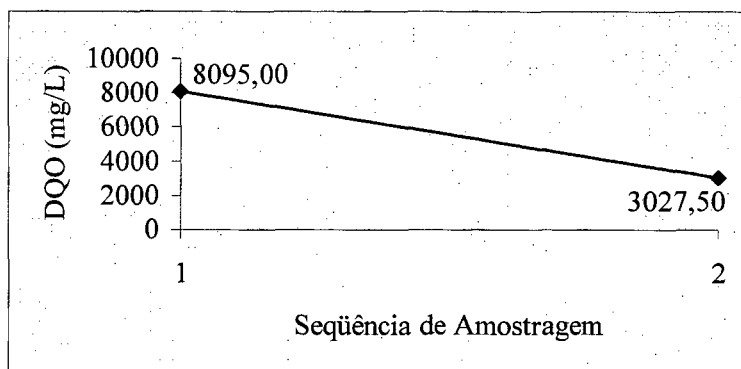


Figura 4.95 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

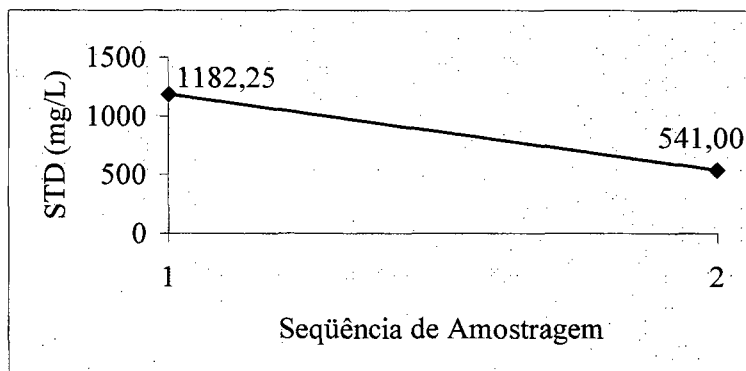


Figura 4.96 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

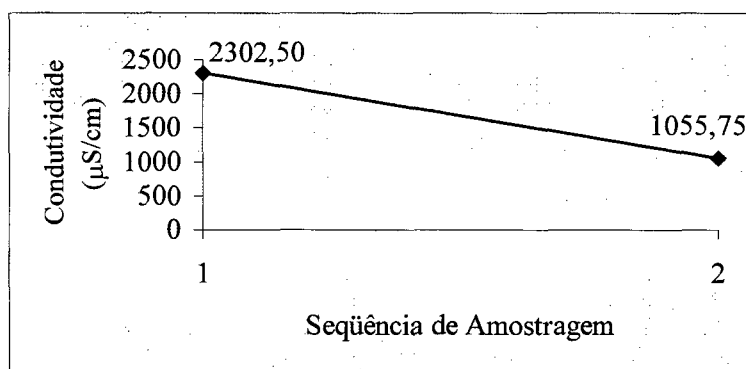


Figura 4.97 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

O pH da preparação é de 5,43 (Figura 4.98). Devido à preparação ocorrer em pH ácido, não foi possível determinar alcalinidade parcial nestas amostras.

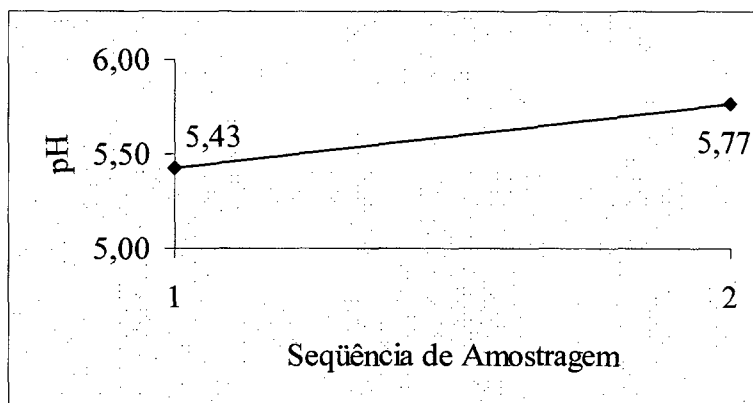


Figura 4.98 – Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

As amostras dos efluentes analisados não foi quantificada alcalinidade parcial. A alcalinidade total é apresentada na Figura 4.99.

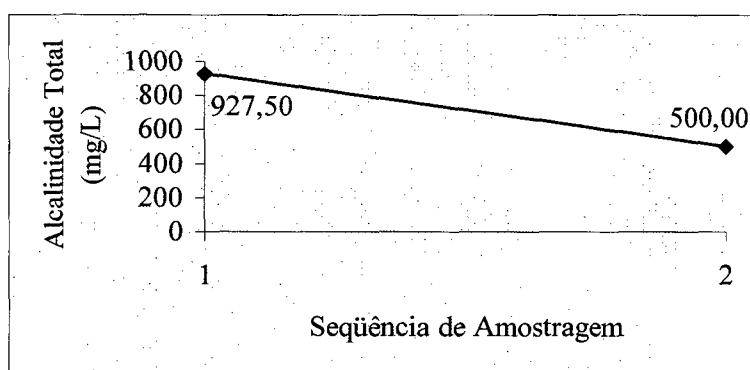


Figura 4.99 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

A quantidade SST determinada é apresentada na Figura 4.100 e na Figura 4.101 é apresentada a quantidade de SF.

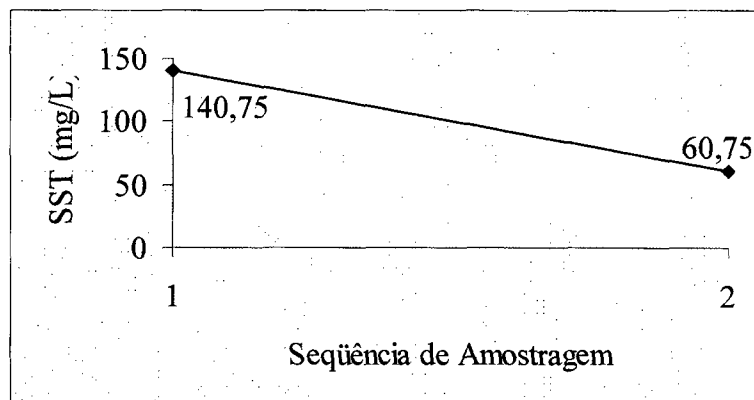


Figura 4.100– Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

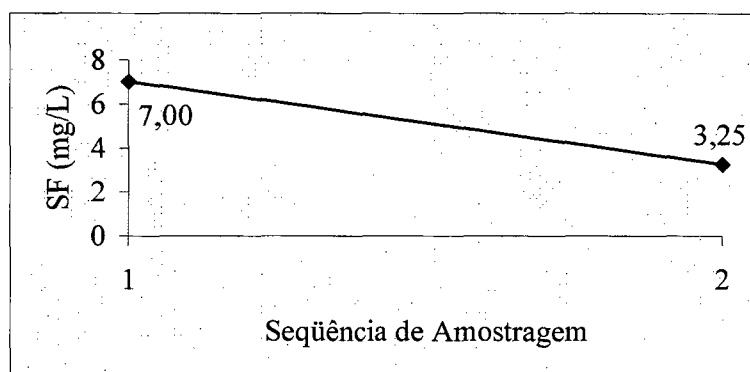


Figura 4.101 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

As amostras da etapa de purga apresentaram quantidade de ferro superior ao limite de tolerância (Figura 4.102).

A Figura 4.103 apresenta a temperatura dos efluentes da preparação no momento do despejo.

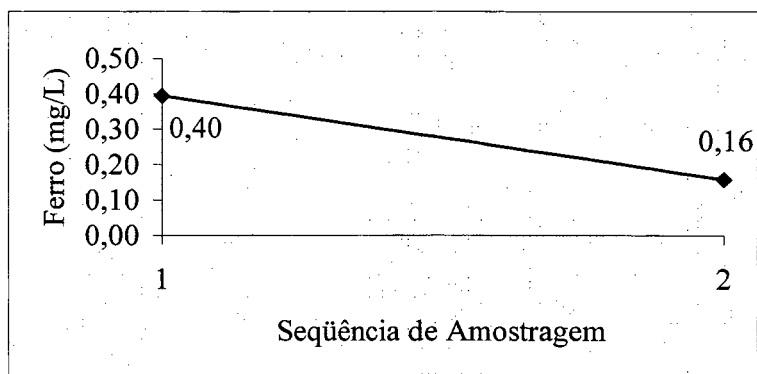


Figura 4.102 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

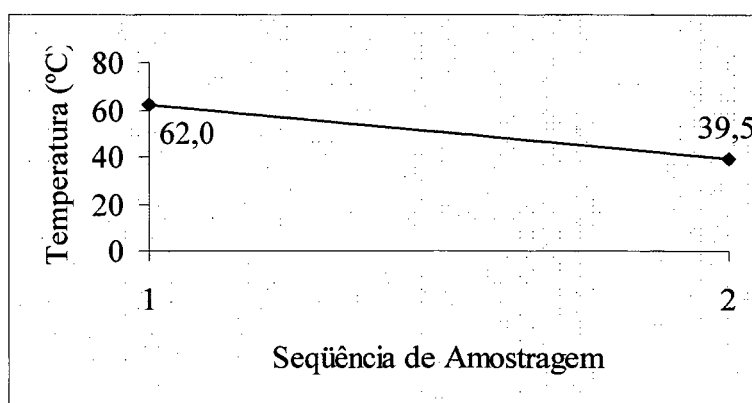


Figura 4.103 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de preparação da cor de intensidade escura.

Na seqüência serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização dos efluentes da etapa de tingimento da cor de intensidade escura (Figuras 104 a 115), relativos aos mesmos parâmetros anteriormente investigados nas outras classes de cores.

Observa-se neste caso os maiores valores de cor, DQO, STD e condutividade na corrente de efluente 1.

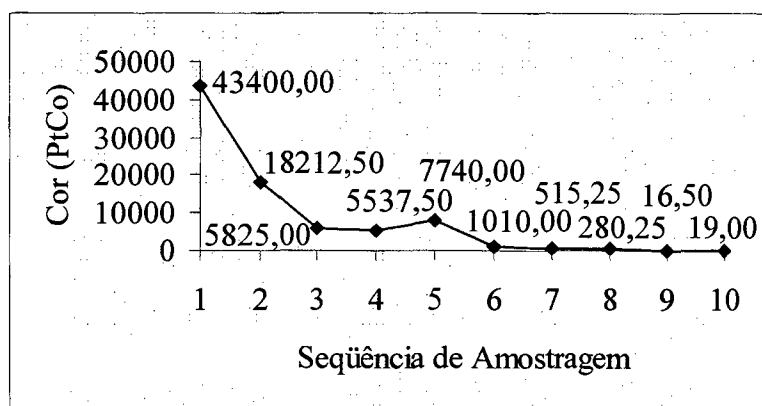


Figura 4.104 – Variação da cor conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

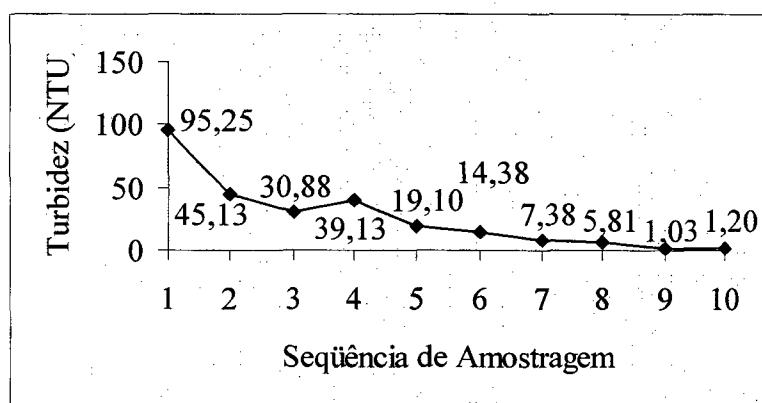


Figura 4.105 – Variação da turbidez conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

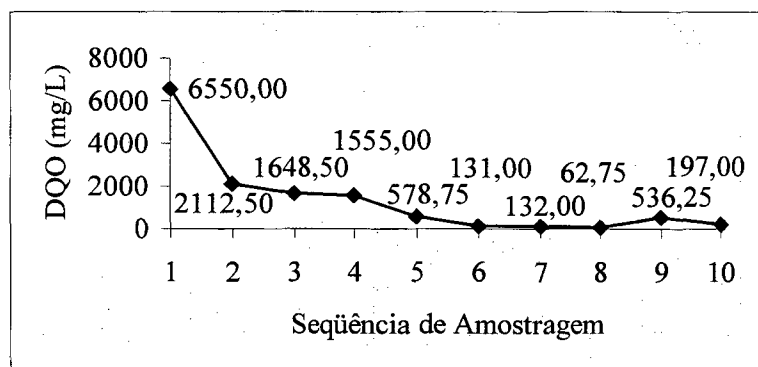


Figura 4.106 – Variação da DQO conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

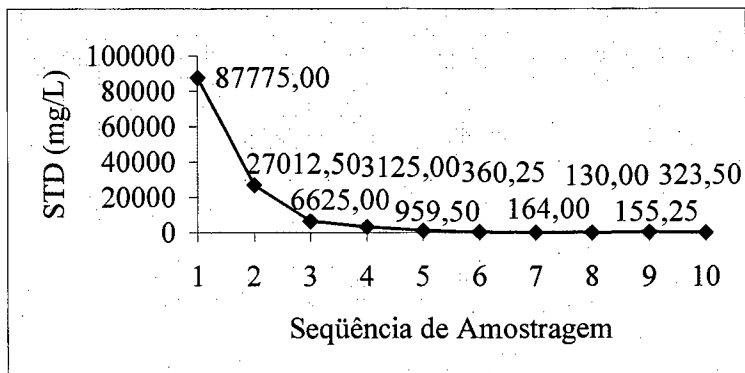


Figura 4.107 – Variação dos STD conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

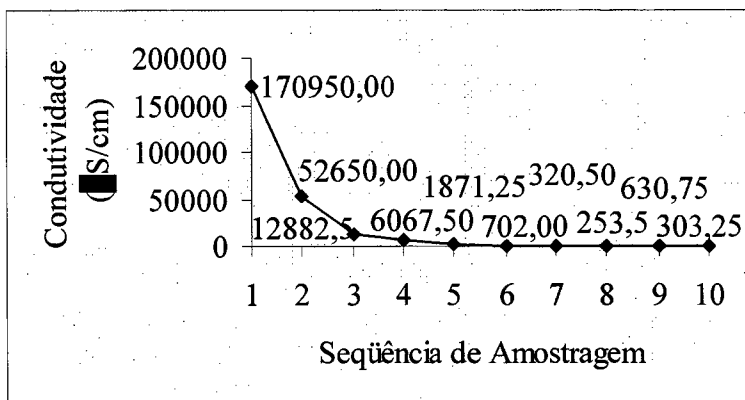


Figura 4.108 – Variação da condutividade conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

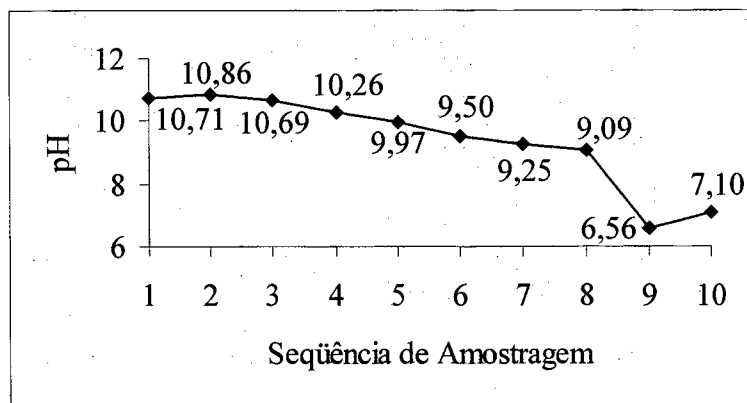


Figura 4.109 – Variação da pH conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

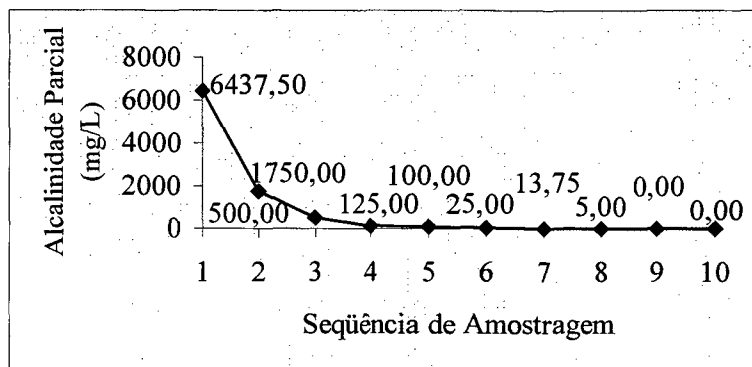


Figura 4.110 – Variação da alcalinidade parcial conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

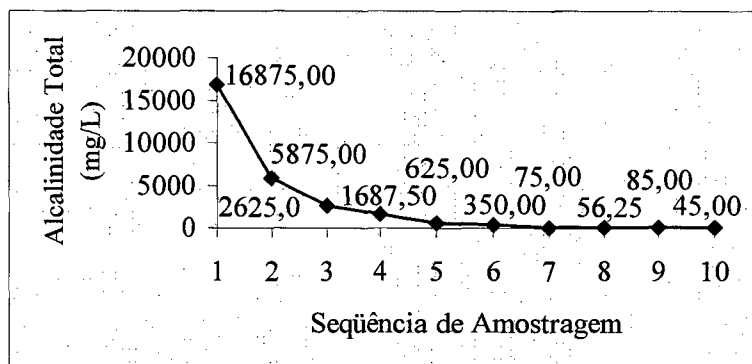


Figura 4.111 – Variação da alcalinidade total conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

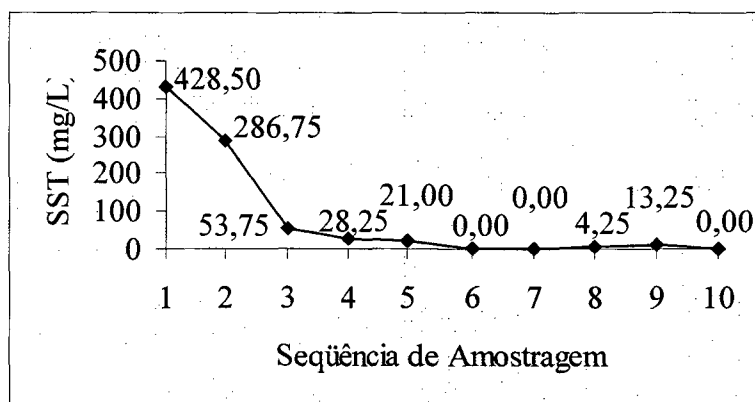


Figura 4.112 – Variação dos SST conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

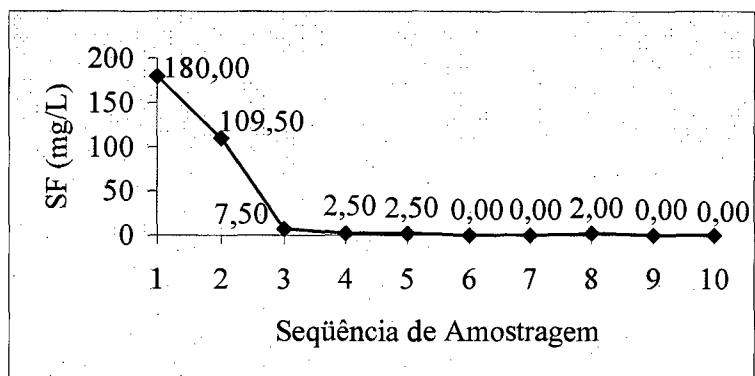


Figura 4.113 – Variação dos SF conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

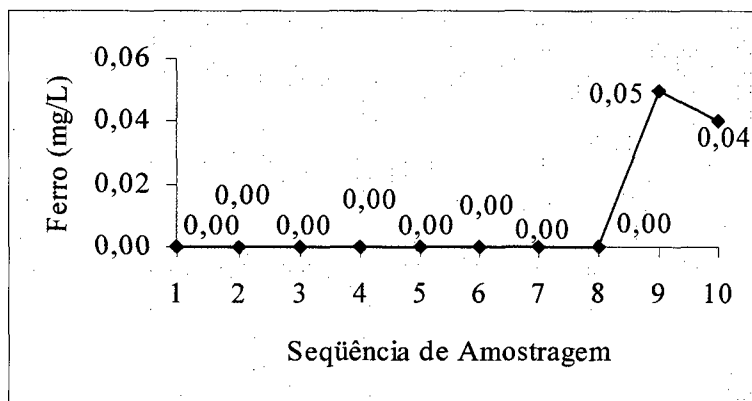


Figura 4.114 – Variação do metal ferro conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

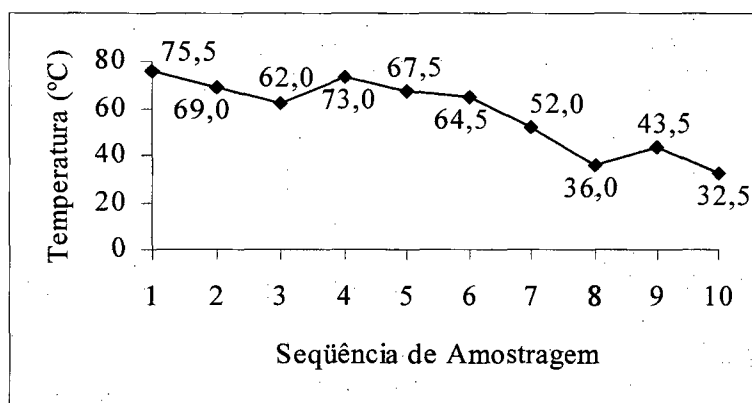


Figura 4.115 – Variação da temperatura conforme as descargas dos efluentes na etapa de tingimento da cor de intensidade escura.

A Tabela 4.17 apresenta o consumo de água nas etapas de preparação e tingimento da cor de intensidade escura. O consumo de água no tingimento desta tonalidade é quase 4 vezes o volume utilizado na preparação.

Tabela 4.17 – Consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da cor escura.

Etapa	Volume consumido por etapa	
	Litros	%
Preparação	3.783	20,62
Tingimento	14.550	79,38
Total consumido	18.333	100,00

Sugestão de Reuso da Água dos Efluentes das Etapas de Preparação e Tingimento das Cores Estudadas

Conforme se pode observar na Tabela 4.1, o consumo padrão mundial de água é de 165 litros/kg e a geração de efluentes é de 115 litros/kg. No processo industrial estudado, estes valores são de aproximadamente 192 litros/kg e 155 litros/kg (valores médios da Tabela 4.1), respectivamente.

Através dos resultados obtidos na caracterização dos efluentes do beneficiamento têxtil envolvendo a preparação e o tingimento, fica evidente a diversidade de correntes líquidas com diferentes teores de contaminação geradas no processo.

A seguir serão apresentadas sugestões de esquemas para o reuso direto das correntes de efluentes e possíveis tratamentos para tornar viável o reuso de correntes com grau superior aos limites de tolerância admitidos pelo processo.

As sugestões que serão apresentadas necessitam de maiores estudos para garantia de sua completa viabilidade, incluindo testes laboratoriais e de processo de estudo de caso.

A correção de parâmetros cujos valores encontram-se em patamares superiores aos limites de tolerância exigidos nas diversas fases dos processos deverá ser realizada através de diluição com água industrial ou balanço entre correntes de efluentes. Quando a correção por este método não for possível, deverão ser utilizados processos de separação tais como aqueles envolvendo membranas: ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa, além da adsorção, flotação, fotocatalise, ozonização, eletrodialise, troca iônica, entre outros.

A importância da reutilização direta e indireta dos efluentes no processo será evidenciada pelo estudo de caso de cada cor (branca, preta, intensidade clara, média e escura) com a finalidade de mostrar o montante dos volumes utilizados nas fases. A Tabela 4.5 apresenta os casos que serão analisados para cada cor.

Cor Branca

Na cor branca foram processados 566 kg de malha, usando relação de banho (RB) 1:8 (oito litros de água por kg de malha, por fase). Para esta RB o volume de banho corresponde a 4.536 litros. Sempre que a fase exige a adição de produtos químicos, o volume adicionado sempre está inserido no volume de banho. Como o substrato utilizado neste processo possui composição superior a 95% de algodão, é utilizada retenção de 300%, ou seja 1.698 litros de volume de banho que ficam retidos na fibra, isto significa que o volume de reposição para batelada deve ser 2.838 litros. A Tabelas 4.8 apresenta os volumes utilizados por fase.

As etapas de preparação e tingimento da cor branca consumiram 23.973 litros, o que equivale a um consumo de 42,36 L/kg malha.

A Tabela 4.9 apresenta o consumo de água por etapa; verifica-se que 54,44% do volume total de água gasto corresponde à etapa de preparação e 45,56% à etapa de tingimento.

Os efluentes da cor branca em relação aos efluentes dos outros tingimentos apresentam, em todas as amostras, menor contaminação, o que torna viável o seu reuso.

A reutilização de forma direta do efluente da segunda e terceira fase (lavação) da etapa de preparação como afluente das fases anteriores, no mesmo processo, possibilitaria 23,68% de redução no consumo de água. O princípio desta reutilização consiste na utilização do efluente com menor carga de contaminantes como afluente na fase anterior que tenha maior carga de contaminantes. Assim, as quatro fases de preparação da cor branca seriam: a primeira fase (pré-tratamento) com água industrial; a segunda e terceira (lavações) com água reciclada e a quarta fase (lavação) com água industrial.

A proposta de reutilização direta na etapa de tingimento da cor branca corresponde ao efluente da fase de neutralização e lavação da neutralização. Estes

efluentes correspondem a 33,72% da água total utilizada no processo. Devido à presença residual de alvejante óptico a sua reutilização se torna restrita à cor branca.

A proposta de reutilização de forma indireta consiste na utilização de algum processo físico capaz de reduzir alguns dos parâmetros até atingirem os limites tolerados. Caso isto seja possível, o processo de preparação pode aumentar a reutilização para 35,52%. A reutilização da etapa de tingimento permanece a mesma.

A Tabela 4.18 apresenta resumidamente as porcentagens de efluentes que poderiam ser reutilizados de forma direta e indireta.

Tabela 4.18 – Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor branca.

Etapa	Direta (%)	Indireta (%)
Preparação	23,68	35,52
Tingimento	33,72	33,72
Total	57,40	69,24

Os efluentes podem passar por recuperadores de calor pois todos apresentam temperatura superior à 50°C.

Cor Preta

A cor preta teve 443,5 kg de malha processada. O volume de banho, para RB 1:8 é de 3.547 litros e o de reposição 2.287 litros. A Tabela 4.10 apresenta os volumes utilizados por fase e a Tabela 4.11 apresenta o consumo por etapa.

O maior consumo de água foi na etapa de tingimento 79,36%. Isto se deve ao resfriamento por transbordo de 30 minutos que consumiu 24.549 litros (53,08%).

A reutilização de forma direta na etapa de preparação é possível na segunda lavação (6,48%) e na etapa de tingimento, na lavação da neutralização (6,48%). A reutilização de ambas as correntes é proposta como afluente da etapa anterior.

Para reuso indireto na etapa de preparação tem-se a proposta após tratamento físico de 12,97%, referente às águas de lavação. No tingimento, os efluentes de neutralização e lavação (16,38%) podem ser utilizados após tratamento. O efluente do resfriamento por transbordo apresenta possibilidade de reuso indireto, porém as suas

características físico-químicas foram determinadas no início e final, o que não permite a avaliação dos 53,08% de efluentes gerados.

Alguns dos efluentes gerados na preparação e tingimento apresentam temperatura para aproveitamento energético.

Tabela 4.19 – Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor preta.

Etapa	Direta (%)	Indireta (%)
Preparação	6,48	12,97
Tingimento	6,48	16,38
Total	12,96	29,35

Cor de Intensidade Clara

Para a cor de intensidade clara, a Tabela 4.12 apresenta os volumes utilizados por fase e a Tabela 4.13 apresenta o consumo por etapa. Do consumo total de 22.750 litros, 48,86% foram utilizados na preparação e 51,14% no tingimento.

A reutilização de forma direta na etapa de preparação é possível apenas na última lavação (17,84%) e na etapa de tingimento a reutilização pode alcançar 28,90%. Deve-se manter sempre o princípio de reuso do efluente como afluente na etapa anterior.

A proposta de reuso indireto na etapa de preparação alcança 38,77% (lavação do pré-alveijamento, neutralização e lavação da neutralização) e no tingimento 44,48% (lavações do tingimento, neutralização do tingimento e lavações seguintes).

Os efluentes gerados na preparação e tingimento apresentam comportamento térmico que viabiliza o aproveitamento energético.

Tabela 4.20 – Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade clara.

Etapa	Direta (%)	Indireta (%)
Preparação	17,84	38,77
Tingimento	28,90	44,48
Total	46,74	83,25

Cor de Intensidade Média

Para a cor de intensidade média, a Tabela 4.14 apresenta os volumes utilizados por fase e a Tabela 4.15 apresenta o consumo por etapa. O consumo total de 27.578 litros, ficaram distribuídos em 49,47% na preparação e 50,53% no tingimento.

Como as cores de intensidade clara e média apresentam o mesmo tipo de preparação, a reutilização de forma direta nesta etapa corresponde a 20,32%. Quanto à etapa de tingimento, a reutilização pode alcançar 30,29%.

A etapa de preparação da cor de intensidade média terá a mesma proposta de reuso indireto que a clara (lavação do pré-alveijamento, neutralização e lavação da neutralização), 41,62% e no tingimento 45,49% (lavações do tingimento, ensaboamento e lavações seguintes).

Os efluentes gerados na preparação e tingimento da cor de intensidade média apresentam temperaturas, em algumas etapas, superiores a 70°C.

Tabela 4.21 – Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade média.

Etapa	Direta (%)	Indireta (%)
Preparação	20,32	41,62
Tingimento	30,29	45,49
Total	50,61	87,11

Cor de Intensidade Escura

Para a cor de intensidade escura, os volumes utilizados por fase são apresentados na Tabela 4.16 e na Tabela 4.17 é apresentado o consumo por etapa (20,62% na preparação e 79,38% no tingimento) que corresponde a um consumo total de 18.333 litros.

A cor de intensidade escura apresenta 2 fases na etapa de preparação, porém nenhuma delas apresenta composição capaz de reuso direto; entretanto de forma indireta pode ser reutilizado 7,93%.

Na etapa de tingimento a reutilização direta é possível em 39,70% (segunda lavagem após o banho de tingimento, e lavagens seguintes ao ensaboamento) e na forma indireta em 55,58% (segunda lavagem após o banho de tingimento, e lavagens seguintes ao ensaboamento, banho de aplicação de fixador e lavagem).

Como os efluentes das outras cores, os efluentes da cor de intensidade escura também podem propiciar a recuperação de energia.

Tabela 4.22 – Porcentagens de potencial de reutilização de efluentes da cor de intensidade escura.

Etapa	Direta (%)	Indireta (%)
Preparação	-	7,94
Tingimento	39,70	55,58
Total	39,70	63,52

Todas as cores selecionadas apresentaram em sua etapa de preparação um efluente capacitado para reuso direto. Por isso é conveniente o tratamento dos efluentes individualizados para remoção de alguns contaminantes para adequar os parâmetros de qualidade aos limites de tolerância. Devido às características apresentadas pelos efluentes estudados seria conveniente sugerir o método de flotação, para remover as fibrilas presentes nos efluentes menos contaminados (característica de substrato de algodão). Se a qualidade do efluente for muito ruim, a utilização de flotação seria uma etapa, seguida de um processo de separação por membranas.

A Tabela 4.23 apresenta as porcentagens que podem ser alcançadas com a reutilização dos efluentes individualizados no processo. Verifica-se que quanto maior a carga de contaminantes presentes no banho, menor é a possibilidade de reuso direto, exercendo influência sobre a forma de reuso indireto, uma vez que as características dos efluentes e a qualidade que se deseja atingir é que ditarão o processo de tratamento normalmente físico a ser utilizado.

Tabela 4.23 – Porcentagens de potencial de reutilização das cores analisadas.

Cor	Preparação		Tingimento		Total	
	Direta (%)	Indireta (%)	Direta (%)	Indireta (%)	Direta (%)	Indireta (%)
Branca	23,68	35,52	33,72	33,72	57,40	69,24
Preta	6,48	12,97	6,48	16,38	12,96	29,35
Clara	17,84	38,77	28,90	44,48	46,74	83,25
Média	20,32	41,62	30,29	45,49	50,61	87,11
Escura	-	7,94	39,70	55,58	39,70	63,52

A Tabela 4.24 apresenta o volume de água reutilizável em litros, considerando como volume total 138.878 litros, gasto para o beneficiamento das cores selecionadas. Verifica-se que a reutilização direta é de aproximadamente 37,17% e a indireta 61,05%. Considerando o volume de efluentes tratados no mês de março do ano de 2001 de 96.400 m³, dado pela Tabela 4.1 e que o efluente apresenta na composição apenas estas cinco cores, há a possibilidade de reutilizar diretamente 35.831,88 m³ e 58.852,20 m³ de forma indireta.

Tabela 4.24 – Volumes das cores analisadas que podem ser reutilizados.

Cor	Volume total gasto (litros)	Preparação (volume em litros)		Tingimento (volume em litros)		Total (volume em litros)	
		Direta	Indireta	Direta	Indireta	Direta	Indireta
Branca	23.973	5.677	8.515	8.084	8.084	13.761	16.599
Preta	46.244	2.997	5.998	2.997	7.575	5.993	13.573
Clara	22.750	4.059	8.820	6.575	10.119	10.633	18.939
Média	27.578	5.604	11.478	8.353	12.545	13.957	24.023
Escura	18.333	-	1.456	7.278	10.190	7.278	11.645
Total	138.878	18.337	36.267	33.287	48.513	51.622	84.779
	%	13,20	26,11	23,97	34,93	37,17	61,05

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No beneficiamento têxtil, devido às inúmeras combinações possíveis de cores, substratos e equipamentos, foi necessário restringir algumas variáveis. Estas restrições geraram os seguintes parâmetros para a coleta de amostras: escolha da fibra de algodão com composição superior a 95%, como substrato têxtil, e escolha do corante; seleção de classes de cores de intensidade clara, média e escura, todas tingidas com corantes reativos, branca com alvejamento óptico e preta utilizando o processo sulfuroso. A classificação das intensidades das cores varia conforme a quantidade percentual de corante presente no banho. A cor de intensidade clara possui quantidade de corante inferior a 0,5%. A cor de intensidade média possui quantidade de corante entre 0,5% e 1,5%. A cor de intensidade escura possui quantidade de corante superior a 1,5%.

No presente trabalho foram caracterizados os parâmetros físico-químicos dos afluentes/efluentes de cada etapa da cadeia produtiva da indústria têxtil, assim como foram analisadas as características específicas dos processos nos quais estes estão inseridos, e as possibilidades e condições em que o efluente e produtos recuperados possam ser reutilizados.

Através dos resultados obtidos pode-se verificar 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.

O princípio da proposta de reaproveitamento dos efluentes está baseado na individualização das correntes de efluentes de cada fase, de todas as etapas do processo.

A estratégia de reuso direto das correntes efluentes, estabelecida no presente trabalho, consiste no reciclo das correntes que possuem menor concentração de contaminantes, para as fases que ocasionarão uma emissão de efluente com concentrações bem superiores que a corrente afluyente, no mesmo processo.

A utilização de processo de pré-tratamento destas correntes como, por exemplo, a remoção de fibrilas através de processos de filtração ou centrifugação, poderá ser necessária.

A grande variação na carga de contaminantes dos efluentes, conforme a seqüência de fases exigidas para a etapa, possibilita várias rotas de reuso. Indistintamente a carga de contaminantes é sempre elevada no primeiro efluente de cada fase, preparação e tingimento, e tende a diminuir com as lavações sem produtos químicos. Quando as lavações sem produtos químicos são seguidas por lavações com produtos químicos, dependendo do tipo utilizado, a carga de contaminantes aumenta em relação à anterior.

Os efluentes do tingimento, apesar dos grandes volumes envolvidos, têm suas possibilidades de reuso muito restritas, pois a presença de substâncias químicas de outras fases do processo podem interferir na qualidade do tingimento.

Nos efluentes analisados, 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.

Concluiu-se dos resultados obtidos 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 neste trabalho. O reuso desses efluentes ocasionará uma grande economia à unidade industrial.

As sugestões para futuros trabalhos serão apresentadas a seguir, baseadas nas observações realizadas no processo industrial:

- Caracterizar os efluentes para outros tipos de substratos.
- Caracterizar os efluentes do mesmo tipo de preparação e tingimento para os vários tipos de equipamentos existentes no processo, uma vez que o consumo de água varia de um tipo para outro, devido à tecnologia adotada.
- Estudar a cinética do esgotamento e fixação do corante no substrato, para viabilizar a possibilidade de utilização do banho de tingimento.
- Caracterizar a mistura das correntes das fases alcalinas e ácidas.
- Caracterizar os efluentes de transbordo, para verificar o comportamento de redução da carga contaminante, a fim de reduzir o tempo de transbordo.
- Realização de testes piloto para verificar se a qualidade do produto final é afetada pelo reuso direto sugerido no presente trabalho.
- Testar processos de tratamento nos efluentes individualizados e verificar a qualidade atingida e viabilidade econômica.

- Testar a reutilização do banho de tingimento na fase de fixação para não causar manchamento.
- Desenvolvimento de um programa computacional para otimização do reuso dos efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE FILHO, J. F.; SANTOS, L. F. *Introdução à Tecnologia Têxtil*. v. 3, Senai – Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, Rio de Janeiro, 1987.

ABIQUIM – *Anuário da Indústria Química Brasileira*, 1999.

ALMATÓ, M.; ESPUÑA, A.; PUIGJANER, L. Optimisation of Water Use in Batch Process Industries. *Computers and Chemical Engineering*, n. 23, p. 1427 – 1437, 1999.

ALVES, F. E se a Água Vier a Faltar? *Saneamento Ambiental*, n 64, p. 3, 2000.

AMARAL, M. C. Águas Vermelha, Escura e com Mau Odor em Circuitos de Água Potável e de Água Recuperada (Reuso/Reciclo). *Revista Meio Ambiente Industrial*, n. 6, p. 60-75, 1997.

AMAT, R. R. Vantagens do Tingimento de Tecidos Descontínuos em Corda, Mediante Máquinas em que o Transporte é Efetuado por Ar, Ecologia, Tato Suave e Economia. *Química Têxtil*, p. 68 – 76, Setembro 1999.

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

ARSLAN, I.; BALCIOGLU, I. A.; BAHNEMANN, D. W. Heterogeneous Photocatalytic Treatment of Simulated Dyehouse Effluents Using Novel TiO₂-Photocatalytics. *Applied Catalysis B: Environmental*, n. 26, p. 193 – 206, 2000.

BELLO, L. Água: a Mais Importante Commodity do Século XXI. *Banas Ambiental*, n. 8, p.34-42, 2000.

BOHRER, E. S. The Importance of Short Liquor Technology and Synchronised Dyeing in the Batchwise Dyeing of Fabric and Yarn. *JSDC*, v. 107, p. 212 – 215, 1991.

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

BRANDÃO, H. L. *Simulação Numérica da Biodegradação de Efluentes Líquidos Multicomponentes em Rios*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

BURKINSHAW, S. M.; GRAHAM, C. Recycling of Exhausted Reactive Dyebaths. *Dyes and Pigments*, n. 3, p. 193 – 206, 1995.

CHT Brasil. A Carga dos Efluentes Provocada pela Preparação de Fibras Celulósicas Naturais. *Química Têxtil*, p. 60-68, Setembro 1998.

CIARDELLI, G.; CORSI, L.; MARCUCCI, M. Membrane Separation for Wastewater Reuse in the Textile Industry. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 31, p. 189 – 197, 2000.

CIARDELLI, G.; RANIERI, N. The Treatment and Reuse of Wastewater in the Textile Industry by Means of Ozonation and Electroflocculation. *Water Research*, v. 35, n. 2, p. 567 – 572, 2001.

COELHO, C. C. S. R. *A Questão Ambiental dentro das Indústrias de Santa Catarina: uma Abordagem para o Segmento Industrial Têxtil*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

CONCHON, J. A. Tratamento de Efluentes. *Transcrição do Artigo Publicado na Revista Base Textil, da Federación Argentina de la Industria Textil*, n. 123, 1999.

CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. J. Characterization of Textile Wastewaters – a Review. *Environmental Technology*, v.15, p.917 – 929, Junho 1994.

CUNHA, R. T.; PEREIRA Jr., N.; ANDRADE, C. M. M. C. Aplicação de Enzimas em Processos Industriais Têxteis.. *XIX CNTT e 6ª Fenatêxtil*, p 40 – 50, 2000.

DHALE, A. D.; MAHAJANI, V. Reactive Dye House Wastewater Treatment. Use of Hybrid Technology: Membrane, Sonication Followed by Wet Oxidation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, n. 38, p. 2058 – 2064, 1999.

DUMAS MARTINS, A. Neutralização de Efluentes Alcalinos com CO₂ (Dióxido de Carbono). *Revista Meio Ambiente Industrial*, n. 8, p. 58 – 64, 1997.

EPA - Environmental Protection Agency. *Profile of the Textile Industry*. Washington, September, 1997.

GAETA, S. N.; FEDELE, U. Recovery of Water and Auxiliary Chemicals from Effluents of Textile Dye Houses. *Desalination*, n. 83, p. 183 –194, 1991.

GAROZZO, F. Tudo Azul na Aplicação de Corantes. *Química e Derivados*, p. 22 – 32, Novembro, 1965.

GLOVER, B., HILL, L. Waste Minimization in the Dyehouse. *Textile Chemist and Colorist*, v. 25, n. 6, p. 15 – 20, 1993.

GORINI, A. P. F. Panorama do Setor Têxtil no Brasil e no Mundo: Reestruturação e Perspectivas. *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social Setorial*, Rio de Janeiro, n. 12, p. 17 – 50, Setembro 2000.

GROSS, R.; SCHÄFER, T.; JANITZA, J.; TRAUTER, J. Nanofiltração de Efluentes de Tinturaria. *Química Têxtil*, p. 44 – 54. Setembro 1999.

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

JIRARATANANON, R.; SUNGPET, A.; LUANGSOWAN, P. Performance Evaluation of Nanofiltration Membranes for Treatment of Effluents Containing Reactive Dye and Salt. *Desalination*, n. 130, p. 177 – 183, 2000.

KÜHL, M. *Estudo do Alveamento com Peróxido de Hidrogênio Alcalinamente Ativado*. Monografia, Curso de Pós-Graduação - Especialização em Processos Têxteis, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

KIPERSTOK, A. Tecnologias Limpas – Por que não Fazer já o que Certamente se Fará Amanhã? *Tecbahia – Revista Baiana de Tecnologia*, v. 14, n. 2, p. 45-51, 1999.

KIRBY, N., Mc MULLAN, G. MARCHANT, R. Decolourisation of an Artificial Textile Effluent by *Phanerochaete chrysosporium*. *Biotechnology Letters*, v. 17, n. 7, p. 761 – 764, 1995.

LEDAKOWICZ, S.; GONERA, M. Optimisation of Oxidants Dose for Combined Chemical and Biological Treatment of Textile Wastewater. *Water Research*, v. 33, n. 11, p. 2511 – 2516, 1999.

LIN, S. H.; CHEN, M. L. Treatment of Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse. *Water Research*, v. 31, n. 4, p. 868 – 876, 1997.

LIN, S. H.; LIN, C. M. Treatment of Textile Waste Effluents by Ozonation and Chemical Coagulation. *Water Research*, v. 27, n. 12, p. 1743 – 1748, 1993.

LIN, S. H.; LIU, W. Y. Continuous Treatment of Textile Water by Ozonation and Coagulation. *Journal of Environmental Engineering*, v. 120, n. 2, 1994.

LITTLE, A. H. Water Supplies and the Treatment and Disposal of Effluents. *The Textile Institute Manchester*, n. 2, 1975.

LÓPEZ, R.; GUTARRA, A. Descoloração de Águas Residuárias da Indústria Têxtil. *Química Têxtil*, p. 66-69, junho 2000.

LUND, H. F. *Manual para el Control de la Contaminacion Industrial. Instituto de Estudios de Administración local.* Traduzido BERNÁLDE, A., BLASCO, C. Edición Espanhola, 1974.

MACHADO, F. N.; PLACHTA, I.; RUSSO, C. Programa de Gerenciamento de Despejos Líquidos de Indústrias de Processamento Químico: uma Proposta. *Revista Brasileira de Engenharia Química*, n. 2, p. 35 – 44, 1995.

MARCUCCI, M.; NOSENZO, G.; CAPANNELLI, G.; CIABATTI, I.; CORRIERI, D.; CIARDELLI, G. Treatment Reuse of Textile Effluents Based on New Ultrafiltration and Other Membrane Technologies. *Desalination*, n. 138, p. 75 – 82, 2001.

MARTINS, G. B. H. *Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina.* Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

MILNER, A. J. Preservar o Meio Ambiente e Proteger as Utilidades, Uma Verdadeira Racionalização do Pré-Tratamento. *Química Têxtil*, p. 36 – 45, Junho 2000.

MISHRA, G.; TRIPATHY, M. A Critical Review of the Treatments for Decolourization of Textile Effluent. *Colourage*, October, 1993.

MORAES, S. G.; FREIRE, R. S.; DURÁN, N. Degradation and Toxicity Redution of Textile Effluent by Combined Photocatalytic and Ozonation Process. *Chemosphere*, n. 40, p. 369 – 373, 2000.

NOVAES, W.; RIBAS, O.; COSTA NOVAES, P. *Agenda 21 Brasileira – Bases para Discussão.* Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. Ministério do Meio Ambiente/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Brasília, 2000.

PALMA, C.; MOREIRA, M. T.; MIELGO, I.; FEIJOO, G.; LEMA, J. M. Use of a Fungal Bioreactor as a Pretreatment or Post-Treatment Step for Continuous Decolourisation of

Dyes. *V Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento anaerobio de aguas residuales*, 1998.

PELEGRINI, R.; PERALTA-ZAMORA, P.; ANDRADE, A. R.; REYES, J. Electrochemically Assisted Photocatalytic Degradation of Reactive Dyes. *Applied Catalysis B: Environmental*, n. 22, p. 83 – 90, 1999.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais da Indústrias Têxteis – Uma Primeira Abordagem. *Química Têxtil*, p. 22 – 39, 1998.

PITOLI, M. Iso 14.001 no Setor Têxtil. *Revista Textília*, n. 37, 2000.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. *Tratamento de Água – Tecnologia Aplicada*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1991.

RUIZ SILVA, I.; ZONIGNAN, J. Novo Processo de Tingimento de Malhas. *Textília*, n. 4, p. 18-22, 1992.

SANIN, L. B. B. A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. *Química Têxtil*, p.13-34, Março 1997.

SANTOS, M. A. *Remoção de Cor de Efluentes Têxteis através de um Processo Biológico*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

SCORZELLI, I. B.; TOREM, M. L. Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais Contendo Metais Pesados por Flotação Iônica – um método alternativo. *Saneamento Ambiental*, n. 43, p. 38 – 41, 1997.

SILVA, J. G. G. Lavagem a Frio de Corantes Reativos. *Textília*, n. 25, p. 38-45, 1997.

SILVA SANTOS, N. E. *Utilização da Análise de “Filiere” com a Variável Ambiental “Efluentes Líquidos e Estações de Tratamento” no Estudo de Comportamento das Indústrias Têxteis do Vale do Itajaí - SC*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

SILVESTRE, W. K. G. Água: Elemento Precioso e Ameaçado. *Textília*, n.18, p. 69, 1995.

SOARES, J. L. *Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com Alto Teor de Cinzas*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

SÓDJKA-LEDAKOWICZ, J.; KOPROWSKI, T.; MACHNOWSKI, W.; KNUDSEN, H. H. Membrane Filtration of Textile Dyehouse Wastewater for Technological Water Reuse. *Desalination*, n. 119, p. 1 – 10, 1998.

SOUZA, M. P. A Cobrança e a Água como Bem Comum. *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos*, v. 13, p. 25 – 55, Junho 1995.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Publication Office American Public Health Association, Washington, 19th edition, 1995. APHA, AWWA, WEF.

STEINHART, M. R. V. Auxiliares Têxteis do Ponto de Vista dos Tensoativos. *Química Têxtil*, p. 76 – 80, Dezembro 2000.

STORTI, S. *Relatório Interno Marisol*, 2001.

TARANTO, A. C. C. Água - É Preciso Saber Usá-la. *Revista Meio Ambiente Industrial*, n. 25, p. 110-111, 2000.

TORRES, E. M. A Necessidade de Redução da Geração de Resíduos nos Processos de Fabricação. *Revista de Química Industrial*, n. 704, p. 12-14, 1996.

- TRALLI, V. J. Noções Básicas para Engomagem. *Revista Textília*, n. 37, 2000.
- TRAUTER, J.; SAAR, J.; CORAL, E.; JANITZA, J.; GROSS, R.; ROSA, S.; KRAEMER, T. H.; STEGMAIER, T. *Seminário Brasil-Alemanha sobre Tratamento de Efluentes Têxteis*, 1999.
- TROTMAN, E. R. *Dyeing and Chemincal Tecnology of Textile Fibres*. Charles Griffin & Company LTD, 6 ed., England, 1984.
- TÜNAY, O.; KABDASLI, I.; EREMEKTAR, G.; ORHON, D. Color Removal from Textile Wastewaters. *Water Science Technology*, n. 11, p. 9 – 16, 1996.
- TZITZI, M.; VAYENAS, D. V.; LYBERATOS, G. Pretreatment of Textile Industry Wastewaters with Ozone. *Water Science Technology*, n. 9, p. 151 – 160, 1994.
- VALLDEPERAS, J.; NAVARRO J. A.; LIS, M. J.; MUNTAL, J. Controle Integral do Processo de Tingimento com Corantes Sulfurosos. *Química Têxtil*, p. 46 – 53, Março 2001.
- YANG, Y. H.; LOU, H. H.; HUANG, Y. L. Synthesis of an Optimal Wastewater Reuse Network. *Waste Management*, n. 20, p. 311 – 319, 2000.
- YU, L.; GUO, Q.; HAO, J.; JIANG, W. Recovery of Acetic from Dilute Wastewater by Means of Bipolar Membrane Electrodialysis. *Desalination*, n. 129, p. 283 – 288, 2000.
- ZBONTAR, L.; GLAVIC, P. Total Site: Wastewater Minimization, Wastewater Reuse and Regeneration reuse. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 30, p. 261 – 275, 2000.
- ZOMIGNAN, J. (a) Processo BHE para tingimento. *Textília*, n. 15, p. 48 – 55, 1995.
- ZOMIGNAN, J. (b) A neutralização direta no banho de alvejamento. *Textília*, n. 16, p. 32 – 34, 1995.
- ZOMIGNAN, J. (c) Sistemas de Tanques Conjugados. *Textília*, n. 17, p. 22 – 30, 1998.