

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**REUSO DE ÁGUA DE PROCESSO INDUSTRIAL: UMA
PROPOSTA PARA O SETOR TÊXTIL**

Dirceu Luchesi Cantelli

Orientador: Prof. Dr. Ruben Bresaola Jr.

Dissertação de Mestrado apresentada à
Comissão de pós graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil, na área de concentração de Saneamento.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.	
Prof. Dr.	<i>[Assinatura]</i> 10/04/03
Matrícula:	045730

Campinas - SP
1999

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP C167r
V	EX
TOMBO BCI	54705
PROC.	16.124103
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	22/07/03
Nº CPD	

CM00186778-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

BIB ID 295543

C167r

Cantelli, Dirceu Luchesi

Reuso de água de processo industrial: uma proposta para o setor têxtil / Dirceu Luchesi Cantelli.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Ruben Bresaola Jr.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

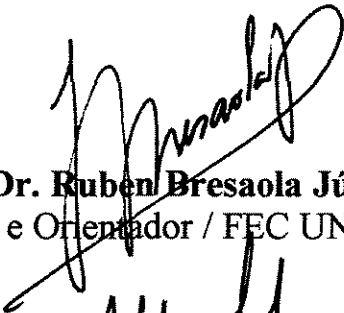
1. Indústria têxtil. 2. Águas residuais. 3. Água - Reutilização. 4. Águas residuais - Purificação - Processo de lodo ativado. I. Bresaola Jr, Ruben. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

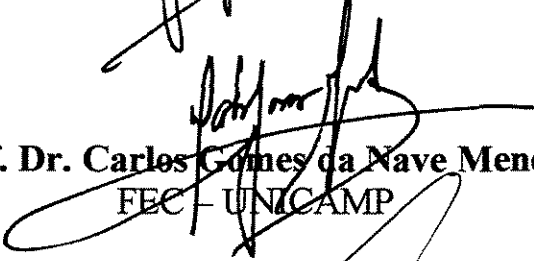
REUSO DE ÁGUA DE PROCESSO INDUSTRIAL: UMA PROPOSTA PARA O SETOR TÊXTIL

Dirceu Luchesi Cantelli

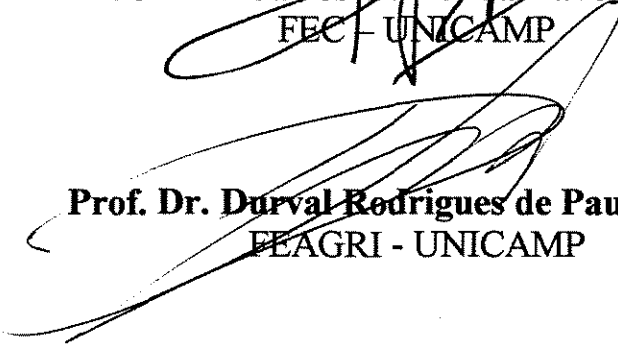
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior
Presidente e Orientador / FEC UNICAMP



Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
FEC - UNICAMP



Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Júnior
FEAGRI - UNICAMP

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Campinas, 25 de fevereiro de 1999.

05/03/1999

Dedicatória

Aos meus Pais por tudo que me ensinaram, e à Valéria pelo amor e companheirismo, meu respeito, admiração e carinho.

Agradecimentos

Ao final deste trabalho são tantos os depositários de meus agradecimentos, que torna-se impossível enumerá-los, portanto, agradeço aqui aqueles que participaram mais diretamente.

Ao Prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior, pela orientação, estímulo, apoio e amizade no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil.

Ao Sr. Oscar Jorge Berggreen, pelo auxílio e interesse.

À Ober S/A Indústria e Comércio, Nova Odessa, que permitiu a realização da primeira parte deste estudo. Ao Sr. André Berggreen e ao Engº Arilton Tardio e toda a equipe pelo apoio, e o fornecimento dos recursos necessários, durante a realização desta pesquisa.

À Beneficiadora de Tecidos São José, Nova Odessa, que forneceu o lodo utilizado na parte experimental, e possibilitou a realização dos testes finais no laboratório da empresa.

À Faculdade de Tecnologia de Americana - FATEC, onde foi realizado a segunda parte experimental da pesquisa. Em especial à Prof. Dr. Doralice de Souza Luro Balan, por toda colaboração dispensada.

À empresa Tema – Tecnologia em Meio Ambiente, onde foram realizadas as análises. Em especial ao Engº Laudinor Gonçalves da Silva, pelo apoio e troca de informações.

Às Professoras Carmen Silvia Martins e Maria C.G. Borsato, pela colaboração.

Aos meus amigos e colegas da Faculdade de Engenharia Civil.

SUMÁRIO

página

LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.	xix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xxiii
RESUMO	xix
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	3
3. Revisão Bibliográfica	4
3.1. Introdução.....	4
3.2. Produtos e processos têxteis	4
3.2.1. Matéria prima.....	5
3.2.2. Fiação	11
3.2.3. Tecelagem.....	14
3.3. Classificação dos tecidos.....	19
3.4. Tipos de processo de beneficiamento e acabamento de fios e tecidos	20
3.4.1. Descrição do processo de beneficiamento e acabamento de tecidos	21
3.4.2. Consumo e qualidade da água nos processos industriais têxteis	36
3.4.3. Qualidade dos efluentes líquidos gerados na indústria têxtil	43
3.5. Tratamento dos despejos líquidos da indústria têxtil	51
3.5.1. Tratamento primário.....	51
3.5.2. Tratamento secundário	55
3.5.3. Tratamento terciário	69
3.6. Tratamento biológico pelo processo de lodos ativados por batelada (LAB)	79

3.6.1. Parâmetros de dimensionamento e controle para o sistema de lodos ativados por batelada.....	85
3.7. Tratamento físico - químico pelo processo de coagulação – floculação.....	90
3.7.1. Produtos químicos utilizados.....	91
3.7.2. Características e propriedades dos colóides.....	91
3.7.3. Desestabilização das partículas coloidais.....	95
3.7.3.1. Considerações gerais.....	95
3.7.3.2. Desestabilização dos colóides através do mecanismo da varredura.....	100
3.7.4. Desestabilização dos colóides através de sais de alumínio.....	100
3.7.5. Etapas do tratamento físico-químico.....	104
4. Metodologia.....	106
4.1. Introdução.....	106
4.2. Efluentes líquidos industriais gerados na empresa Ober S.A.....	106
4.2.1. Considerações iniciais.....	106
4.2.2. Linhas de produtos da indústria.....	107
4.2.3. Fluxogramas de processos de beneficiamento.....	107
4.2.4. Características qualitativas e quantitativas das águas residuárias da indústria.....	108
4.2.5. Sistema de pré-tratamento existente na indústria.....	109
4.3. Processos de tratamento.....	111
4.3.1. Considerações iniciais.....	111
4.3.2. Tratamento biológico.....	112
4.3.2.1. Coletas e armazenagens de amostras dos efluentes industriais (bruto) e dos efluentes do tratamento biológico (tratado) utilizados na segunda etapa do trabalho experimental.....	112
4.3.2.2 - Procedimentos e equipamentos utilizados.....	113
4.3.2.3 - Dosagem de nutrientes.....	118
4.3.3 . Tratamento físico-químico.....	118
4.3.3.1. Coletas e armazenagens de amostras dos efluentes líquidos clarificados do tratamento físico-químico.....	119

4.3.3.2. Procedimentos e equipamentos utilizados	119
4.3.3.3. Produtos químicos utilizados	120
4.3.3.4. Características dos ensaios de coagulação – floculação	121
4.3.4. Parâmetros de controle e equipamentos utilizados	122
5 – Resultados	124
5.1. Considerações iniciais	124
5.2. Primeira etapa do trabalho experimental	124
5.2.1. Considerações iniciais	124
5.3. Segunda etapa do trabalho experimental	131
5.4. Avaliação da eficiência do tratamento biológico seguido do físico-químico na tratabilidade do efluente bruto	135
5.5. Comparação entre a água requerida no processo e a água tratada	137
5.6. Teste com o efluente industrial tratado, como água de processo	138
5.6.1. Considerações iniciais	138
5.6.2. Teste com os efluentes líquidos tratados, simulando o processo industrial de tingimento e alvejamento	139
5.7. Custos operacionais do sistema de tratamento em estudo	142
6. Conclusões	145
7. Recomendações	147
Anexos	148
Anexo A – Tabelas com os parâmetros de qualidade e características, do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação	149
Anexo B – Tabelas com os dados dos ensaios de coagulação – floculação – filtração, realizadas na segunda etapa do trabalho experimental (tratamento Físico – Químico	163
Anexo C – Tabelas com os parâmetros de qualidade e características, do efluente clarificado do tratamento biológico e do filtrado do tratamento físico- químico	172

Referências Bibliográficas	182
Abstract.....	189

LISTA DE FIGURAS

FIG	Título	página
3.1 -	Classificação das fibras naturais têxteis.....	6
3.2 -	Classificação das fibras químicas ou derivadas têxteis.....	7
3.3 -	Desenho esquemático do abridor de fardo marca “Trutzschiler”	11
3.4 -	Desenho esquemático do processo de abertura e limpeza de fibras de algodão	12
3.5 -	Desenho esquemático do processo de estiramento da massa de fibras.....	13
3.6 -	Esquema demonstrativo das cadeias de moléculas das fibras químicas antes e depois do processo de estiragem.....	13
3.7 -	Desenho esquemático de dois tipos de torções	13
3.8 -	Esquema do processo de fabricação e utilização da fibra cortada de poliéster	14
3.9 -	Processo de fabricação de tecidos em tear convencional	15
3.10 -	Desenhos esquemáticos do processo de fabricação do rolo de urdume.....	16
3.11 -	Desenho esquemático de transferência do fio do cone para a espula.....	17
3.12 -	Desenho esquemático indicativo dos componentes de um tear, e da fabricação de tecidos.....	18
3.13 -	Desenho esquemático do método de inserção por lançadeira	18
3.14 -	Entrelaçamento de fios	19
3.15 -	Ilustração do processo não tecido, mostrando a ação das agulhas na massa de fibras.....	20
3.16 -	Fluxograma esquemático do processamento de fios e tecidos de algodão.....	22

3.17 - Ilustração de uma auto chave para tingimento de fios e fibras	23
3.18 - Desenho esquemático do percurso dos fios no processo de engomagem da teia.....	24
3.19 - Desenho esquemático da máquina chamuscadeira de tecidos	24
3.20 - Esquema do processo descontínuo de mercerização para tecidos planos.....	26
3.21 - Desenho esquemático da colocação da tela no quadro de estamparia.....	27
3.22 - Desenho esquemático do quadro instalado na mesa de estampar (vista em planta)	27
3.23 - Ilustração de um homem trabalhando sobre uma mesa de estamparia.....	29
3.24 - Esquema da máquina de estampar a quadros automática.....	29
3.25 - Ilustração de uma máquina de estampar contínua por cilindros perfurados...	30
3.26 - Desenho esquemático do processo de estamparia por cilindros de cobre.....	31
3.27 - Ilustração do equipamento denominado “jigger” e corte esquemático	31
3.28 - Desenho esquemático de uma máquina de tingimento semi contínuo denominada “foulard”	32
3.29 - Desenho esquemático de um sistema de máquinas de tingimento contínuo ...	33
3.30 - Fluxograma do processo de acabamento de tecidos de algodão e mistura de algodão e fibras sintéticas.....	34
3.31 - Desenho esquemático do método de sanforização	36
3.32 - Fluxograma com alternativas para o tratamento primário dos efluentes líquidos oriundos de indústria têxtil.....	52
3.33 - Desenho esquemático de um sistema de flotação por ar dissolvido com pressurização total do efluente bruto	54
3.34 - Alternativas de tratamento secundário de efluentes líquidos oriundos de indústria têxtil.....	56
3.35 - Fases do crescimento bacteriano.....	58
3.36 - Fluxograma dos diferentes tipos de processos onde acontece remoção de DBO em lagoas de estabilização	60

3.37 - Representação esquemática da simbiose que ocorre nas zonas fóticas das lagoas de estabilização	62
3.38 - Representação esquemática das reações biológicas de uma lagoa facultativa.....	63
3.39 - Representação esquemática de um elemento do meio filtrante envolto pelas películas anaeróbia e aeróbia.....	65
3.40 - Corte esquemático de um filtro biológico	66
3.41 - Desenho esquemático do processo de lodos ativados.....	68
3.42 - Ilustração do floco formado pelo agrupamento de ciliados pedunculados.....	68
3.43 - Fluxograma representando as alternativas dos tipos de tratamento a nível terciário	69
3.44 - Desenho esquemático de um trocador de íons	75
3.45 - Desenho esquemático de um sistema de eletrodialise	76
3.46 - Desenho esquemático do processo de osmose	77
3.47 - Desenho esquemático do processo de osmose reversa	77
3.48 - Ciclo de operações seqüenciais em uma bateria de três reatores de lodos ativados tipo batelada	83
3.49 - Variação do tamanho das partículas presentes na água	92
3.50 - Desenho esquemático da dupla camada elétrica de uma partícula positiva....	93
3.51 - Energia potencial de interação entre as partículas coloidais.....	94
3.52 - Turbidez residual em função da concentração de coagulante.....	97
3.53 - Desenho esquemático da adsorção e subseqüente interação das partículas coloidais e polímeros.....	98
3.54 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para a coagulação de turbidez.....	99
3.55 - Representação da solubilidade das espécies de alumínio.....	101
3.56 - Desenho esquemático das regiões onde ocorrem coagulação	103

4.1 - Fluxogramas (a, b e c) da produção de fibras e tecidos mostrando, esquematicamente os pontos de geração de despejos líquidos para a indústria em estudo	108
4.2 - Vista frontal do reator biológico, com destaque para o dispositivo de descarte de lodo, do sobrenadante e de fundo.....	114
4.3 - Reator biológico, com o detalhe do descarte de lodo e do dispositivo de distribuição de ar	115
4.4 - Interior do reator biológico, com o detalhe do dispositivo de drenagem do sobrenadante.....	116
4.5 - Equipamento utilizado nos ensaios de coagulação – floculação.....	120
4.6 - Fluxograma geral esquemático de caminhamento das amostras coletadas, seu armazenamento e destino	121
5.1 - Aparelho utilizado para os testes nos tecidos de poliéster	139
5.2 - Equipamento utilizado para os testes nos tecidos de viscose	141

LISTA DE TABELAS

TAB.	Título	página
3.1 -	Demanda mundial de fibras têxteis em milhares de toneladas	10
3.2 -	Demanda no Brasil de fibras têxteis em milhares de toneladas.....	10
3.3 -	Tipos de teares com diferentes processos de inserção, e os respectivos tecidos e artigos produzidos.....	17
3.4 -	Valores máximos dos parâmetros de qualidade recomendados para a água utilizada nos diversos processos têxteis	37
3.5 -	Valores máximos recomendados dos parâmetros de qualidade da água para os diversos processos industriais	38
3.6 -	Problemas relacionados com a presença de algumas impurezas, quando do reuso de água e tratamentos recomendados	39
3.7 -	Consumo específico de água para os diversos tipos de indústrias têxteis	39
3.8 -	Porcentagem do volume de efluentes líquidos gerados em diversos processos de uma indústria têxtil	40
3.9 -	Consumo médio de água, para diversos tipos de tingimento	40
3.10 -	Consumo de água no processamento da lã.....	42
3.11 -	Consumo de água no processamento do algodão	42
3.12 -	Porcentagem da carga de DQO, contida nas águas residuárias, causada pela presença de diversos produtos químicos utilizados no beneficiamento e acabamento de tecidos.....	45

3.13 - Valores médios de DBO, e a porcentagem correspondente, obtidas em amostras de efluentes, oriundos dos diversos processos de beneficiamento e acabamento de tecidos de algodão	46
3.14 - Valores médios de DQO para vários tipos de corantes.....	46
3.15 - Tipos de corantes, sua utilização, origens e características.....	47
3.16 - Características dos efluentes líquidos oriundos de diversas subcategorias, para os diferentes tipos de indústrias têxteis.....	49
3.17 - Características dos efluentes líquidos oriundos da indústria têxtil para diversos setores de tingimento.....	50
3.18 - Características dos tipos de filtros biológicos.....	66
3.19 - Valores prováveis dos parâmetros qualitativos após o tratamento de esgotos urbanos utilizando lagoa de polimento.....	72
3.20 - Qualidade dos despejos líquidos industriais têxteis após várias etapas de tratamento para três amostras distintas de uma mesma indústria	78
3.21 - Faixas de eficiência de remoção, em porcentagens, para os diversos processos, que normalmente são conseguidas para os despejos líquidos têxteis.....	79
3.22 - Produtos químicos utilizados no tratamento físico-químico.....	91
4.1 - Valores médios dos parâmetros de qualidade para os despejos líquidos da empresa Ober.....	109
4.2 - Período de tempo utilizado para realização de cada fase de um ciclo do tratamento biológico por batelada	116
4.3 - Produtos químicos utilizados no tratamento físico-químico.....	120
5.1 - Valores de pH, OD, DBO, DQO, e as porcentagens de remoção correspondentes, para as amostras dos efluentes clarificados do tratamento biológico(bio) e industriais(bruto)	126

5.2 - Valores de SST, SSF e SSV dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação, RS dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação (RS _{RR}), RS dos efluentes clarificados do tratamento biológico (RS _{bio}) e IVL	127
5.3 - Valores de Turbidez, Cor e porcentagens de remoção, correspondentes para os efluentes clarificados do tratamento biológico e industriais (bruto) ..	128
5.4 - Valores de Alcalinidade (Alc.), dosagens de produtos químicos, pH, Turbidez (Tur.), Cor, porcentagens de remoção e Condutividade (Cond.), para os efluentes do tratamento biológico e do tratamento físico-químico	133
5.5 - Valores de DBO, DQO, porcentagens de remoção correspondentes, Condutividade (Cond.), estimativa para SDT, valores de Dureza, Fe, Mn, SST, para o efluente clarificado do tratamento biológico e o sobrenadante do tratamento físico – químico	134
5.6 - Valores de pH, turbidez, cor, DBO, DQO, dureza, SST, SDT (estimativa), Fe, Mn, Alcalinidade (Alc.) e porcentagem de remoção para os efluentes industriais (bruto) e para os efluentes filtrados do sistema de tratamento biológico seguido do físico-químico (trat.)	136
5.7 - Limites dos parâmetros de qualidade para a água utilizada nos diversos processos têxteis, segundo três fontes diferentes.....	137
5.8 - Valores médios dos parâmetros após os tratamentos biológico e físico-químico, seguidos de filtração	138
5.9 - Custos operacionais do sistema de tratamento por m ³ dos efluentes líquidos industriais, estudados no presente trabalho	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Al	alumínio
Alc.	alcalinidade (mg/L)
Alc _{bio}	alcalinidade do efluente clarificado do tratamento biológico (mg/L)
Alc _{FQ}	alcalinidade do efluente do tratamento biológico seguido do físico-químico (mg/L)
Al ₂ (SO ₄) ₃	sulfato de alumínio
Ca	cálcio
Ca CO ₃	carbonato de cálcio
Ca(OH) ₂	cal hidratada (hidróxido de cálcio)
CH ₄	metano
C ₅ H ₇ NO ₂	constituição química da célula de uma bactéria
C ₆ H ₁₂ O ₆	glicose
Cl	cloro
CMC	carboximetil celulose
Cor _{bio}	cor do efluente clarificado do tratamento biológico (uH)
Cor _{bruto}	cor do efluente industrial (bruto) (uH)
Cor _{FQ}	cor do efluente do tratamento biológico seguido do físico químico (uH)
CO ₂	dióxido de carbono
CrO ⁻² ₄	íon cromato
Cu	cobre
Cu ²⁺	íon cobre II (íon cúprico)
CV	cavalo - vapor

d	dia
DBO	demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)
DBO _{bio}	demanda bioquímica de oxigênio do efluente clarificado do tratamento biológico (mg/L)
DBO _{bruto}	demanda bioquímica de oxigênio do efluente industrial (bruto) (mg/L)
DBO _{FQ}	demanda bioquímica de oxigênio do efluente do tratamento biológico seguido do físico químico (mg/L)
DBO ₅	demanda bioquímica de oxigênio, após cinco dias de incubação de oxigênio, mantido a 20 °C (mg/L)
DBO _u	demanda bioquímica de oxigênio última (mg/L)
d _i	distância
DQO	demanda química de oxigênio (mg/L)
DQO _{bio}	demanda química de oxigênio do efluente clarificado do tratamento biológico (mg/L)
DQO _{bruto}	demanda química de oxigênio do efluente industrial (bruto) (mg/L)
DQO _{FQ}	demanda química de oxigênio do efluente do tratamento biológico seguido do físico químico (mg/L)
E	eficiência na remoção do substrato (%)
f	fator de conversão para converter DBO ₅ em DBO _u
F/M	relação alimento/microrganismo (kg DBO ₅ /kg SSVTA.d)
Fe	ferro (mg/L)
FeCl ₃	cloreto férrico
FeSO ₄	sulfato ferroso
Fe ₂ (SO ₄) ₃	sulfato férrico
FIG.	figura
g	grama
G	gradiente de velocidade (s ⁻¹)
ha	hectare
HCl	ácido clorídrico

H_2CO_3	ácido carbônico
H_2O_2	peróxido de hidrogênio
H_2O	água
HNO_3	ácido nítrico
H_2S	ácido sulfídrico
H_2SiO_3	ácido meta silícico
H_2SO_4	ácido sulfúrico
IVL	índice volumétrico de lodo (mL/g)
k_d	coeficiente de decaimento endógeno (d^{-1})
kg	kilograma
kN/m^2	kilonewton por metro quadrado
kW	kilowatt
L/h	litro por hora
L/kg	litro por kilo
LAB	lodos ativados por batelada
m	metro
min	minuto
m^2	metro quadrado
m^2/L	metro quadrado por litro
m^3/d	metro cúbico por dia
m^3/ton	metro cúbico por tonelada
mg/L	miligrama por litro
mg Pt Co/L	miligrama de platina e cobalto por litro
Mg	magnésio
mL/g	mililitro por grama
mL/L	mililitro por litro
Mn	manganês (mg/L)
N	nitrogênio
n°	número

N – NH ₃	nitrogênio amoniacal
Na	sódio
NaCl	cloreto de sódio
NaOCL	hipoclorito de sódio
NaOH	soda cáustica (hidróxido de sódio)
NH ₄ ⁺	íon amônio
NH ₃	amônia
Ni ²⁺	íon níquel II (íon níqueloso)
NO ₃ ⁻	íon nitrato
NTU	unidade de turbidez nefelométrica
OD	oxigênio dissolvido (mg/L)
O.G.	óleos e graxas (mg/L)
O ₂	oxigênio
P	fósforo
pH	potencial hidrogeniônico
pH _{bio}	potencial hidrogeniônico do efluente clarificado do tratamento biológico
pH _{bruto}	potencial hidrogeniônico do efluente industrial (bruto)
PO ₄ ⁻³	íon fosfato
ppm	partes por milhão
PVA	álcool polivinílico
P _x	descarte de lodo ativado produzido por dia, medido em termos de sólidos suspensos
Q	vazão afluyente (m ³ /d)
Q.	quadros
RNA	ácido ribonucléico
rpm	rotações por minuto
RS _{bio}	resíduos sedimentáveis do efluente clarificado do tratamento biológico (mL/L)
RS _T	resíduos sedimentáveis do efluente tratado (mL/L)

RS_{RR}	resíduos sedimentáveis dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação (mL/L)
S	concentração de DBO_5 solúvel efluente
S_o	concentração de DBO_5 solúvel afluente
Si	silício
SiO_2	dióxido de silício
SDF	sólidos dissolvidos fixos (mg/L)
SDT	sólidos dissolvidos totais (mg/L)
SDV	sólidos dissolvidos voláteis (mg/L)
SO_4^{2-}	íon sulfato
$S_{sed.}$	sólidos sedimentáveis (mL/L)
SSF	sólidos suspensos fixos (mg/L)
SSF_{RR}	sólidos suspensos fixos dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação (mg/L)
SST	sólidos suspensos totais
SST_{RR}	sólidos suspensos totais dos efluentes do reator biológico amostrados durante a fase de reação
SSV	sólidos suspensos voláteis (mg/L)
SSV_{RR}	sólidos suspensos voláteis dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação (mg/L)
SSVTA	Sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração (mg/l)
STF	sólidos totais fixos (mg/L)
STT	sólidos totais (mg/L)
STV	sólidos totais voláteis (mg/L)
T	período de tempo
TAB.	tabela
T_{bio}	turbidez do efluente clarificado do tratamento biológico (uT)
T_{bruto}	turbidez do efluente industrial (bruto) (uT)
$T_{FQ.}$	turbidez do efluente do tratamento biológico seguido do físico-químico (uT)

ton.	tonelada
U	taxa de utilização de substrato pelos microrganismos (d^{-1})
uH	unidade Hazen
uT	unidade de turbidez
V	volume de resíduo líquido requerido para a fase de reação (m^3)
Vr	energia potencial de repulsão
w/ m^3	watt por metro cúbico
X _v	concentração de sólidos suspensos voláteis no reator (mg/L)
X	concentração de sólidos voláteis no reator (kg SSV/ m^3)
Y	coeficiente de produção de sólidos (kg SSV/kg DBO)
Zn ⁺²	íon zinco
ΔX	concentração de sólidos voláteis retirada do reator (kg SSV/ m^3)
Δt	variação do tempo (d)
μS	micro siemens
θ_H	tempo de retenção hidráulico
θ_c	tempo médio de retenção celular (idade do lodo) (d)

Resumo

Cantelli, D. L. **Reuso de água de processo industrial: uma proposta para o setor têxtil.** Campinas: FEC, UNICAMP 1999. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 1999. 189p.

O presente trabalho descreve diversos setores de uma indústria têxtil, visando dar melhor compreensão de como são gerados seus despejos líquidos. Apresenta resultados de tratamento biológico seguido de físico-químico, desse tipo de indústria, com a indicação da qualidade obtida para os efluentes parciais e finais. O sistema biológico pelo processo de lodos ativados por batelada é utilizado como parte primeira da tratabilidade dos despejos líquidos, desenvolvida pelo reator biológico em escala piloto, tendo sido obtidos resultados da ordem de 98% de remoção de DBO. O sistema físico – químico, pelo processo de coagulação – floculação, foi utilizado para tratar o efluente clarificado do tratamento biológico. Os resultados obtidos através das amostras submetidas a esse procedimento, para os parâmetros Cor, Turbidez, Dureza, Fe e Mn, mostraram ser possível obter um efluente dentro dos limites estabelecidos pela EPA (1974), para água de processo. Foram realizados testes de tingimento com as amostras do clarificado do tratamento físico-químico, após filtração em papel whatman 40 e pôde ser verificado que a qualidade final do material testado, não teve qualquer distinção em relação ao outro material tingido, usando água de processo utilizada normalmente. Esses dados indicam a possibilidade de reuso e / ou reciclagem, após filtração acrescida ao processo de coagulação, floculação e decantação. Outrossim, os resultados deste trabalho podem indicar para este tipo de indústria, que os referidos limites possam ser até mesmo revistos.

Palavras Chave: Águas residuárias, Reciclagem e reuso de água, Indústria têxtil, lodos ativados por batelada.

1. Introdução

A explosão demográfica que ocorre neste século, associada a fatores como a intensa industrialização, carência de alimentos, poluição e exaustão dos recursos naturais, fatores estes relacionados entre si, tem provocado nos últimos anos grande preocupação em âmbito mundial. Dentro desta realidade, a degradação ambiental tem se agravado nas últimas décadas, particularmente, no que se refere à poluição dos recursos hídricos.

O desenvolvimento industrial vem se caracterizando como uma das principais causas para o agravamento desse problema, pois seus processos geram diferentes tipos de resíduos e efluentes na forma líquida, sólida e gasosa, que geralmente são descartados, de maneira inadequada.

A intensificação das atividades industriais, como efeito sinérgico, vem acompanhada do aparecimento de aglomerados urbanos, que se utilizam de grandes volumes de água para seu abastecimento, gerando em consequência, enormes quantidades de esgotos sanitários, que são inadequadamente dispostos, agravando ainda mais as questões ambientais relacionadas aos recursos hídricos.

Com a globalização da economia, e a conscientização da necessidade de um desenvolvimento sustentável, visando à preservação do meio ambiente e à manutenção dos ecossistemas, as indústrias têm que se adequar para atender a rigorosos padrões de qualidade, inclusive os relacionados ao desempenho ambiental, através da certificação ISO 14.000.

As empresas, na busca desta certificação, têm que cumprir exigências para o desenvolvimento, implementação e manutenção de sistemas de gerenciamento ambiental, assegurando a concordância com políticas e objetivos ambientais estabelecidos. Com esse objetivo cumprem não só critérios específicos de desempenho ambiental, mas necessitam organizar políticas e metas, levando em consideração as informações sobre os efeitos no meio ambiente.

Conforme a SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS (1994), através da lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, prevê-se a cobrança pelo uso das águas superficiais e subterrâneas, tornando assim o seu consumo, bem como, a qualidade dos efluentes líquidos lançados, fatores importantes na determinação de custos finais.

Desta forma, aumenta o interesse pela nova diretriz tecnológica para o tratamento de efluentes líquidos industriais, que se fundamenta na utilização de matérias primas alternativas não poluidoras, na redução do consumo, reuso e / ou reciclagem.

O setor têxtil, inserido neste contexto, foi um dos que passou a se preocupar com a proteção ambiental contra os agentes poluidores. Isto, por força da conscientização social da melhor qualidade ambiental para as futuras gerações, bem como pela exigência dos órgãos governamentais, determinando o cumprimento da legislação.

O presente trabalho aborda os diversos processos do setor têxtil, principalmente aqueles geradores de efluentes líquidos industriais. Dá ênfase e avalia o tratamento biológico por bateladas seguido de físico químico, utilizando os efluentes líquidos tratados como água de processo, indicando possibilidade de reuso e reciclagem.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar estudos sobre os processos de tratabilidade de efluentes líquidos de uma indústria têxtil, em um sistema composto de um reator biológico tipo LAB seguido de tratamento físico – químico, com coagulação - floculação e clarificação das águas residuárias. Deverão ser avaliados o desempenho do tratamento biológico e físico-químico, a qualidade do efluente tratado e a possibilidade de reuso e reciclagem de água após tratamento.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Introdução

Neste capítulo inicialmente será abordada a bibliografia referente aos diversos processos de fabricação de fibras, fios e tecidos, destacando-se a etapa de beneficiamento e acabamento de fios e tecidos, pois é a principal responsável pela geração de maior volume dos despejos líquidos. A abordagem também se estenderá aos vários tipos de tratamentos dos efluentes, destacando o tratamento biológico, modalidade lodos ativados por batelada, o tratamento físico-químico, e a combinação dos dois processos.

3.2. Produtos e processos têxteis

Segundo RIBEIRO (1984), a indústria têxtil está presente em todas as nações do mundo, propiciando grande capacidade de emprego de mão de obra, independente do estágio de desenvolvimento econômico, tendo assim elevada importância estratégica.

O desenvolvimento deste segmento industrial não se restringe apenas à criação de novas máquinas e equipamentos, com o objetivo de aprimorar a produção e a qualidade, mas também à evolução de produtos que venham oferecer aos usuários, conforto, bem estar e segurança.

No Brasil, com o aproveitamento das matérias primas nacionais, o setor é diversificado, permitindo manufaturados têxteis com variada gama de opções em fibras vegetais, animais e químicas.

As atividades têxteis podem ser compreendidas pela fabricação de fibras ou filamentos, fios e tecidos e seu beneficiamento e acabamento. De maneira geral a maioria das empresas produz essencialmente tecidos. Estes posteriormente são submetidos a processos de beneficiamento, tingimento, estamparia e acabamento.

3.2.1. Matéria prima

RIBEIRO (1984), define fibras têxteis como “a unidade de matéria, caracterizada por sua flexibilidade, finura (espessura da fibra) e elevada proporção entre comprimento e finura, cujas propriedades a tornam capaz de ser transformada em fio”.

A FIG. 3.1 apresenta um fluxograma esquemático de como são classificadas as fibras têxteis do grupo natural, enquanto a FIG. 3.2, as do grupo sintético. O primeiro grupo é o das fibras naturais oriundas do reino vegetal, animal e mineral, e o segundo grupo é o das fibras químicas que são produzidas pelo homem através da utilização de materiais provenientes do reino vegetal e mineral, RIBEIRO (1984). Como vegetal podem ser citadas as seguintes fibras:

- a) algodão: fibra de origem vegetal, composta de celulose (88% a 96%), proteína, pectina, cera, cinzas, ácidos orgânicos e pigmentos. É utilizada na produção de tecidos em geral, fitas, correias, e tecidos pesados, podendo ser também utilizada de forma combinada com outras fibras;
- b) linho: fibra proveniente do caule da planta *linum usitatissimum*, composta em seu estado natural de celulose (cerca de 70 %), água, gordura, cera, cinzas e matéria intercelular. É utilizada em tecidos de modo geral, e de forma mista com o algodão;
- c) juta: fibra extraída do caule de várias espécies do gênero *Corchorus*, sendo constituída essencialmente por celulose, com substâncias incrustantes e intercelulares.

É utilizada em tecidos para embalagem, sacarias, tecidos de revestimento, cintas, passadeiras, base para tapetes e carpetes;

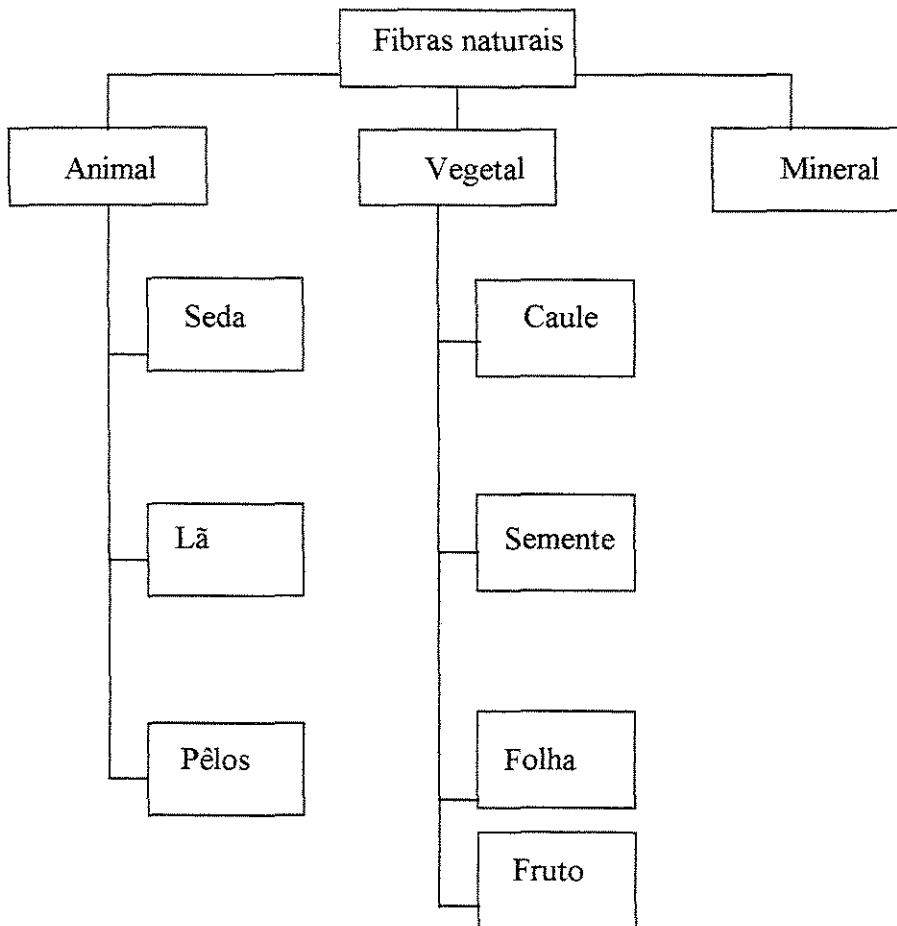


Figura 3.1 - Classificação das fibras naturais têxteis.

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (1984).

- d) cânhamo: fibra do caule da *Canabis Sativa*, sendo composta basicamente por celulose. É utilizada principalmente em tecidos técnicos, tais como linhas de ata, cordéis, cabos, cordames para navegação. Tem como característica a expansão na presença de água, sendo utilizado para toldos, tendas, velas de barcos, tubos e tecidos para calçados;

- e) rami: fibra proveniente do caule da *Boehmeria Nivea* e *Boehmeria Tenacissima*, que fazem parte das famílias das urticáceas. É utilizado como tecido em geral, e como tecido técnico.

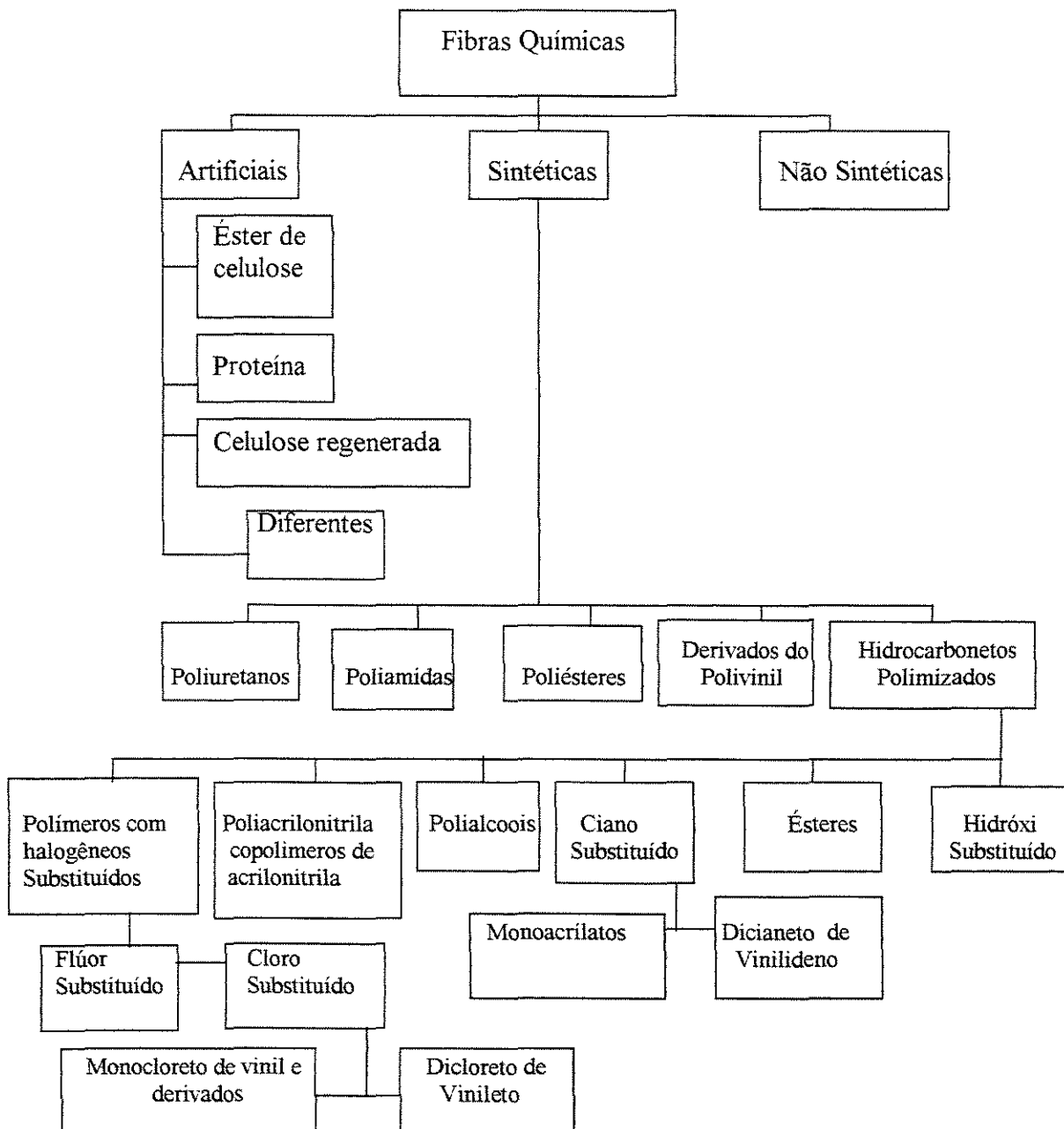


Figura 3.2 - Classificação das fibras químicas ou derivadas têxteis.

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (1984).

Ainda conforme RIBEIRO (1984), como fibras animais podem ser citadas, entre outras:

- a) lã: fibra constituída por pêlos de animais, principalmente ovelhas, cuja composição aproximada é carbono 50%, hidrogênio 7%, oxigênio 24%, nitrogênio 16%, e enxofre 3%. É utilizada para fabricação de tecidos em geral, fios, feltros, chapéus e tecidos técnicos;
- b) seda: fibra originada a partir da secreção glandular de alguns insetos, principalmente o “Bicho da Seda”, *Bombyx Mori*. A composição da fibra é fibroína 75% a 90%, a sericina de 10% a 25%, e em menor porcentagem a cera, gordura e sais. É utilizada na fabricação de tecidos em geral, veludo, guarda-chuva e fitas para máquinas de escrever.

Como fibras químicas podem ser descritas as fibras artificiais, as sintéticas e as não sintéticas. As artificiais são produtos das modificações de um polímero natural, como a celulose que pode ser convertida em um dos seus derivados, como exemplo o acetato de celulose, enquanto que as sintéticas são obtidas através de processos químicos, como o náilon que é obtido a partir da reação da hexametilenodiamina com o ácido adípico. Como exemplo de fibra química pode ser citada:

- a) celulose regenerada, que é obtida através da celulose tratada, com vários produtos químicos e diferentes técnicas de fabricação, originando dois grupos principais: a de viscose e a de cuprano. A utilização da fibra de viscose é variada, sendo empregada na fabricação de tecidos em geral, tecidos de “ cord ” em pneumáticos, cordões e correias. Pode também ser utilizada na mistura com a fibra da lã. As fibras de cupro são empregadas na fabricação de tecidos em geral e na fabricação de tecidos para guarda-chuva;
- b) poliamida: conhecida como náilon, esta fibra é encontrada no carvão, óleo, espigas de milho, aveia, cascas de arroz, farelo, gás e no petróleo. Os filamentos de poliamida são utilizados em tecidos em geral, para fabricação de meias femininas, capas de

chuva, tecidos para guarda-chuva, na fabricação de cabos, fios para redes de pesca, filtros, e podendo ser usada na mistura com outras fibras;

- c) acetato (éster de celulose): a fibra é obtida da combinação química entre a celulose e o ácido acético. Sua utilização é variada, podendo ser empregada de forma combinada com outras fibras, principalmente a da lã;
- d) poliéster: a fibra de poliéster é obtida a partir de substâncias químicas orgânicas, através do processo de polimerização. Pode ser utilizada de forma combinada com outras fibras;
- e) acrílicos (poliacrinolitrila, copolímeros de acrilonitrila): a fibra de acrílico é obtida a partir de um composto denominado acrilonitrila. Tem sua origem nos elementos encontrados no carvão, na água, no petróleo e nas rochas calcárias. É utilizada para artigos técnicos, como as mantas utilizadas na construção civil e na fabricação de cobertores. Pode ainda ser utilizada de forma combinada com outras fibras para fabricação de cortinas, tecidos para barracas, velas de barco, tapetes, malharia, etc.

Dentre as fibras de origem mineral pode ser citado o amianto (asbesto), que se constitui de material fibroso extraído das rochas, composto essencialmente de silicatos. O amianto não sofre o processo da combustão e pode ser fiado ou tecido.

Segundo ADRIA (1997), conforme dados mostrados nas TAB. 3.1 e 3.2, no segmento de fibras têxteis químicas vem ocorrendo aumento de demanda superando o consumo de algodão. Dentre as fibras químicas se destaca o poliéster que, é utilizada na confecção de roupas em geral, revestimentos para estofados e autos, zíper, no setor de cama e mesa, filmes fotográficos e até em garrafas. A preferência pela fibra de poliéster ocorre devido a mesma ser reciclável. Pode-se classificar as fibras como sendo naturais e químicas. As naturais (de origem vegetal e animal) resultando em linho, paina, algodão, lã e seda; inorgânicas (minerais) proporcionando o amianto. Já as químicas, estão divididas em artificiais (raiom viscose, raiom acetato) e sintéticas (poliéster, poliamida, elastano), e não sintéticas (fios metálicos, fibra de vidro).

Tabela 3.1 - Demanda mundial de fibras têxteis em milhares de toneladas.

Ano	1980	1985	1990	1993	1994	1995	1996
Fibras							
Lã	1.611	1.752	1.592	1.696	1.763	1.581	1.809
Algodão	14.261	15.747	18.591	18.517	18.546	18.674	19.246
Químicas	14.521	16.412	19.253	20.569	22.255	22.773	24.427
Total	30.393	33.913	39.436	40.811	42.535	43.028	45.482

Fonte: ADRIA (1996).

Tabela 3.2 – Demanda no Brasil de fibras têxteis em milhares de toneladas.

Ano	1980	1985	1990	1993	1994	1995	1996
Fibras							
Lã	18,40	14,20	18,00	13,00	12,50	8,20	7,80
Algodão	572,40	631,40	730,00	829,50	836,60	803,70	826,10
Químicas	289,20	230,50	313,40	401,80	446,60	475,90	462,70
Total	880,00	876,10	1.061,40	1.244,30	401,80	1.287,80	1.296,60

Fonte: ADRIA (1996).

3.2.2. Fiação

Segundo ARAÚJO e CASTRO (1986) o processo de fiação é constituído por um conjunto de operações, que transformam as fibras têxteis de origem natural ou química, em fios. As características físicas das fibras determinam o tipo de tecnologia a ser utilizada.

O processo de fiação compreende quatro operações distintas: abertura, limpeza, estiragem e torção. A operação de abertura, tem a finalidade de facilitar os processos subsequentes e se resume na separação, através de máquina, do material que vem em forma de fardos. A FIG. 3.3 apresenta esquema do equipamento de abertura de fardos de algodão.

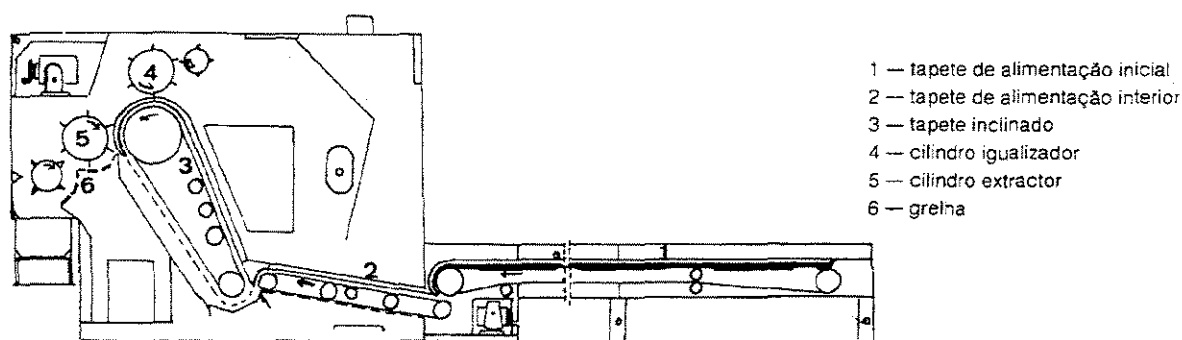


Figura 3.3 - Desenho esquemático do abridor de fardo marca "Trutzschler".

Fonte: ARAÚJO e CASTRO (1986).

A operação de limpeza retira as impurezas incorporadas na massa das fibras e pode ocorrer simultaneamente ao processo de abertura. A FIG. 3.4 ilustra, como um exemplo, o processo de limpeza da massa de fibra de algodão, em forma bruta.

A operação de estiragem consiste basicamente na introdução de uma mecha ou fita de fibras, entre um par de cilindros giratórios em contato entre si, e seguidamente entre outro par de cilindros, movimentando-se a uma velocidade, por exemplo, seis vezes maior que o primeiro, ficando a fita ou mecha seis vezes mais comprida e mais fina que a introduzida no primeiro par de cilindros. A FIG. 3.5 ilustra o processo, sendo que a velocidade do cilindro AA' é menor que o BB', que é menor que o CC', que é menor que o DD', proporcionando o paralelismo das fibras,

conferindo propriedades físicas importantes ao fio, tais como, resistência e alongamento, através da orientação de cadeias das moléculas, ilustrado esquematicamente na FIG.3.6.

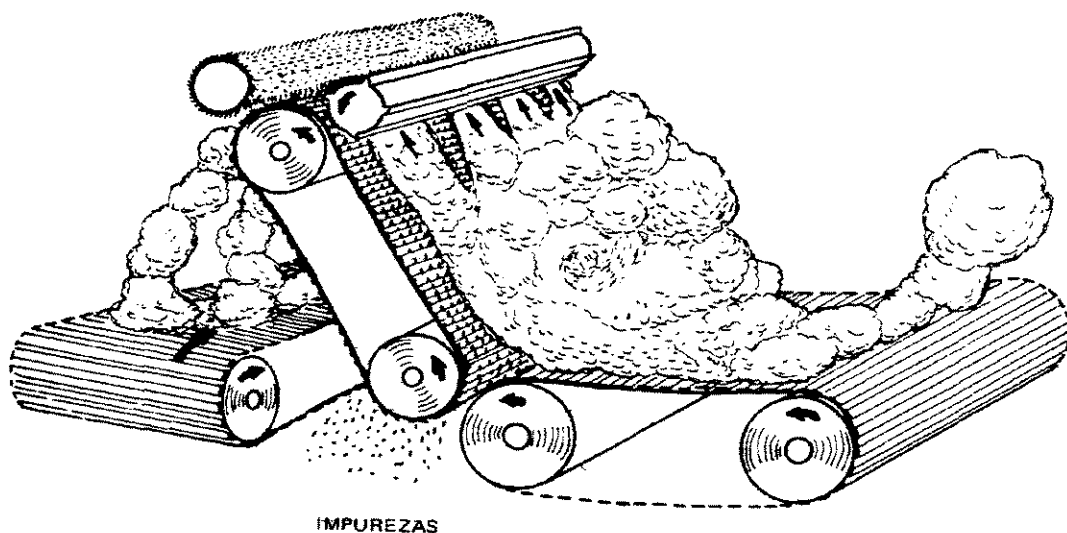


Figura 3.4 - Desenho esquemático do processo de abertura e limpeza de fibras de algodão.

Fonte: RIBEIRO (1984).

A operação de torção consiste em um determinado número de voltas, em que o fio é torcido sob o seu eixo longitudinal por unidade de comprimento, conforme esquematizado na FIG. 3.7 (a e b). A finalidade é evitar que as fibras possam soltar-se uma das outras. Um fio com poucas torções é um fio flexível, esponjoso, de pouca resistência à tração, ao contrário de um fio com muitas torções, que apresenta fibras mais coesas, resultando em maior durabilidade e menor diâmetro. O número de torções aplicadas ao fio poderá estar ou não balanceada, dependendo do objetivo a que o mesmo se destina. Sendo a torção balanceada recomendada para tecidos e artigos lisos. Para tecidos e artigos crespos, é recomendada uma torção mais forte denominada não balanceada.

As características físicas das fibras, são fatores determinantes para o tipo de tecnologia a ser utilizada para sua fiação. As principais características físicas são a finura, o comprimento, a resistência, a elasticidade, a flexibilidade, a maleabilidade, a pureza, a capacidade de deslizamento ou atrito entre fibras. A FIG. 3.8 ilustra um esquema sequencial da fibra de poliéster, desde a fiação até a tecelagem.

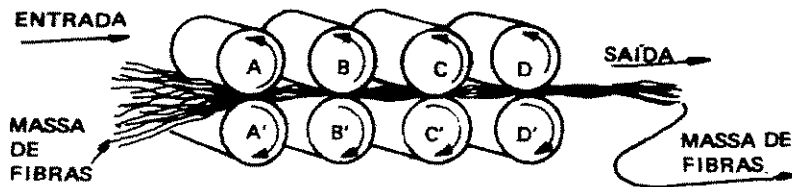


Figura 3.5 - Desenho esquemático do processo de estiramento da massa de fibras.

Fonte: RIBEIRO (1984).

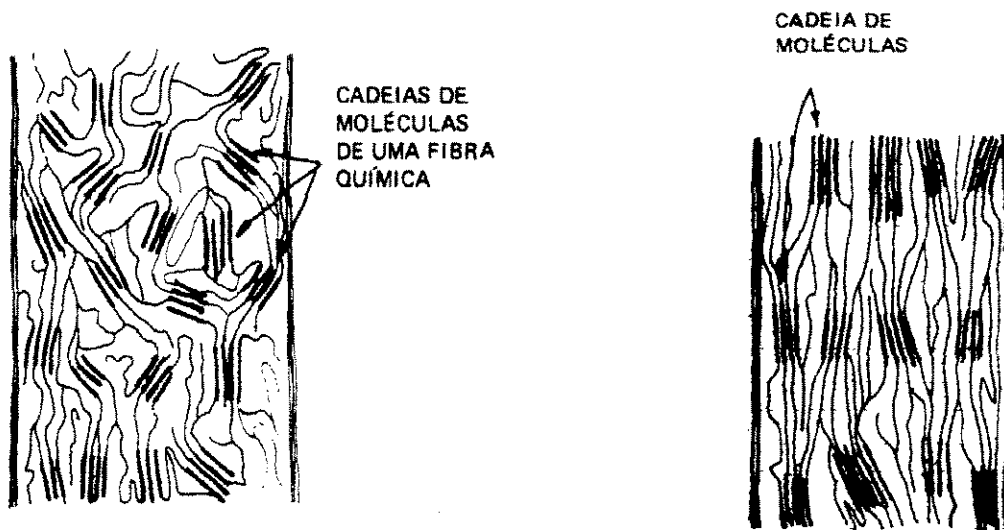
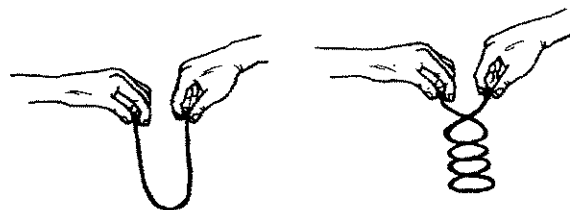


Figura 3.6 - Esquema demonstrativo das cadeias de moléculas das fibras químicas antes e depois do processo de estiragem.

Fonte: RIBEIRO (1984).



(a) – Torção balanceada

(b) – Torção não balanceada

Figura 3.7 - (a e b) Desenho esquemático de dois tipos de torções.

Fonte: RIBEIRO (1984).

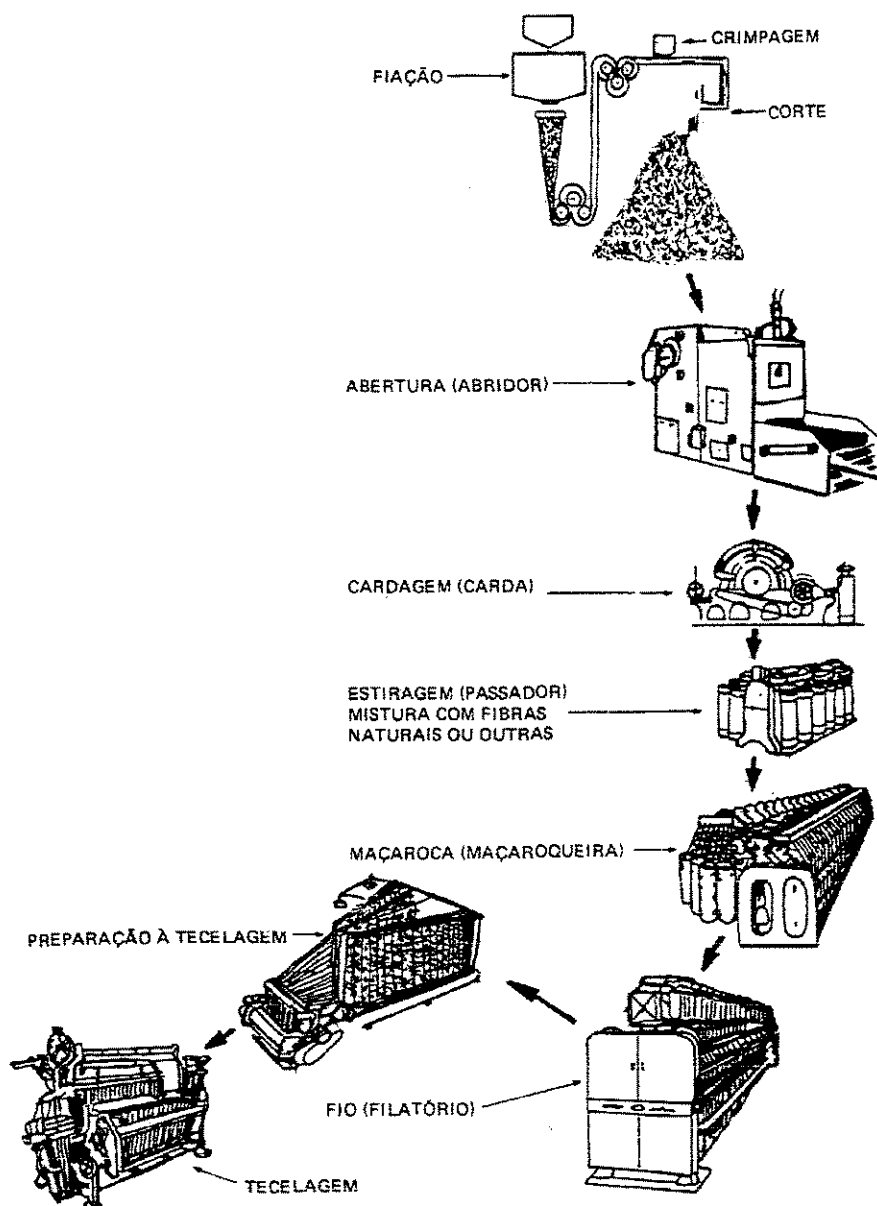


Figura 3.8 - Esquema do processo de fabricação e utilização da fibra cortada de poliéster
 Fonte: RIBEIRO (1984).

3.2.3. Tecelagem

Conforme ARAÚJO e CASTRO (1986), tecelagem é o cruzamento em ângulo perpendicular de dois sistemas distintos, constituídos cada um deles, por fios paralelos, respectivamente denominados, de teia e de trama, esquematizados na FIG. 3.9 (a e b). Esses dois

sistemas requerem operações preliminares, como o urdimento (ilustrado pela FIG. 3.10 a, b, e c), e a preparação do fio da trama (ilustrado pela FIG. 3.11). Os fios são acondicionados em cones, e neste formato, não podem ser industrializados através dos teares convencionais, sendo necessário a passagem do fio do cone para a espula. Esta é alojada na lançadeira do tear. A operação de urdimento consiste na organização dos fios da teia, que estão acondicionados em cones, e são reunidos e dispostos na gaiola da urdeira (nome dado à máquina que realiza a operação de urdimento), passando pelo pente da mesma, onde são arranjados de forma individualizada, paralela e com tensão constante, em rolos.

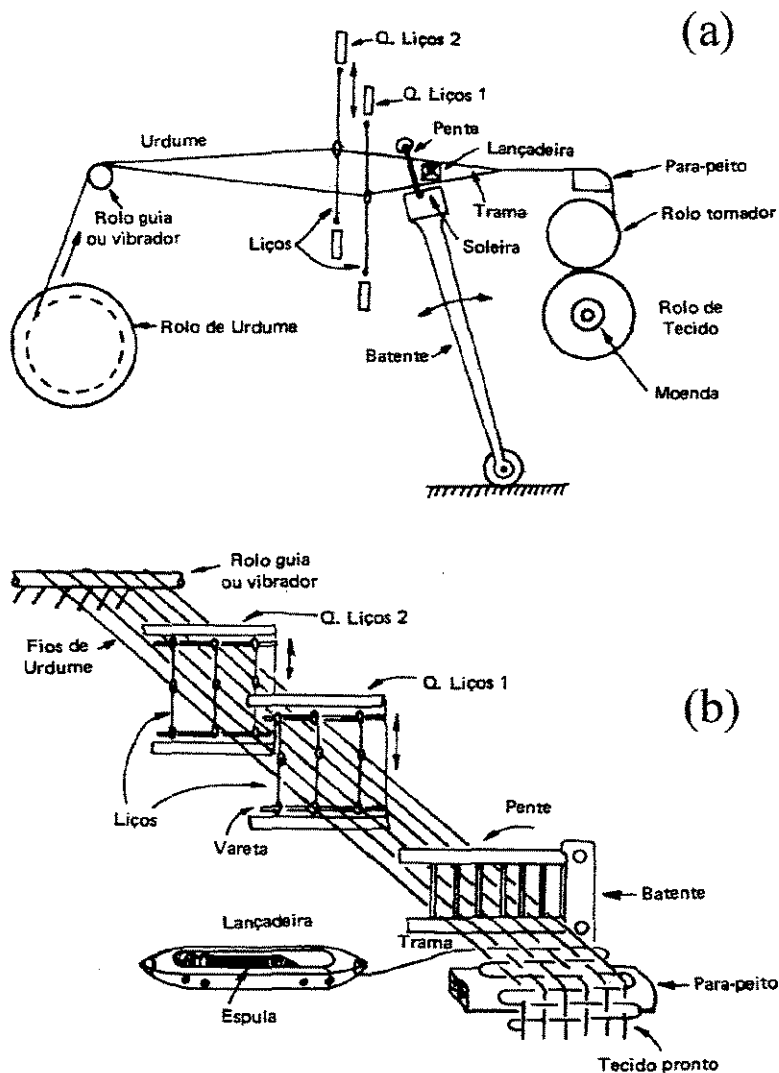


Figura 3.9 – Processo de fabricação de tecidos em tear convencional.

Fonte: RIBEIRO (1984).

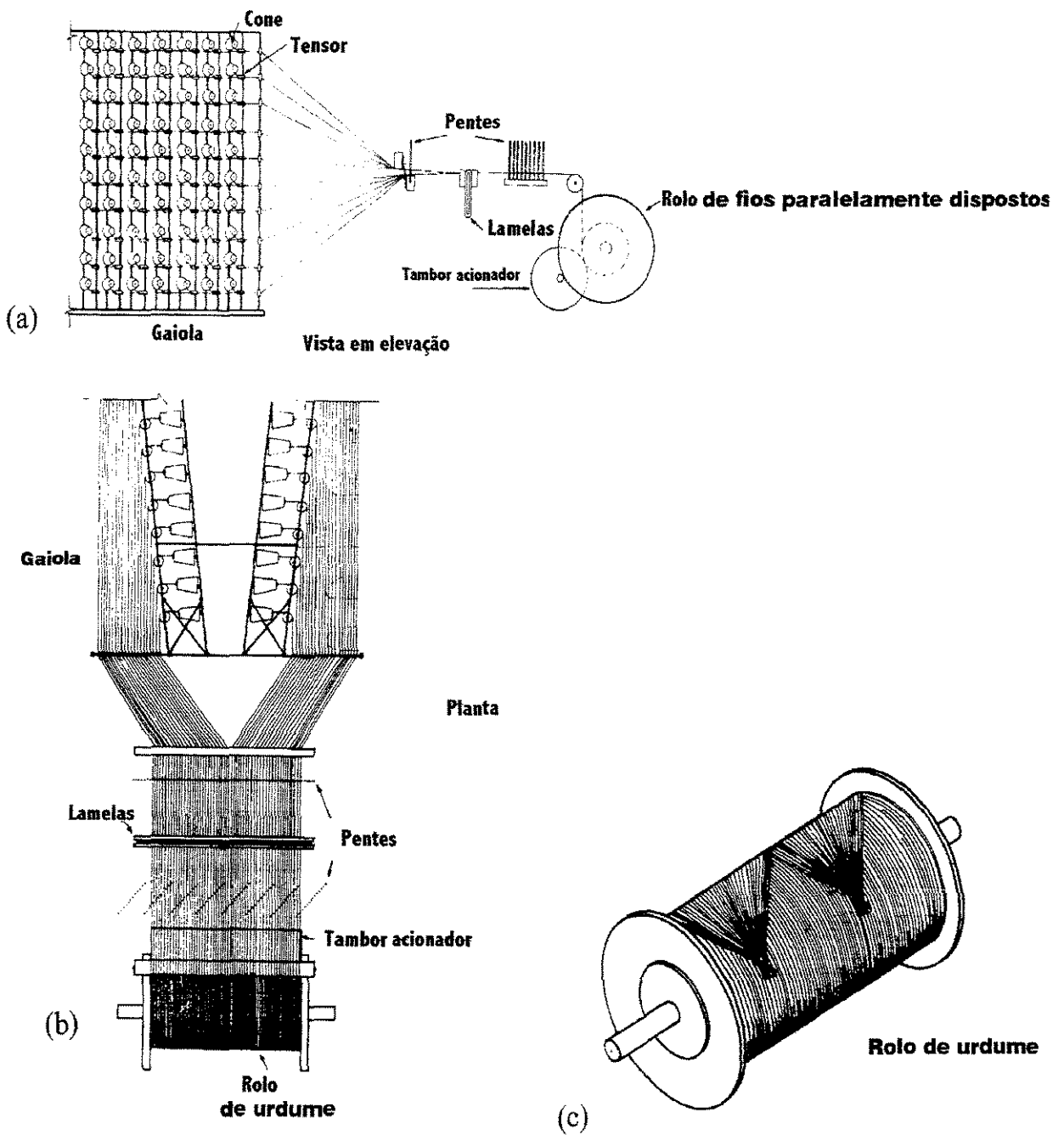


Figura 3.10 - (a, b e c) Desenhos esquemáticos do processo de fabricação do rolo de urdume.

Fonte: RIBEIRO (1984).

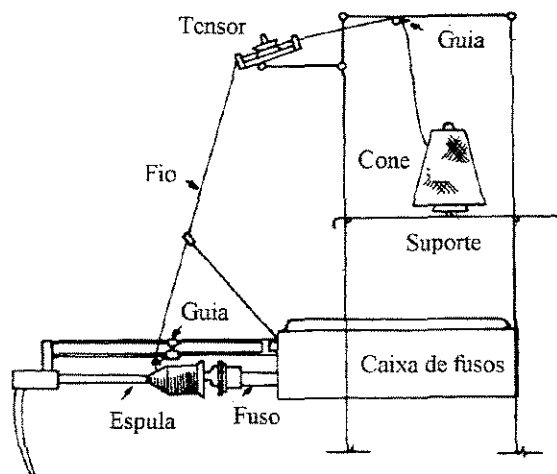


Figura 3.11 – Desenho esquemático de transferência do fio do cone para a espula.

Fonte: RIBEIRO (1984).

A tecelagem propriamente dita, é iniciada após as operações de preparação, que transforma os fios em tecidos, conforme esquema apresentado na FIG. 3.12, através de máquinas de tecer. Na TAB. 3.3, são indicados alguns dos principais tipos de teares e os respectivos tecidos por eles fabricados.

Tabela 3.3 - Tipos de teares com diferentes processos de inserção, e os respectivos tecidos e artigos produzidos.

Métodos de Inserção	Tecidos / Artigos
Lançadeira voadora	Lã; cobertores e tecidos industriais
Projéteis múltiplos	Algodão misto com fibras não naturais; lençóis, camisas e vestuário leve.
Pinças rígidas	Juta; lençóis, decoração, indústrias e cobertores
Pinças rígidas e cala dupla	Veludo em pinça dupla
Pinças flexíveis	Veludo; decoração, forros e lençóis
Pinças rígidas bifásicas	Algodão e tecido misto; camisas e lençóis
Jato de ar	Algodão e seda de filamento contínuo
Jato de água	Náilon, Fibra de vidro; forro, filamentos contínuos
Multifásico	Seda de filamento contínuo; forro

Fonte: Adaptado de ARAÚJO e CASTRO (1986).

O método de inserção consiste no modo como o fio da trama é inserido na cala, podendo ser por meio de lançadeira (FIG. 3.13), de pinças, de projétil ou jato de ar ou água.

- 1 – Rolo de urdume
- 2 – Urdume
- 3 – Quadro de liços
- 4 – Liço
- 5 – Pente
- 6 – Lançadeira
- 7 – Trama
- 8 – Tecido
- 9 – Rolo de tecido

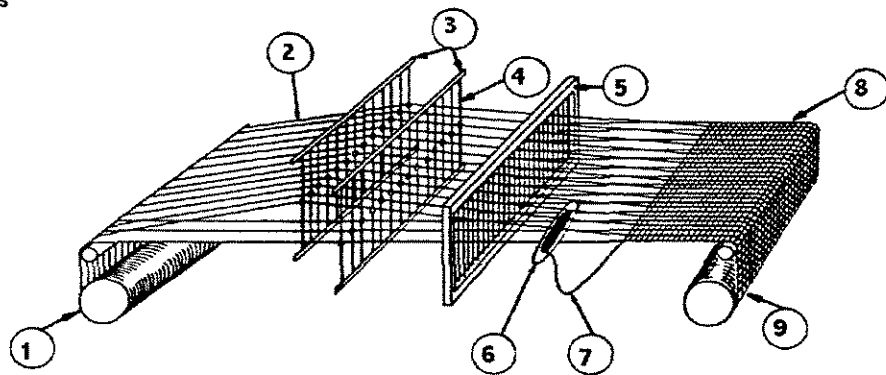


Figura 3.12 – Desenho esquemático indicativo dos componentes de um tear, e da fabricação de tecidos.

Fonte: RIBEIRO (1984).

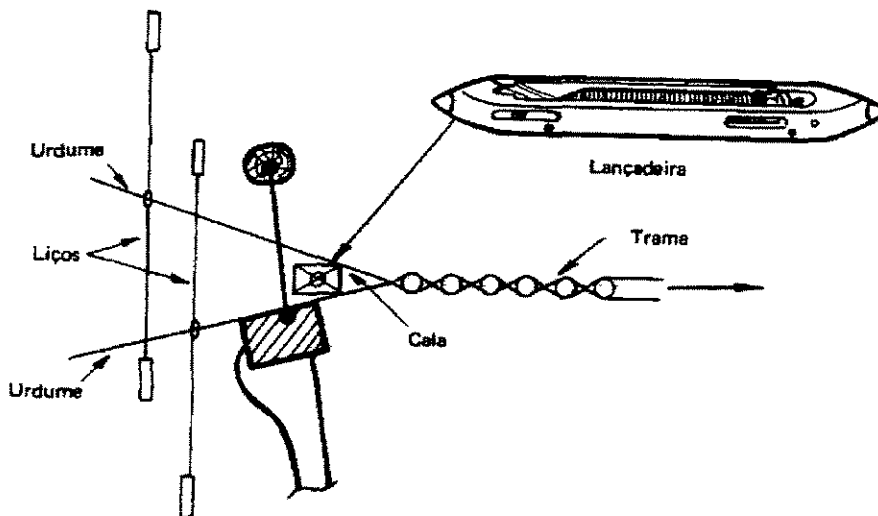


Figura 3.13 – Desenho esquemático do método de inserção por lançadeira

Fonte: RIBEIRO (1984).

O tear jato de água, um dos mais modernos utilizados no processo de tecelagem, é o único que gera despejos líquidos. O sistema de tecer desse tipo de equipamento, é baseado em um pequeno jato de água, de determinado valor de pressão, que leva o fio de trama, de um lado para outro, em alta velocidade.

3.3. Classificação dos tecidos

RIBEIRO (1984), comenta que após o entrelaçamento dos fios ou fibras, podem ser obtidos vários tipos de tecidos dependendo do método de fabricação utilizado. Esse entrelaçamento para obtenção dos tecidos utiliza processos distintos, os quais servem como métodos de classificação. Assim, tem-se:

- a) os obtidos pelo entrelaçamento de fios. Como os tecidos de malha (FIG. 3.14 b), rendas e brim (FIG. 3.14 a);

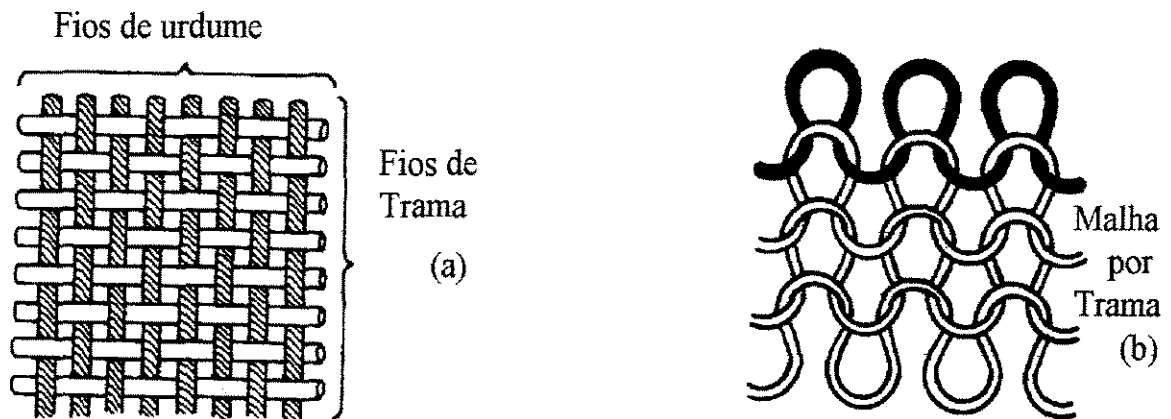
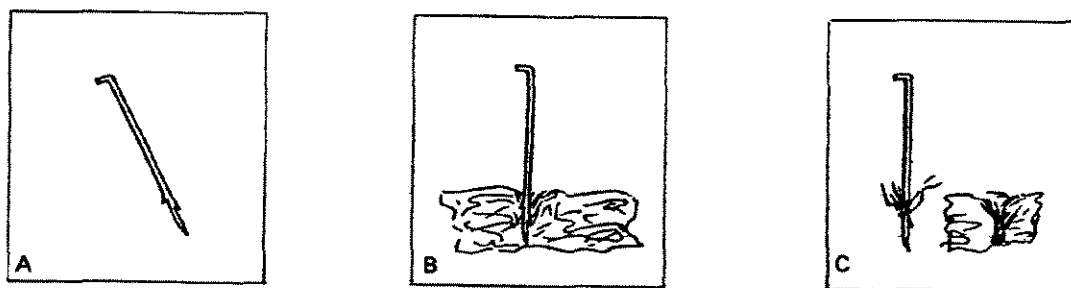


Figura 3.14 – (a e b) Entrelaçamento de fios

Fonte: RIBEIRO (1984)

- b) os de fibras entrelaçadas, que são dispostas em camadas e sofrem o processo de agulhamento. O entrelaçamento é efetuado pela introdução de agulhas farpadas entre as camadas, iniciado pela parte superficial, forçando as fibras para o interior do véu de fibra, conforme ilustração da FIG. 3.15. Os não tecidos e feltro de lã são exemplos dessa metodologia;
- c) os formados a partir de ações de materiais adesivos ou fusão de fibras, como os tecidos folheados;
- d) os que apresentam estrutura semelhante à do papel, que têm sua origem a partir de soluções de fibras têxteis. Podem ser citados como exemplo os laminados e filmes.



A- Agulha farpada
B- As farpas das agulhas começam a introduzir as fibras da superfície superior
C- Agulha farpada com fibras

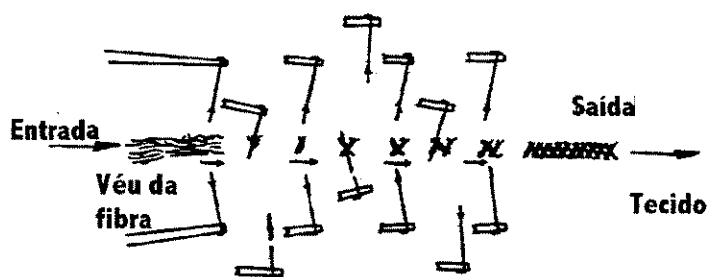


Figura 3.15 – Ilustração do processo não tecido, mostrando a ação das agulhas na massa de fibras.
 Fonte: RIBEIRO (1984).

3.4. Tipos de processo de beneficiamento e acabamento de fios e tecidos

Segundo BRAILE e CAVALCANTI (1993), as empresas do ramo têxtil, podem ser agrupadas em três categorias principais. As que produzem tecidos de algodão, de lã, e sintéticos. Através de modificações obtidas a partir das fibras naturais (lã e algodão) são obtidas as fibras artificiais. No Brasil são fabricadas as seguintes fibras artificiais: raiom viscose, raiom

acetato e polinósica. As fibras sintéticas são produzidas a partir de compostos químicos tais como: poliamidas, poliacrílicos, poliésteres, polivinílicos e poliolefinas.

De acordo com BRESAOLA (1983), o setor têxtil utiliza fibras naturais e / ou sintéticas para produção do material final (fios e tecidos), com os mais diferenciados acabamentos. No Brasil, em particular, grande parte das fábricas processam as fibras em seu estado natural, não produzindo despejos líquidos (fiação e tecelagem). As que são geradoras de despejos líquidos, fazem o beneficiamento e acabamento de tecidos, realizando os trabalhos de branqueamento, lavagem, engomagem, tingimento e estampagem.

No presente trabalho estar-se-á delimitando como objeto de estudo a análise do processo de industrialização das fibras de algodão e/ou fibras sintéticas, devido à popularidade e baixo custo dessas fibras.

3.4.1. Descrição do processo de beneficiamento e acabamento de tecidos

BRESAOLA (1983), comenta sobre a existência de grande variação de qualidade e quantidade dos despejos provenientes dos processos têxteis, tornando extremamente difícil o tratamento desses despejos sem um sistema de equalização.

Os processos de industrialização das fibras naturais e / ou sintéticas seguem em geral, como os apresentados no fluxograma da FIG. 3.16, sendo composto das seguintes etapas principais:

- a) tingimento de fios: o processo consiste em ferver os fios que estão acondicionados em rolos ou em bobinas em solução de soda cáustica e detergente (cozimento). Em seguida, o material é lavado em água corrente;

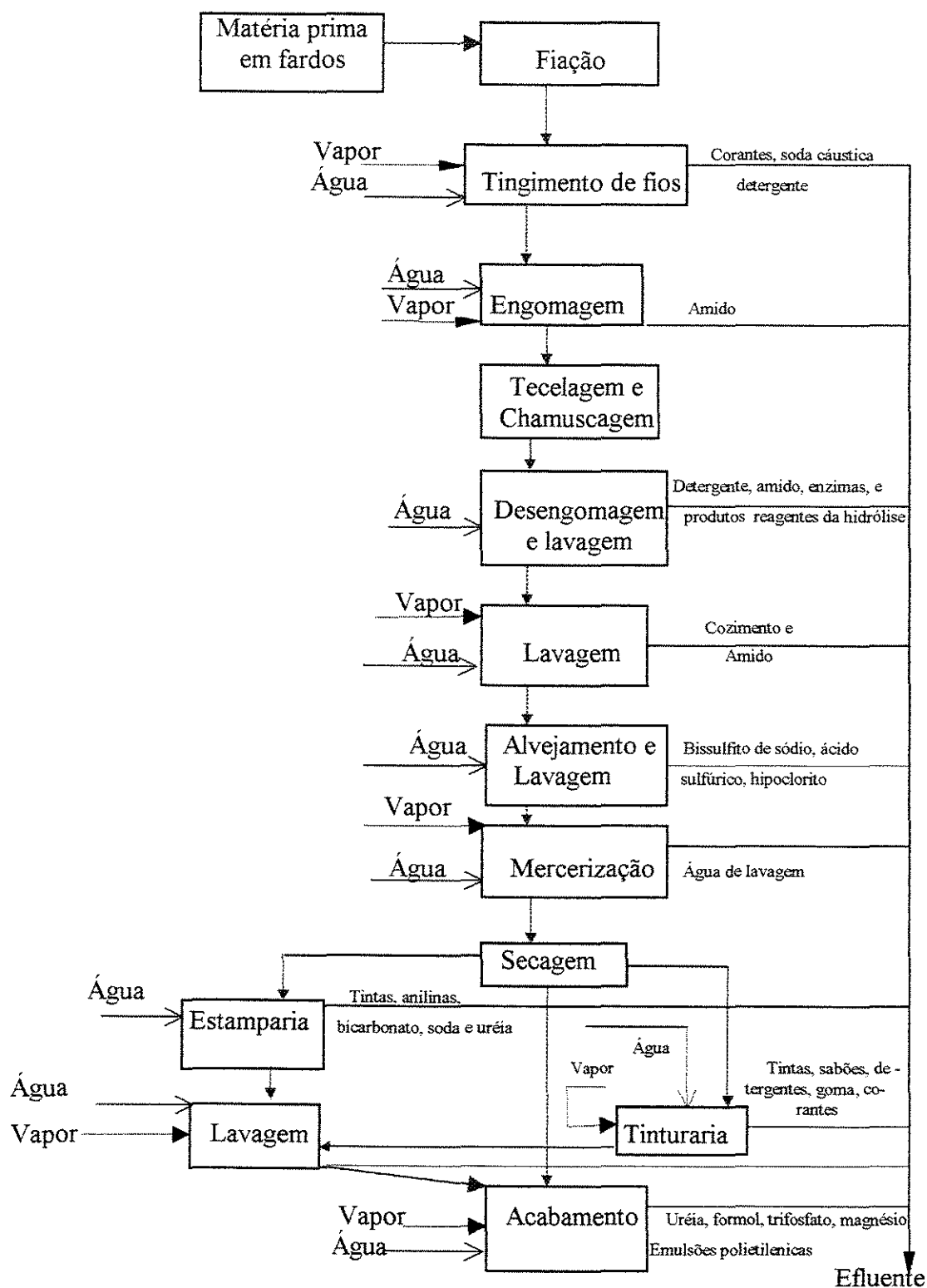


Figura 3.16 – Fluxograma esquemático do processamento de fios e tecidos de algodão.

Fonte: BRAILE e CAVALCANTI (1993).

- b) após a lavagem, sofre processo de tingimento, mergulhado em soluções contendo corantes. A FIG. 3.17, ilustra uma autoclave, onde as bobinas de fios, encontram-se dispostas para serem introduzidas no equipamento para o início do processo. Esse equipamento é adaptável para beneficiar fios na forma de meadas, bobinas e rolos de urdume. A circulação do banho com corantes ocorre de dentro para fora e de fora para dentro das bobinas, de forma a permitir um tingimento uniforme. Após o processo, as bobinas de fios vão para a tecelagem, e os rolos de urdume seguem para o setor de engomagem ;

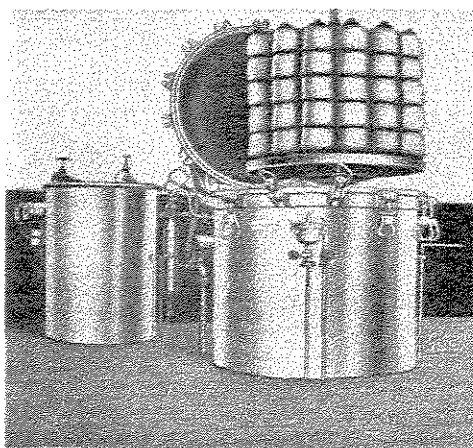


Figura 3.17 – Ilustração de uma autoclave para tingimento de fios e fibras.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

- c) engomagem: os rolos de urdume contendo fios crus, passam inicialmente por uma solução de goma fervida (amido de milho, fécula de mandioca), para ficarem protegidos, aumentar sua resistência e diminuir o atrito, pois na etapa de tecelagem os fios são excessivamente solicitados. Após essa operação, os rolos engomados seguem para a tecelagem. Os efluentes líquidos são gerados através da lavagem dos equipamentos e são constituídos de soluções de amido de milho ou fécula de mandioca, tendo DBO segundo a EPA (1974), na faixa de 620 a 2.500 mg/L e valores de pH variando entre 7 e 9,5 para fios de algodão. A FIG. 3.18 ilustra o percurso dos fios crus, passando pela caixa de goma, onde são imersos. Após esta operação, passam entre os rolos espremedores para retirada do excesso de goma. Na seqüência sofrem o processo de secagem, através do contato com tambores aquecidos, ficando os fios engomados e secos. Em seguida, são separados em

camadas, passando pelo pente extensível, para finalmente serem acondicionados em rolos de urdume, que serão utilizados nos teares;

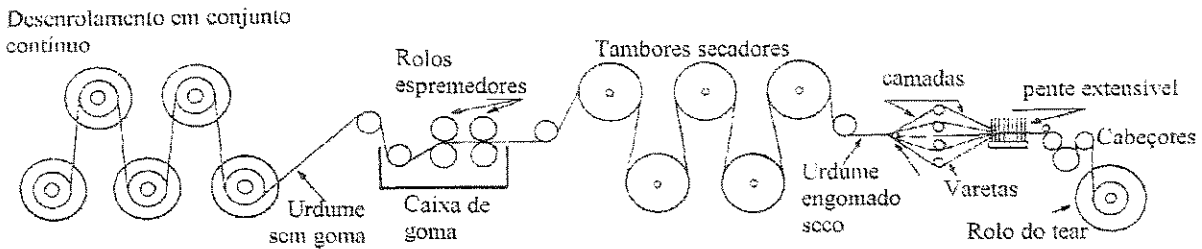


Figura 3.18 – Desenho esquemático do percurso dos fios no processo de engomagem da teia.

Fonte: ARAÚJO e CASTRO (1987).

- d) **tecagem e chamuscagem:** os fios de urdume são entrelaçados com os fios da trama e transformados em tecidos. Não há geração de despejos líquidos para uma tecagem que utiliza teares convencionais (FIG. 3.9 e 3.12), porém, se os mesmos forem impulsionados a jatos de água, ocorre a geração de efluentes líquidos. Após a sua fabricação, o tecido é passado sobre grelhas aquecidas a temperaturas controladas, de modo a só promover a queima dos fiapos (FIG. 3.19). Esse processo é denominado chamuscagem e segundo PACULDINO e SMITH (1997), os objetivos principais desta etapa se resumem em melhorar o brilho do tecido, reduzir o “pilling” (fiapos) e melhorar o toque;

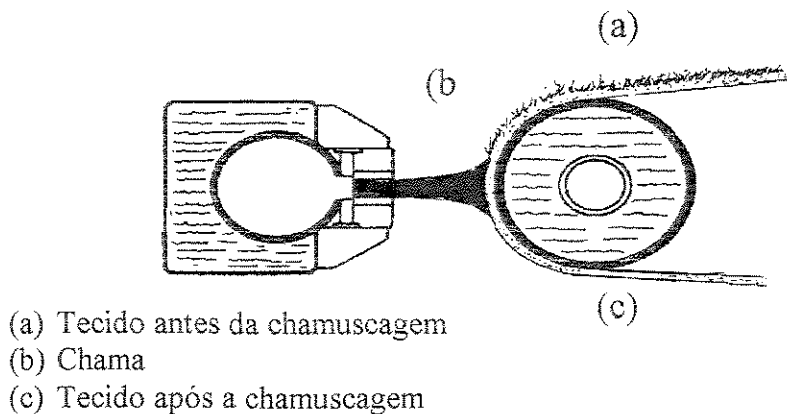


Figura 3.19 – Desenho esquemático da máquina chamuscadeira de tecidos.

Fonte: adaptado de ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

- e) a desengomagem e a lavagem: consistem em banhos sequenciais, de água à temperatura superior aos 120 °C, em solução de enzimas, detergentes alcalinos ou sabões e emolientes dissolvidos. Banham-se os tecidos com a intenção de remover as gomas pois, após um período de embebição que varia de 2 a 10 horas, as enzimas removem o amido. Na sequência o tecido passa por processo de lavagem. Os resíduos líquidos desta etapa, têm DBO na faixa de 1.700 mg/L a 6.200 mg/L, podendo contribuir com até 50 % da DBO total;
- f) cozimento e lavagem: o processo de cozimento usa vapor para aquecer a água em solução de soda cáustica, sabão e álcali. Segundo PACULDINO e SMITH (1997), esta etapa visa remover óleos e graxas, ceras, gorduras de fios e tecidos de algodão e sintéticos. Esse processo proporciona limpeza e hidrofilidade às fibras vegetais, além de clareá-las, podendo ser realizado em todas as máquinas abertas (Jiggers, Barcas, etc.), bem como em máquinas fechadas sob pressão (autoclave, turbos, Jets, etc.). Segundo a EPA (1974), os valores de pH dos despejos líquidos variam na faixa de 10 a 13 e a DBO entre 680 e 2900 mg/L;
- g) no alvejamento e lavagem, BRAILE e CAVALCANTI (1993), comentam sobre a utilização de água oxigenada e / ou, cloro, e / ou peróxido com a finalidade de se remover a cor natural das fibras. Segundo PACULDINO e SMITH (1997), os principais objetivos desta etapa são melhorar o brilho do tecido, proporcionar uma base para o tingimento e remover manchas. Conforme a EPA, para o alvejamento de tecidos de algodão, os despejos líquidos são alcalinos, com valores de pH variando entre 8,5 e 9,6;
- h) segundo BRAILE e CAVALCANTI (1993), na etapa de mercerização e lavagem, o tecido é embebido em solução de soda cáustica, sendo mantido esticado, e em seguida lavado em água com vapor. Os despejos gerados são contínuos e segundo a EPA (1974), quando não existe recuperador de soda, o valor do pH pode variar entre 10 e 14. Segundo ARAÚJO e CASTRO (1987), o processo descontínuo de mercerização consiste em passar o tecido de um rolo (superior) para outro (inferior) passando por uma solução de soda cáustica (FIG. 3.20 a). Após essa operação o tecido é transferido para o rolo inferior (FIG. 3.20 b), sendo em seguida esvaziada a

bacia com solução de soda. A seguir são feitos vários enxágües por meio de jato de água (FIG. 3.20 c e d);

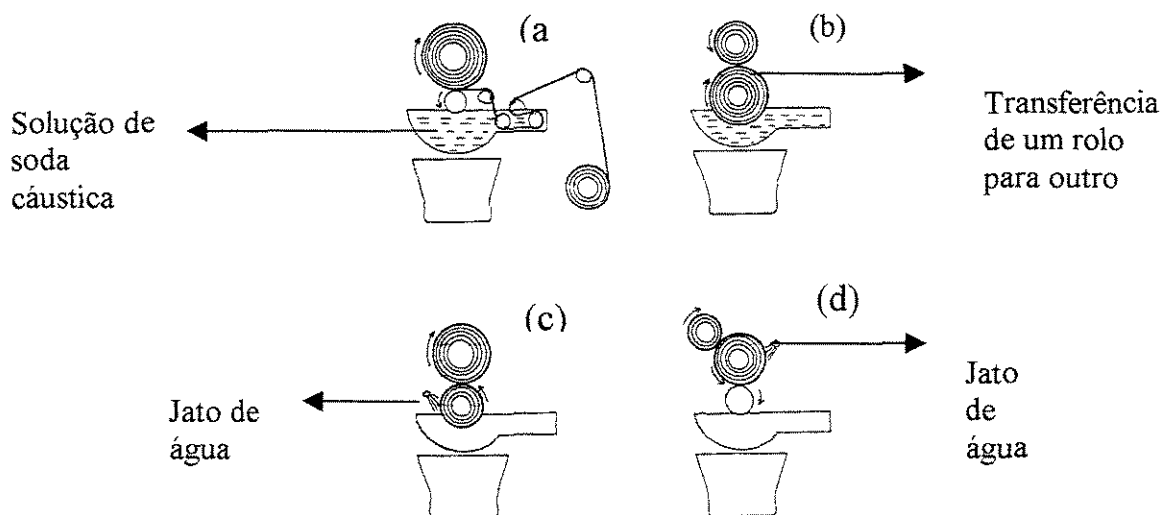
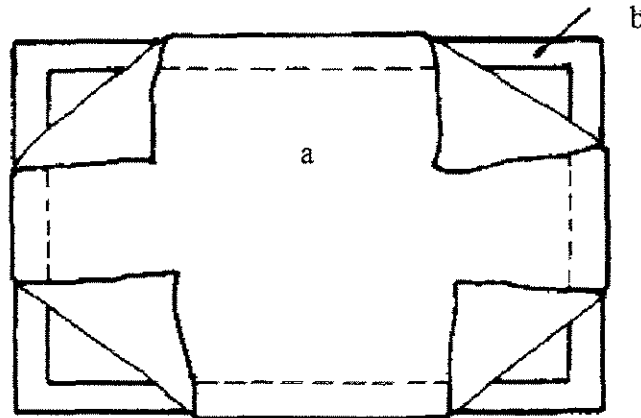


Figura 3.20 – Esquema do processo descontínuo de mercerização para tecidos planos.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

- i) secagem: as secadeiras são constituídas por cilindros aquecidos por vapor, por onde é passado o tecido, não ocorrendo geração de efluentes líquidos;
- j) estampagem: é a etapa do processamento de tecidos que tem a finalidade de imprimir desenhos coloridos, por meio de quadros ou cilindros gravados, através do qual os corantes reativos ou pigmentos são impregnados no tecido. Existem alguns métodos, entre os quais podem ser citados:
 - o processo manual a quadros, que consiste nas seguintes etapas:
 - a) confecção dos quadros, que são constituídos por molduras de metal ou madeira, de forma retangular ou quadrada, onde é fixado uma tela de seda, náilon ou poliéster (FIG. 3.21). Esta tela é preparada de modo a deixar a área referente ao desenho a ser impresso desobstruída. Ao mesmo tempo, as áreas não relacionadas ao desenho ficam obstruídas por resinas fotossintéticas;
 - b) instalação dos quadros na mesa de estampar, conforme ilustra a FIG. 3.22;
 - c) fixação do tecido na mesa de estampar;
 - d) espalha-se a pasta colorida no tinteiro do quadro;

- e) posiciona-se a rasqueta (régua) no tinteiro do quadro;
- f) movimenta-se a rasqueta até o lado oposto do tinteiro exercendo pressão sobre o quadro (FIG. 3.23);



(a) moldura

(b) quadro

Figura 3.21 – Desenho esquemático da colocação da tela no quadro de estamparia.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

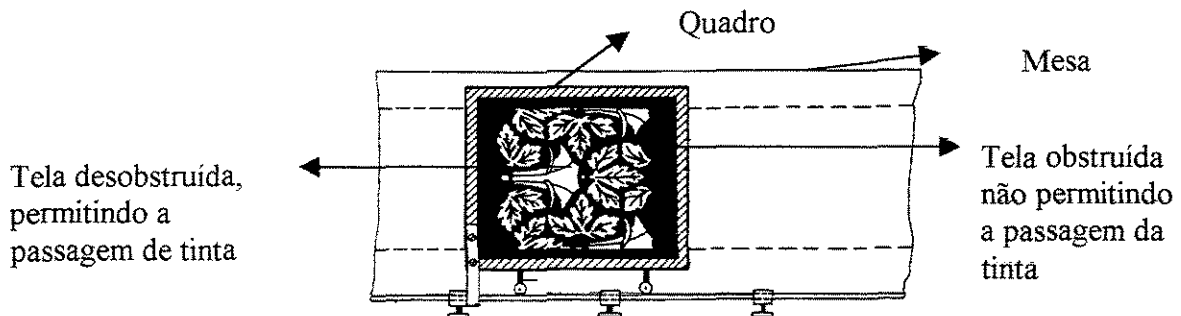


Figura 3.22 – Desenho esquemático do quadro instalado na mesa de estampar (vista em planta).

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

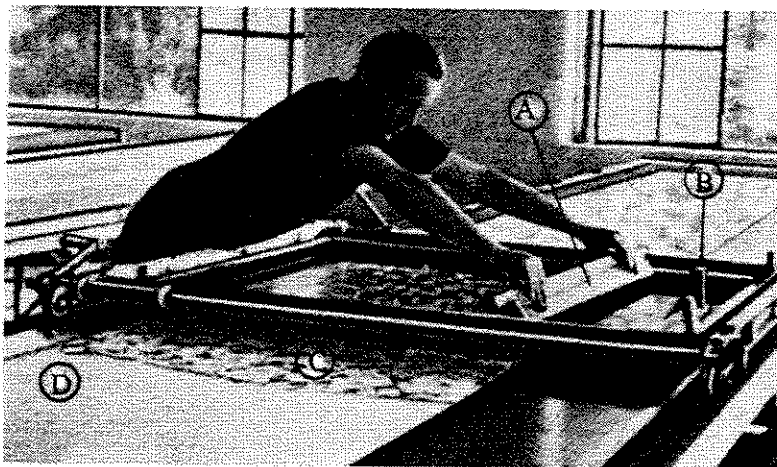
- g) A rasqueta é movimentada até a posição inicial. Com estes movimentos, ela força a saída da pasta colorida pelas áreas desobstruídas da tela, imprimindo assim no tecido.
- Através da máquina de estampar, ilustrada na FIG. 3.24, as operações do processo precedente são automatizadas. O tecido é colado sobre uma manta na máquina,

que se movimenta na medida do encaixe do desenho, enquanto os quadros permanecem estacionários. As etapas para esse processo são:

- a) os quadros abaixam, encostando no tecido;
 - b) cada quadro da máquina é alimentado com uma determinada cor;
 - c) as rasquetas se movimentam imprimindo a pasta no tecido;
 - d) os quadros levantam;
 - e) o tapete é puxado;
 - f) repete-se o ciclo.
- O processo de estamparia, que utiliza cilindros perfurados, é contínuo e se assemelha ao sistema de estampagem a quadros, sendo a tela substituída neste método por cilindros. Eles apresentam pequenos orifícios que variam em forma e quantidade. Os cilindros são montados sobre um tapete onde se assenta o tecido a ser impresso, permitindo o contato entre ambos. A pasta, que é alimentada automaticamente, e a rasqueta são colocadas dentro dos cilindros. Ela é forçada por eletromagnetismo contra o tapete. Ao ser acionada a máquina, o tapete se desloca, propiciando aos cilindros um movimento de rotação, fazendo com que a rasqueta force a saída da pasta, imprimindo no tecido. Após a impressão, este é passado por um sistema de secagem acoplado à máquina, que o puxa ocorrendo seu desprendimento do tapete. (FIG. 3.25).
 - Um outro método contínuo de estamparia, consiste em cilindros de cobre gravados em baixo relevo e dispostos ao redor de uma calandra (FIG. 3.26), forrada com um tecido grosso, conhecido como “lapping”. Sobre ele passa uma lona, e sobre ela um tecido cru, cuja finalidade é reter o excesso de tinta que atravessa o tecido estampado. Cada cilindro é montado junto a uma escova, e esta é acoplada dentro de uma caixa (tinteiro) contendo a pasta. Quando é iniciado o processo, as escovas transferem a pasta da caixa, para cilindros gravados. Encostada a estes, encontra-se uma rasqueta, que retira a pasta da superfície lisa, porém deixando a tinta nas ranhuras do cilindro. Como este é rígido e exerce forte pressão contra a calandra, acaba deixando a pasta colorida impressa no tecido. Após a impressão o cilindro passa por uma rasqueta com o objetivo de limpar a superfície do mesmo. Os

resíduos líquidos são gerados após a lavagem dos quadros e cilindros, contendo corantes, pigmentos, goma e soda cáustica;

- k) tinturaria: o tingimento é uma operação destinada a modificar a cor original dos tecidos de maneira uniforme. Pode ser efetuado de duas maneiras distintas:
- por esgotamento: onde são utilizadas máquinas que trabalham de forma descontínua, sendo o material têxtil beneficiado em quantidades limitadas (por partidas) numa única máquina. O processo se baseia, na desagregação do



A- Rasqueta, B- Quadro, C- Tecido estampado, D- Tecido liso

Figura. 3.23 – Ilustração de um homem trabalhando sobre uma mesa de estamparia.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

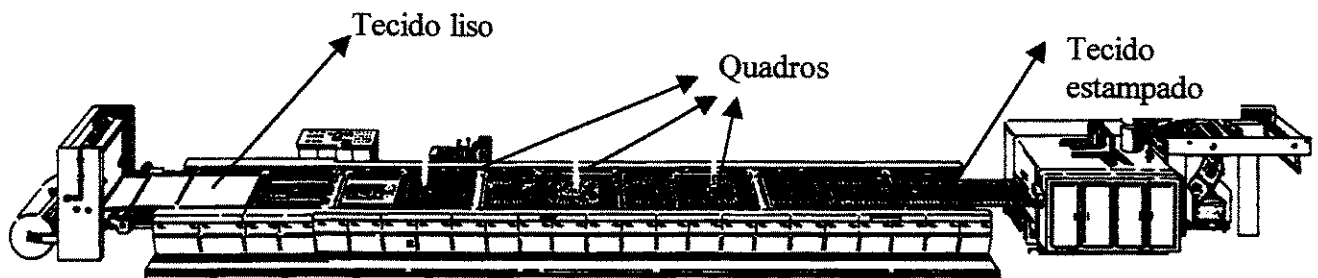


Figura 3.24 – Esquema da máquina de estampar a quadros automática.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

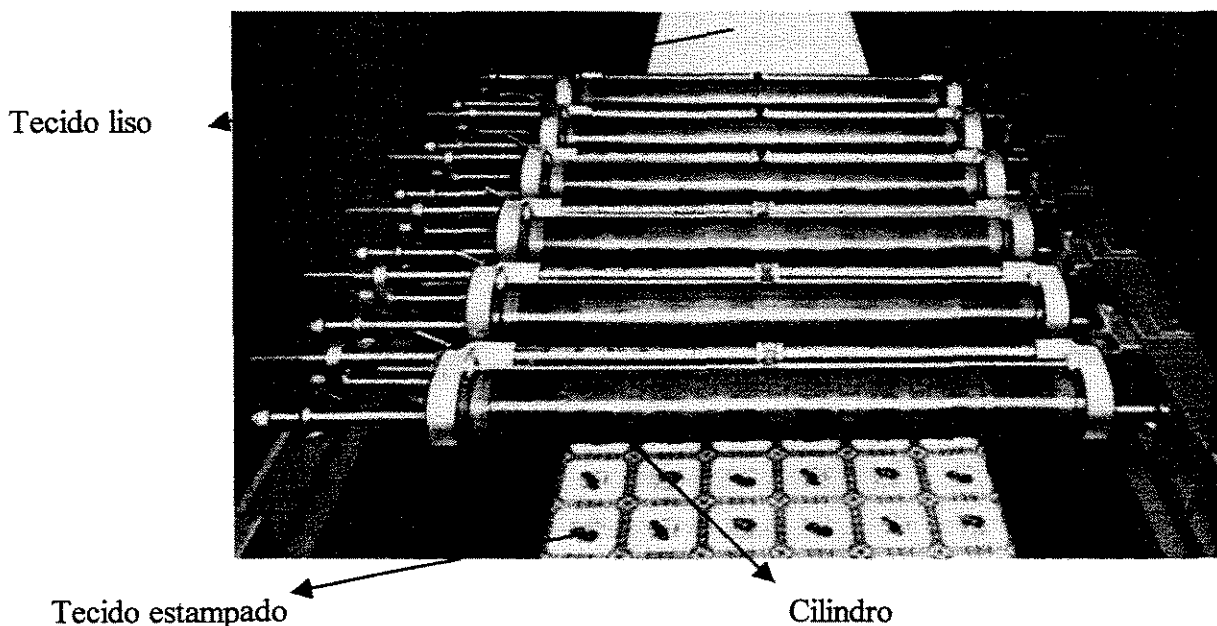


Figura 3.25 – Ilustração de uma máquina de estampar contínua por cilindros perfurados.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

corante e na utilização de produtos químicos auxiliares (agentes dispersantes, igualizadores, fixadores, ácidos, oxidantes, redutores, solventes orgânicos, sais, etc.), dispersos ou dissolvidos em água, através de agitação mecânica e a temperaturas variadas, ocorrendo então a difusão do corante no meio líquido. O contato da fibra com a solução ou dispersão de corante, acaba provocando a absorção do mesmo pela fibra, ocorrendo assim a coloração do tecido. No final de cada etapa, o banho é esgotado, e um novo banho é introduzido no equipamento para a etapa seguinte, ou seja um banho para a fase de tingimento, um para a fase de fixação, outro para a lavagem. Pode ser citado como exemplo de máquina descontínua os “jiggers”, ilustrado na FIG. 3.27 a, onde o tecido é transferido de um rolo para outro, atravessando nesse percurso o banho a temperaturas variadas, com solução ou dispersão de corantes e produtos auxiliares, sendo necessárias várias passagens do tecido em ambos os sentidos (da esquerda para a direita, da direita para a esquerda). A FIG. 3.27 b, mostra o desenho esquemático do corte de um “jigger”;

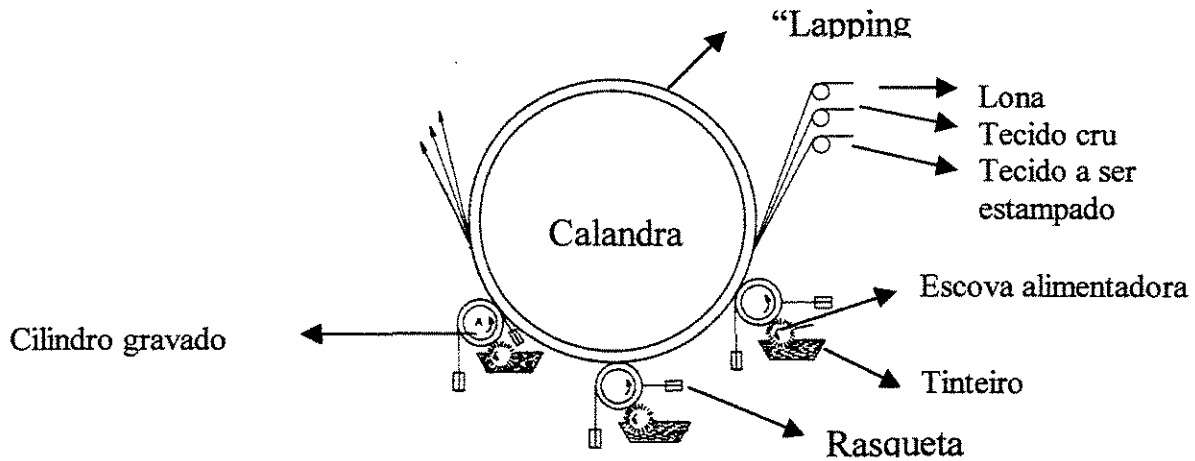


Figura 3.26 – Desenho esquemático do processo de estamparia por cilindros de cobre

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

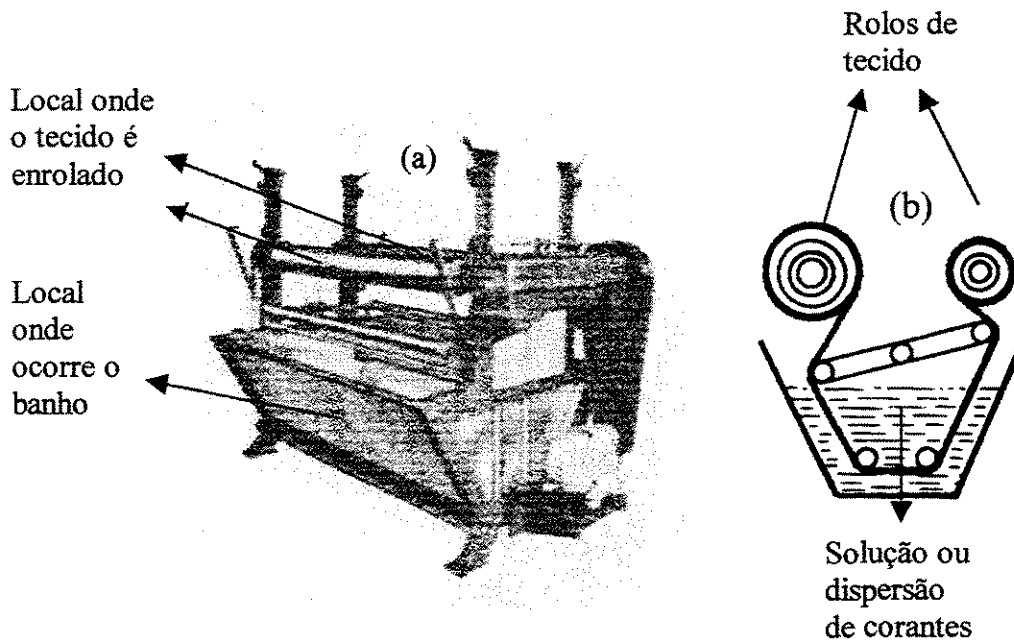


Figura 3.27 - (a, b) Ilustração do equipamento denominado “jigger”(a) e corte esquemático (b)

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

- por impregnação: esse processo tem como princípio a embebição do tecido com a solução ou dispersão de corantes, a temperaturas variadas, sendo espremido em seguida. A máquina que realiza essa operação é denominada “foulard”, ilustrada na FIG. 3.28, e se constitui de um balseiro, onde a solução ou dispersão fica depositada, e também por rolos espremedores revestidos de borracha exercendo

pressão sobre o tecido. O balseiro deve permitir a impregnação uniforme do tecido. Quando o método é empregado em máquinas semi-contínuas, cada etapa é realizada em uma máquina distinta. Quando a etapa é finalizada ocorre uma interrupção, para que seja efetuada a transferência do tecido para outro equipamento (por exemplo: “foulard” – “jigger”). Esse método executado em máquinas contínuas, ocorre com a passagem do tecido por vários equipamentos, sendo cumpridas várias etapas, sem que ocorra interrupção, como a “foulardagem”, vaporização, caixa de lavagem, ilustradas na FIG. 3.29. Os despejos líquidos na etapa de tingimento são variados devido aos diferentes tipos de produtos utilizados;

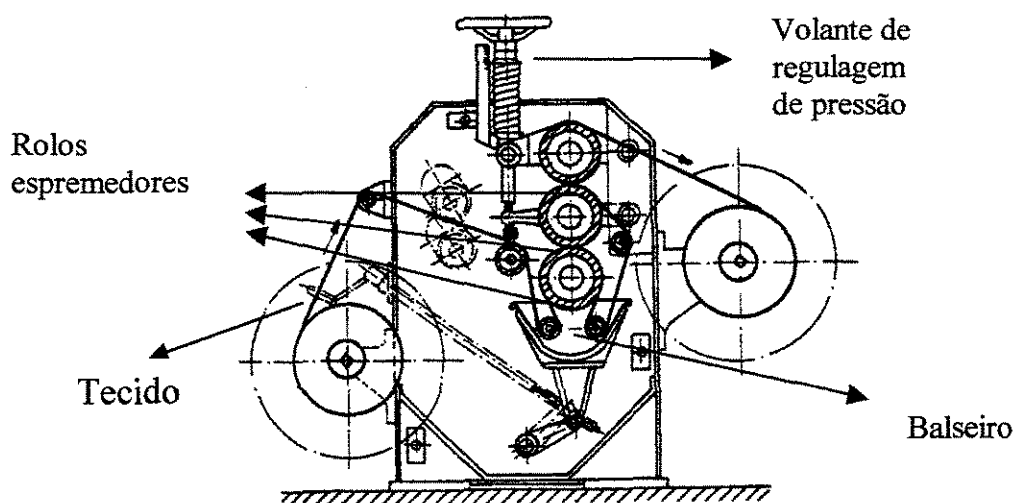
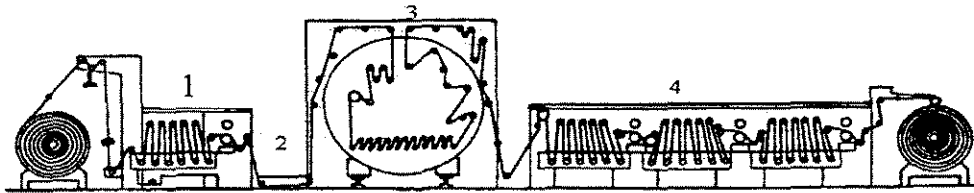


Figura 3.28 – Desenho esquemático de uma máquina de tingimento semi-contínuo denominada “foulard”.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

- 1) lavagem: Após a estampagem e tingimento, os tecidos são destinados ao acabamento. Ocorre um primeiro banho para remover parte do excesso de corante e pigmento. Após essa remoção, o tecido é submetido a um banho a quente com detergente, removendo parte do corante e pigmentos não fixados, sendo ainda enxaguado para remoção final de corantes e pigmentos não fixados, e do detergente utilizado no ensaboamento. Os despejos líquidos desta etapa possuem volumes elevados chegando, segundo a CETESB (1991), a 20% da geração total de resíduos

líquidos. As primeiras etapas de lavagem possuem concentrações maiores que as posteriores, em função do excesso de goma, corantes, pigmentos e outros produtos químicos;



- 1- Caixa de impregnação, com solução ou dispersão de corante
- 2- Foulardagem
- 3- Sistema de vaporização
- 4- Caixas de lavagem

Figura 3.29 – Desenho esquemático de um sistema de máquinas de tingimento contínuo.

Fonte: ANDRADE FILHO e SANTOS (1987).

m) acabamento: fase final do processamento de tecidos e consiste na aplicação de resinas e gomas que são fixadas sob temperaturas controladas, para dotar o tecido de toque especial de acordo com cada artigo produzido. Os despejos líquidos dessa fase podem conter uréia, formol, trifosfato, amido, estearato, óleos, emulsões de resinas polivinílicas e sais de magnésio em quantidades diversas.

Conforme CETESB (1991), com o desenvolvimento de novos reagentes, processos, maquinarias, técnicas, devido às variações sazonais e da moda, os despejos líquidos gerados, variam em qualidade e quantidade.

O fluxograma da FIG. 3.30 tem início com a tecelagem, seguido pelo processo de chamuscagem. Normalmente é a primeira etapa do processo de acabamento. O tecido passa transversalmente em alta velocidade por uma grelha com chama para queimar as penugens (fibras soltas), que estão na superfície do tecido.

A seguir é feito a desengomagem. Nela o tecido é banhado continuamente por uma solução com agente desengomante (enzima, ácido, detergente, etc.), tornando a goma

A FIG. 3.30 apresenta um fluxograma mostrando os processos de acabamento de tecidos de algodão 100 % e mistos de algodão e sintéticos.

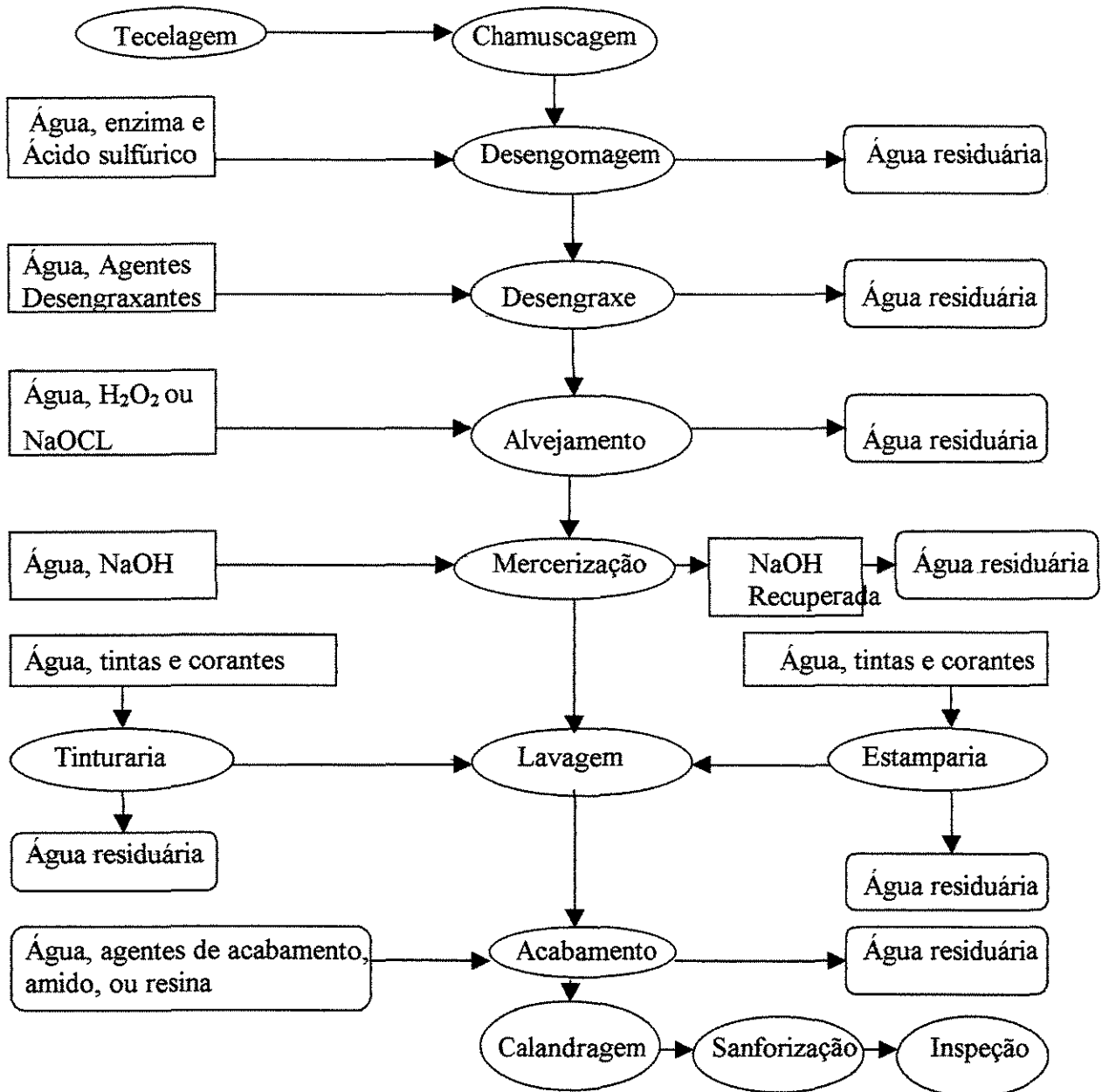


Figura 3.30 – Fluxograma do processo de acabamento de tecidos de algodão e mistura de algodão e fibras sintéticas.

Fonte: adaptado de TEXTILE ...(1975)

(amido, PVA, CMC) aplicada no tecido, solúvel em água, facilitando a sua remoção. Esta etapa pode ser feita pelo método de esgotamento ou por impregnação, já descritos anteriormente. A goma é então removida em uma lavagem com água.

O processo seguinte é o desengraxe. Nele o tecido é armazenado e fervido em solução de soda, por tempo variado, dependendo do tipo do mesmo. Este processo remove a maior parte das impurezas que ainda restam no tecido (ceras, graxas, gorduras) que dificultam, por repelência, o beneficiamento a úmido.

Após o desengraxe o tecido sofre o alvejamento, objetivando conferir-lhe brancura, sendo utilizado como alvejante químico o hipoclorito de sódio ou o peróxido de hidrogênio. Esta operação pode ser realizada por esgotamento ou por impregnação, a temperaturas e tempos variados.

Na fase de mercerização alguns tecidos de algodão sofrem banhos de solução cáustica concentrada, ocorrendo uma expansão na fibra e aumentando o brilho, tornando-os mais suscetíveis ao processo de tingimento. Esse processo é realizado em barcas e / ou em “jiggers”.

Após o tingimento é feita uma lavagem para remoção do excesso de tinta. A seguir é colocado na máquina de estampar. Muitos tipos de corantes e pigmentos são utilizados nesta etapa.

Na sequência o tecido sofre o acabamento na rama. Essa máquina, tem como finalidade secar e fixar os corantes, pigmentos e produtos auxiliares, utilizados para o beneficiamento dos tecidos nas etapas anteriores. Este é então passado na calandra, que é composta de vários rolos, de várias larguras, sob pressão e a temperaturas variadas, com o objetivo de alisar a superfície do tecido (efeito similar ao ferro de passar roupa), aumentando o brilho e melhorando o seu aspecto.

Alguns recebem ainda um tratamento nas fibras, para que as mesmas não encolham. Essa etapa é denominada sanforização. O processo é baseado na passagem do tecido

previamente umedecido, por um sistema que o obriga a comprimir-se. A FIG. 3.31 ilustra a passagem do tecido pela tela de borracha, sofrendo um alongamento (FIG. 3.31 a). Após o alongamento este é obrigado a comprimir-se (FIG. 3.31 b) ao passar entre a tela e o cilindro (FIG. 3.31 c).

Após esse processo o mesmo é encaminhado para as secadeiras. Finalmente, na etapa de inspeção ocorre uma verificação final, seguida de empacotamento e o envio à expedição.

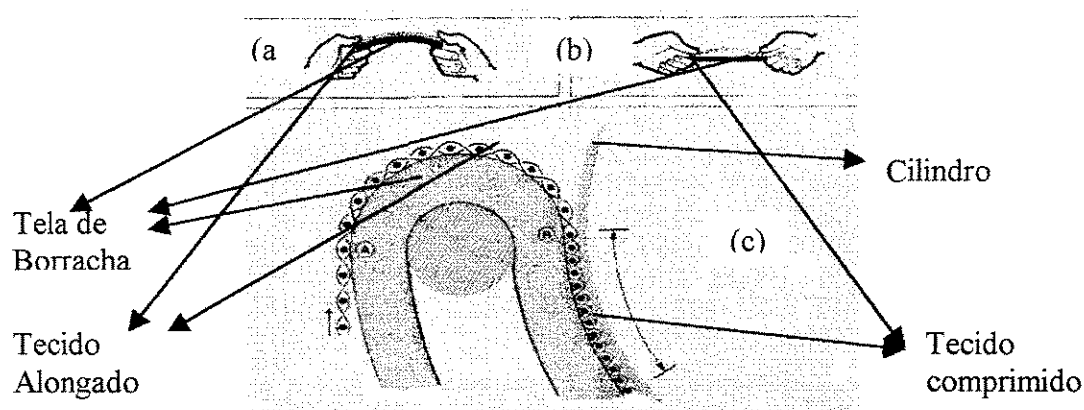


Figura 3.31-(a, b e c) Desenho esquemático do método de sanforização.

Fonte: ARAÚJO e CASTRO (1984).

3.4.2. Consumo e qualidade da água nos processos industriais têxteis

As indústrias têxteis, quando não se abastecem das redes públicas, normalmente fazem a captação de água bruta de rios, lagos, açudes e poços freáticos e após tratamento adequado, a utilizam nos diversos processos de beneficiamento de tecido.

Segundo ECKENFELDER citado por BOTELHO (1983), a água requerida para os processos têxteis deve atender dentre outros, os dados conforme a TAB. 3.4.

Tabela 3.4 – Valores máximos dos parâmetros de qualidade recomendados para a água utilizada nos diversos processos têxteis.

Parâmetros							
(*) pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L de Ca CO ₃)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SST (mg/L)
6-8	5	5	25	100	0,1	0,1	5

Fonte: BOTELHO (1983).

(*) Faixa de valores recomendados.

Segundo a EPA (1992), para a indústria têxtil as águas usadas na fabricação de tecidos, não podem ser turvas. Conseqüentemente, deverão ter baixos índices de turbidez, cor, ferro, e manganês. A dureza pode causar incrustações nos dutos, equipamentos, bem como, depositar-se nos tecidos, podendo ainda, causar problemas em alguns processos que usam sabão ou detergente.

O reuso de água em processos industriais depende de cada tipo de indústria. Por exemplo, a indústria de eletrônicos requer qualidade semelhante à da água destilada, devido à necessidade de lavagem de placas de circuito e outros componentes. Por outro lado, para indústria de curtume, essa exigência não se aplica. A TAB. 3.5 apresenta dados sobre a qualidade requerida para alguns tipos de indústrias. A TAB. 3.6 resume algumas das preocupações sobre a qualidade da água para reuso industrial e apresenta os processos de tratamento em potencial.

Conforme CETESB (1991), o consumo de água industrial no setor têxtil é diversificado para os vários setores de produção de fios e tecidos. Pode ser observado na TAB. 3.7, os valores do consumo específico para os diversos tipos de indústria, e na TAB. 3.8, os valores médios de efluentes líquidos gerados por uma indústria de processamento de tecidos de raio / viscose, algodão, poliéster / algodão e poliéster / náilon.

Pode ser verificado através dos dados da TAB. 3.9, diferenças acentuadas nos vários tipos de indústria. Segundo HART (1994) esta discrepância se deve ao fato de que

algumas empresas dispõem de água em abundância e a baixo custo, enquanto outras estão em regiões em que há escassez e custo elevado. Na Alemanha uma tinturaria utiliza em média 80 L/kg de malha beneficiada enquanto na América Latina, chega-se a 150 L/kg, utilizando o mesmo substrato ou seja 100% algodão, corantes reativos do mesmo fabricante e equipamentos de tecnologia similar, com controladores automáticos.

Tabela 3.5 –Valores máximos recomendados dos parâmetros de qualidade da água para diversos processos industriais.

Parâmetros (mg/L)	Tipo de Indústria							
	Papel e Celulose			Química	Petróleo e carvão	Têxtil		Cimento
	Amassamento mecânico	Químico, não Alvejado	Papel e celulose, Alvejado			Engomagem	Purga, Alveamento e tingimento	
Cu					0,05	0,01		
Fe	0,3	1,0	0,1	0,1	1,0	0,3	0,1	2,5
Mn	0,1	0,5	0,05	0,1		0,05	0,01	0,5
Ca		20	20	68	75			
Mg		12	12	19	30			
Cl	1000	200	200	500	300			250
NO ₃				5				
SO ₄				100				250
SiO ₂		50	50	50				35
Dureza CaCO ₃		100	100	250	350	25	25	
Alcalinidade CaCO ₃				125				400
SDT				1000	1000	100	100	600
SST		10	10	5	10	5	5	500
Cor (uH)	30	30	10	20		5	5	
pH	6-10	6-10	6-10	6,2-8,3	6-9			6,5-8,5

Fonte: Adaptado da EPA (1992).

(*) Faixa de valores recomendados

Tabela 3.6 – Problemas relacionados com a presença de algumas impurezas, quando do reuso de água e tratamentos recomendados.

Parâmetro	Problema	Processo de Tratamento avançado
Residual Orgânico	Crescimento bacteriano, formação de limo/incrustações, espuma na caldeira	Nitrificação, adsorção por carvão, troca iônica
Amônia	Interfere com a formação de cloro residual livre, causa problemas de corrosão em ligas de cobre, estimula o crescimento microbiano	Nitrificação, troca iônica,
Fósforo	Formação de incrustação	Precipitação química, troca iônica, remoção biológica do fósforo
Sólidos em suspensão	Deposição, semente para crescimento microbiano	Filtração
Cálcio, magnésio e ferro	Formação de incrustações	Abrandamento químico, precipitação e troca iônica

Fonte: EPA (1992).

Tabela 3.7- Consumo específico de água para os diversos tipos de indústrias têxteis.

Processo	Lã beneficiamento	Lã acabamento	Fiação e tecelagem (algodão, algodão/poliéster, algodão/viscose)	Tinturaria (algodão, algodão/poliéster, algodão/viscose)	Malharia (algodão, náilon)	Tinturaria de fios (algodão, algodão/poliéster, náilon, poliéster)
Consumo de água (m ³ /ton.)	35,92	334,20	12,53	112,79	150,39	150,39

Fonte : Adaptado de TEXTILE...(1975).

Tabela 3.8 – Porcentagem do volume de efluentes líquidos gerados em diversos processos de uma indústria têxtil.

Origem dos despejos	Porcentagem
Tingimento de fios	1,17
Engomagem	0,06
Desengomagem e lavagem	12,61
Cozimento e lavagem	17,51
Alvejamento e lavagem	25,21
Mercerização e lavagem	15,13
Estampagem	8
Tingimento	0,54
Lavagem (ensaboadeira)	19,70
Caldeira (descarga de fundo)	0,07
Total	100

Fonte: Adaptado de BRAILE e CAVALCANTE (1993).

Tabela 3.9 - Consumo médio de água, para diversos tipos de tingimento.

Tingimento	Consumo médio L/kg produzido	Amplitude da taxa de uso (L/kg)
Fios acrílicos e náilon	130	80-170
Fios acrílicos, náilon e algodão	180	130-350
Malha de algodão	120	80-160
Malha de algodão e poliéster	110	90-170
Tecido plano de algodão	110	85-130
Tecido plano de seda e viscose	100	80-150

Fonte: HART (1994).

GRAU (1991), estudando o consumo de água, concluiu que o mesmo é específico para cada tipo de material e técnica utilizada no processamento, como pode ser observado nos dados da TAB. 3.10. Geralmente os processos de fabricação por batelada consomem mais água do que os processos contínuos. A TAB. 3.11 oferece condições de comparação. Enquanto no processo de tingimento da lã por batelada, na abertura dos vasos é requerido em média 120 m³/ton.

de produto, no processo contínuo, esse valor cai para 5 m³/ton. Várias medidas vêm sendo adotadas pelas indústrias, originando princípios para o gerenciamento da água, contribuindo para a economia e até mesmo para a diminuição da carga poluidora dos efluentes. São elas:

- a) a reciclagem direta da água nos vários processos produtivos;
- b) a reciclagem de efluentes após tratamentos intermediários;
- c) a reciclagem de efluentes após tratamento final;
- d) o reuso de efluente industrial;
- e) a substituição da água por solventes que podem ser regenerados;
- f) a crescente afinidade das fibras para com os auxiliares têxteis (agentes dispersantes, igualizadores, fixadores, ácidos, oxidantes, redutores, solventes orgânicos, sais, corantes, retardantes, agentes amaciantes, catalisadores);
- g) a melhora da remoção ou degradabilidade de auxiliares e outros produtos químicos;
- h) a minimização da salinidade dos despejos líquidos.

A EPA (1974), cita algumas medidas que podem ser adotadas para reduzir o desperdício no uso da água, gerando um volume menor de efluentes líquidos. São elas:

- a) o fechamento de válvula dos equipamentos que não estão sendo utilizados;
- b) a substituição das válvulas comuns por automáticas;
- c) o fornecimento do volume mínimo de água para cada etapa do processo;
- d) a modulação do uso da água em função dos produtos fabricados;
- e) a recuperação de água de resfriamento após a passagem da mesma por uma torre de resfriamento. Reuso em processos, onde não seja requerido água potável;
- f) água tratada quimicamente para reuso, onde por exemplo, o efluente da estamparia pode ser clarificado e retornado para lavar os quadros e telas da máquina de estampar;
- g) o retorno do vapor condensado.

A CETESB (1991), comenta sobre medidas que podem ser adotadas para a redução do volume final de despejos líquidos no processamento de tecidos, trazendo, muitas vezes, vantagens econômicas. Como exemplo cita que nos processos descontínuos, a água

utilizada na rinsagem dos tecidos, após o tingimento, pode ser reusada como solução de tingimento; e que no processo de mercerização, que utiliza água com valor de pH elevado, a água de lavagem, pode ser utilizada como solução de limpeza e branqueamento com compostos de cloro. As TAB. 3.10 e 3.11 contêm valores específicos de consumo de água para o processamento da lã e do algodão.

Tabela 3.10 - Consumo de água no processamento da lã.

Processo	Consumo específico de água (L/kg)
Desengraxe	20-60
Carbonização	20-35
Alvejamento	120-200
Tingimento	4-300
Enxágüe	30-150
Estampagem	280-520

Fonte: GRAU (1991).

Tabela 3.11 - Consumo de água no processamento do algodão.

Processo	Sistema	Consumo de água (L/kg)
Alvejamento	Batelada	160 – 220
	Contínuo	15 – 35
Mercerização	Batelada	120 – 220
	Contínuo	7 – 15
Tingimento	Batelada	60 – 80
	Contínuo	12 – 15
Estamparia		15 – 25

Fonte: Adaptado de GRAU (1991).

Segundo a CETESB (1991), com relação aos produtos químicos, há necessidade de limitar o seu uso, dependendo da concentração e do tipo de agente, no processamento de tecidos, pois são responsáveis por 90 % da carga poluidora. Usualmente as empresas buscam produtos que possam proporcionar a redução da carga orgânica no efluente líquido, ou a sua

reutilização. Como exemplo cita a soda cáustica, utilizada no processo de mercerização do algodão. Segundo a TEXTILE...(1975), os sistemas de recuperação de soda cáustica são freqüentemente usados em muitas fábricas de acabamento, no processo de mercerização. A recuperação normalmente é realizada com separação do resíduo líquido (solução a 4% de NaOH), sendo submetido à centrifugação ou filtração, para separação da parte sólida, seguido de um processo de evaporação, de tal modo a elevar a concentração da solução para 25%. As reduções da carga poluidora na geração deste resíduo líquido, utilizando este sistema, podem chegar em até 20 % da DBO, 40% de SST, e um decréscimo no valor do pH. Outro exemplo é a recuperação do solvente utilizado para remoção de óleos e ceras, nos processos finais de limpeza do tecido de algodão ou sintéticos.

Segundo a CETESB (1991), outra forma de se reduzir o uso dos auxiliares químicos é verificar a possibilidade de modificar o processo de fabricação e como exemplo cita a utilização de máquinas de tingimento contínuo, que comparado com a utilização de máquinas de tingimento por esgotamento, é mais econômico. Ainda, segundo o autor, pode ser conseguida uma diminuição da carga orgânica em até 10%, com uma política de boa manutenção em máquinas e equipamentos.

3.4.3. Qualidade dos efluentes líquidos gerados na indústria têxtil

Segundo NICOLAU e HADJIVASSILIS (1992), o processo industrial têxtil requer o uso de vários tipos de compostos tais como corantes, ácidos, bases, sais, detergentes, agentes umectantes, engomantes, oxidantes, mercerizantes e de compostos químicos de acabamento. Muitos desses produtos não são incorporados aos artigos produzidos, e são eliminados juntamente com os despejos líquidos podendo, ao longo do tempo, prejudicar o meio ambiente se não houver um tratamento adequado dos mesmos.

ALTINBAS et al. (1994), comentam sobre os descartes de águas residuárias contendo grandes quantidades de produtos químicos orgânicos e inorgânicos, e tipicamente colorido devido à tinta residual dos tecidos. A equalização e a homogeneização, são geralmente as etapas preliminares do tratamento dos efluentes líquidos têxteis, pois a composição dos efluentes gerados em diferentes fases dos processos é variável. Os métodos tradicionais de tratamento são: coagulação química, floculação, decantação, filtração e recentemente o tratamento biológico. Os tratamentos físico-químicos e biológicos são utilizados em conjunto com sucesso na remoção de cor e sólidos orgânicos dissolvidos. A coagulação química pode usar o sulfato de alumínio, ou sulfato ferroso, ou sulfato férrico ou cloreto férrico, como agente coagulante juntamente com cal, removendo tanto a cor como os orgânicos presentes no efluente líquido têxtil. Segundo os autores, uma eficiência entre 85 e 92%, foi conseguida na remoção da cor, com o uso de cloreto férrico e hidróxido de sódio. Com dosagem de sulfato de alumínio em 2000 mg/L, a cor foi removida com maior eficiência, a valores de pH menores que 11. A eficiência do tratamento químico, com dosagens de 720 mg/L de sulfato ferroso, atingiu 50% para remoção de DBO e 70 % para DQO. O tratamento biológico dos despejos líquidos têxteis, é realizado com o intuito de atingir os limites estabelecidos pelos órgãos de controle ambiental.

Dentre os trabalhos sobre sistemas de tratamento biológico por lodos ativados, podem ser destacados as modalidades de aeração prolongada e convencional, incluindo nestes, processos de tratabilidade e operação. Nestes sistemas são obtidas eficiências de remoção de até 96% para DBO e 79% para DQO, para os despejos brutos com concentrações de DBO em torno de 212 mg/L e DQO em torno de 546 mg/L, dados estes, obtidos a partir dos trabalhos de JUNKINS (1982), BROWER (1986), TROXLER (1981), KERTELL (1982), citados por ALTINBAS et al. (1994).

WILSON e KING, (1983) citados por ALTINBAS et al. (1994), comentam sobre a eficiência de remoção para a DQO, sofrendo variações entre 55 e 84 %, quando do tratamento dos efluentes líquidos resultantes da lavagem e limpeza da lã, utilizando como processo de tratamento um filtro anaeróbio.

Segundo SILVA FILHO (1994), para a fabricação de uma tonelada de produtos têxteis são consumidos aproximadamente 200 ton. de água. Dentre os produtos químicos utilizados para o processamento de tecidos, 90% são removidos após cumprir seu papel requerido, podendo ser citado como exemplo os corantes, e produtos químicos auxiliares, usados durante o tingimento. Após cumprirem essa etapa, ficam parcialmente retidos no tecido, sendo uma grande parcela eliminada juntamente com a água utilizada no processo. Segundo o autor, SCHÖNBERGER, através de pesquisa realizada na Alemanha, comenta que o valor da DQO média para as águas residuárias das indústrias têxteis é de aproximadamente 1.700 mg/L. Os principais causadores dessa carga poluidora e os respectivos percentuais, estão relacionados na TAB. 3.12, podendo ser verificado que os agentes de engomagem e os tensoativos, perfazem 75% do potencial poluidor dos efluentes líquidos têxteis, enquanto os corantes e branqueadores ópticos, apenas 1%.

Tabela 3.12– Porcentagem de carga de DQO, contida nas águas residuárias causada pela presença de diversos produtos químicos utilizados no beneficiamento e acabamento de tecidos.

Grupo de Produtos	Parcela sobre o total (%)
Agentes de engomagem	57
Umectantes e detergentes (tensoativos)	18
Auxiliares de tingimento	7
Ácidos orgânicos	7
Emulsão usada na preparação da fibra durante o processo de fiação	5
Redutores	3
Corantes / branqueadores ópticos	1
Outros	2

Fonte: SILVA FILHO(1994).

Os valores e os percentuais correspondentes à carga orgânica, representada quantitativamente em termos de DBO, para os diversos processos têxteis, segundo a CETESB

(1991), são apresentados na TAB. 3.13. A atividade de desengomagem de tecidos é a principal parcela na contribuição para o valor da DBO final do efluente. A utilização de produtos alternativos não biodegradáveis, substituindo o amido (goma tradicional), como os poliacrilatos, reduz a carga de DBO. Se por um lado ocorre a redução da carga orgânica com a utilização dos poliacrilatos, por outro, sendo este não biodegradável, é lançado para os corpos de água, sem serem adequadamente conhecidos os aspectos negativos por eles trazidos, bem como suas consequências. Segundo a autora, em simpósio realizado na Alemanha em 1989, as recomendações foram no sentido de se utilizar agentes de engomagem biodegradáveis e recuperáveis.

Tabela 3.13 - Valores médios de DBO e a porcentagem correspondente, obtidas em amostras de efluentes oriundos dos diversos processos de beneficiamento e acabamento de tecidos de algodão.

Atividade	kg DBO /ton. de tecido	Parcela do total (%)
Desengomagem	106	51
Tingimento	0,5-32	1,5-30
Estamparia	17-30	17-30
Alvejamento com	8	3
Mercerização	6	1
Amostra composta média	125-250	100

Fonte: Adaptado da EPA (1974).

A tabela 3.14 indica valores médios de DQO, apresentados pelos corantes, conforme estudos realizados pela empresa NEOTEX (1989), citados pela CETESB (1991).

Tabela 3.14 – Valores médios de DQO para vários tipos de corantes.

Tipo de corante	kg DQO/ kg de corante
Índigo (pigmento)	1,12
Reativo	1,57
Enxofre	0,68
Naftol	3,35
Direto	0,68

Fonte : Adaptado da CETESB (1991).

Conforme a CETESB (1991), os detergentes de cadeias lineares, utilizados na indústria têxtil, contribuem com pequena parcela no valor final da DQO do efluente bruto, (0,08 a 0,14 kg DQO/kg de detergente) e apresentam índice de biodegradabilidade que varia na faixa de 50 a 95%.

Ainda segundo a CETESB(1991) dentre os corantes e pigmentos utilizados podem ser destacados os indicados na Tab. 3.15.

Tabela 3.15 – Tipos de corantes, sua utilização, origens e características.

Corantes	Utilização	Origem	Observações
Naftóis	Fibras celulósicas	Reação entre o beta naftol e o sal diazótico	Chamados também de pigmentos azo
Ácidos	Fibras de náilon, de lã, e de seda	Ácidos sulfônicos	
Básicos	Fibras de acrílico, de seda, e de lã	Sais orgânicos	Catiônico
Diretos	Fibras celulósicas	Ácidos sulfônicos e sais de sódio	Chamado de corantes substantivos
Dispersos	Fibras de poliéster	Compostos orgânicos	Corantes insolúveis
Mordentes	Fibras protéicas	Compostos orgânicos mordentados por óxido metálico	Chamado de corantes ao cromo, potencialmente poluidores
Reativos	Fibras celulósicas	Diclorotriazinil	Corantes de última geração
Enxofre	Fibras celulósicas	Compostos orgânicos	Insolúveis, e potencialmente poluidores
Vat	Fibras celulósicas	Compostos leuco (solúveis em água na presença de alcali)	Utilizados no tingimento de roupas “indigo-blue”

Fonte: Adaptado da CETESB (1991).

Os poluentes têxteis, via de regra, são compostos orgânicos solúveis e segundo EPA, citada pela CETESB (1991), podem ser classificados como:

- a) poluentes convencionais (prioridade 1), que poluem de forma imediata o corpo receptor, variando os parâmetros de controle de qualidade tais como: pH, DBO, temperatura, compostos solúveis em n-hexana e sólidos;
- b) poluentes não convencionais (prioridade 2), aqueles que podem, dependendo do uso da água e ao longo do tempo, causar um efeito nocivo ao corpo receptor variando os parâmetros de DQO, cor, e os sabões e detergentes;
- c) poluentes tóxicos, cuja ação é danosa à vida, interferindo diretamente no metabolismo dos seres que dependem de alguma forma, do corpo receptor. Como exemplo desses poluentes na indústria têxtil, podem ser citados os fenóis e metais pesados.

Segundo TEXTILE...(1975), as águas residuárias oriundas das fábricas de beneficiamento e acabamento de tecidos, contêm impurezas das fibras naturais e o residual químico do processamento dos mesmos. A origem dos resíduos vem das etapas de desengraxe, mercerização, alvejamento, tinturaria e desengomagem. A remoção de goma e lubrificantes dos tecidos que contêm fibras sintéticas, é a maior fonte de contribuição para o valor final de DBO. O resíduo da desengomagem, tem também, a maior parcela de participação nos sólidos dissolvidos e em suspensão. Quando são utilizadas enzimas para remoção de goma, o resíduo obtido poderá ter o valor de pH próximo de 7. Entretanto, quando é utilizado o ácido sulfúrico para remoção da mesma, é produzido um resíduo de caráter ácido. Se no processo de engomagem for utilizado o álcool polivinil (PVA), ou carboximetil celulose (CMC), a DBO tem seu valor reduzido em aproximadamente 50 %. A goma à base de PVA deve ser recuperada para não contribuir com o valor da DBO do resíduo líquido bruto.

As águas residuárias oriundas do processamento de fios e tecidos de algodão, na fase de desengraxe e posterior enxaquadura, contêm impurezas naturais, que foram removidas pelos detergentes alcalinos aplicados a quente ou solução de sabão usada no desengraxe. Dessa forma, os valores de DBO variam na faixa de 1.700 a 5.200 ppm, e os Sólidos Totais na faixa de 16.000 a 32.000 ppm. O processamento de produtos sintéticos requer a etapa de desengraxe, e os

valores de DBO obtidos no efluente variam entre 500 e 2.190 ppm, enquanto o de Sólidos Totais podem chegar a valores próximo dos 2000 ppm, segundo TEXTILE... (1975).

A concentração de poluentes de tinturaria e estamparia de algodão, e mistura de fibras sintéticas e algodão, depende do processo e dos produtos utilizados. A TAB. 3.16 indica as características dos efluentes líquidos oriundos de subcategorias diferentes, para os mais variados tipos de indústrias. HART (1994), apresenta a TAB 3.17 com diversos parâmetros de controle de qualidade dos efluentes líquidos, para os vários setores da indústria têxtil.

Tabela 3.16 – Características dos efluentes líquidos oriundos de diversas subcategorias, para os diferentes tipos de indústrias têxteis.

Subcate- gorias Parâ- metros	Lã beneficiamento	Lã acabamento	Fiação e tecelagem (Algodão, algodão/ poliéster, algodão/ viscose)	Tinturaria (Algodão, algodão/ poliéster, algodão/ viscose)	Malharia (Algodão e náilon)	Tinturaria (Algodão, náilon, algodão/ poliéster)
DBO (mg/l)	4740 – 6220	150 – 700	80-465	100 – 650	100 – 650	75 – 340
SST (mg/l)	5000 - 24500	45 – 300	50 – 360	45 - 475	40 – 485	25 – 75
DQO (mg/L)	29600 - 31300	280 – 5000	320 - 2000	425 - 1440	450 -1500	220-1010
O.G. (mg/l)	5000 - 5600	*	*	*	*	*
Cromo Total (mg/l)	0,05	4	*	0,04	0,05	0,013
Fenol (mg/l)	1,50	0,5	*	0,04	0,27	0,12
Sulfetos (mg/l)	0,20	0,1	*	2,72	0,20	*
Cor (uH)	2000	500 – 1700	*	325	400	600
pH	6 – 9	6 –11	6 – 11	7 – 11	6 – 9	7 – 12

* Informação não avaliada.

Fonte : Adaptado de TEXTILE...(1975).

Na adição de corantes aos processos industriais, as águas residuárias originárias poderão conter elevadas concentrações de DBO e sólidos dissolvidos. A utilização de pigmentos no processo de estamparia, também acarreta uma elevação na concentração de sólidos em suspensão, nos despejos líquidos. Vários agentes químicos podem ser aplicados, porém somente uma parcela menor é destinada às águas residuárias. Os despejos líquidos oriundos do processo

Tabela 3.17 - Características dos efluentes líquidos oriundos da indústria têxtil para diversos setores de tingimento.

Setores da indústria	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
Parâmetros					
pH	3-5	8-11	9-11	8-11	8-10
DBO ₅ (mg/L)	100-200	400-600	400-600	800-1500	100-300
DQO (mg/L)	500-800	800-1200	800-1200	800-1200	300-600
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	40-100	40-50	40-60	50-100	30-70
Óleos e Graxas (mg/L)	15-70	20-120	20-70	10-80	40-150
Sólidos Suspensos (mg/L)	40-100	100-200	200-300	200-300	100-200
Sólidos Sedimentáveis. (mL/L)	1-10	1-10	0,1-5	0,1-5	0,1-2
Sólidos Totais (mg/L)	2000-3000	2000-3000	2500-4000	2000-3000	3000-4500
Cor (mg PtCo/L)	200-300				

Setores da indústria - Tingimento de:

- 1 - Fios de acrílicos e náilon;
- 2 - Fios acrílicos, náilon e algodão;
- 3 - Malha 100% algodão;
- 4 - Tecido plano, 100% algodão;
- 5 - Tecido plano, seda, viscose e acetato.

Fonte: Adaptado de HART (1994).

de beneficiamento e acabamento de tecidos de fibra de algodão e mista (algodão e sintético), que inclui as etapas de engomagem, alvejamento, lavagem, mercerização, tinturaria, estamparia, e acabamento, geralmente contêm valores de DBO, SST, DQO, pH respectivamente, variáveis nas faixas de 250 a 850 mg/L, 45 a 475 mg/L, 425 a 1440 mg /L e 7 a 11. A cor geralmente tem seu valor médio igual a 325 unidades de cor segundo TEXTILE...(1975).

3.5. Tratamento dos despejos líquidos da indústria têxtil

Existem várias alternativas para se tratar as águas residuárias oriundas de indústrias têxteis. Segundo a CETESB (1991), os processos podem se subdividir em:

3.5.1. Tratamento primário

Conforme a CETESB (1991), o tratamento primário que engloba a fase de pré-tratamento, realiza as operações de remoção de sólidos grosseiros e areia, diminuição da temperatura, equalização e neutralização dos efluentes líquidos. A FIG. 3.32 ilustra o fluxograma com as várias possibilidades de tratamento primário, tendo por objetivo preparar o efluente para as fases posteriores de tratamento. Segundo a CETESB (1991) ele consta de:

a) gradeamento : operação que utiliza peneiras, grades e dispositivos para retenção de gordura. Tem a finalidade de remover os materiais grosseiros, como trapos, fios, aglomerados de fios (estopa), que causam entupimento da tubulação e / ou bombas (EPA, 1974), (GRAU, 1991);

b) equalização: o tratamento dos despejos, deve ocorrer visando com isso à homogeneização do efluente, a regularização da vazão, evitando picos de temperatura, e de carga orgânica, minimizando problemas nas etapas subseqüentes (CETESB, 1991). Segundo a TEXTILE...(1975), esta etapa é realizada com a descarga de todos os despejos líquidos em um só ponto, podendo ser uma lagoa ou um tanque com volume igual ao da vazão diária da fábrica.

Conforme GRAU, (1991) a equalização pode ser combinada com o resfriamento. Os tanques possuem equipamentos para a agitação das águas residuárias, principalmente para manter os sólidos em suspensão. Quando essa etapa é usada antes do tratamento biológico tem a finalidade de alimentar o sistema durante uma possível paralisação, de modo a evitar colapso na alimentação dos reatores.

c) neutralização de pH: Em função da variação dos descartes dos processos industriais os efluentes têxteis podem ser ora alcalino, ora ácido, ou predominantemente alcalino, ou predominantemente ácido. Portanto, é necessário um sistema de correção e ajuste de pH para que sejam evitados riscos operacionais. A EPA (1974) recomenda pH maior que 5,5, para que a corrosão nas tubulações e equipamentos, seja minimizada.

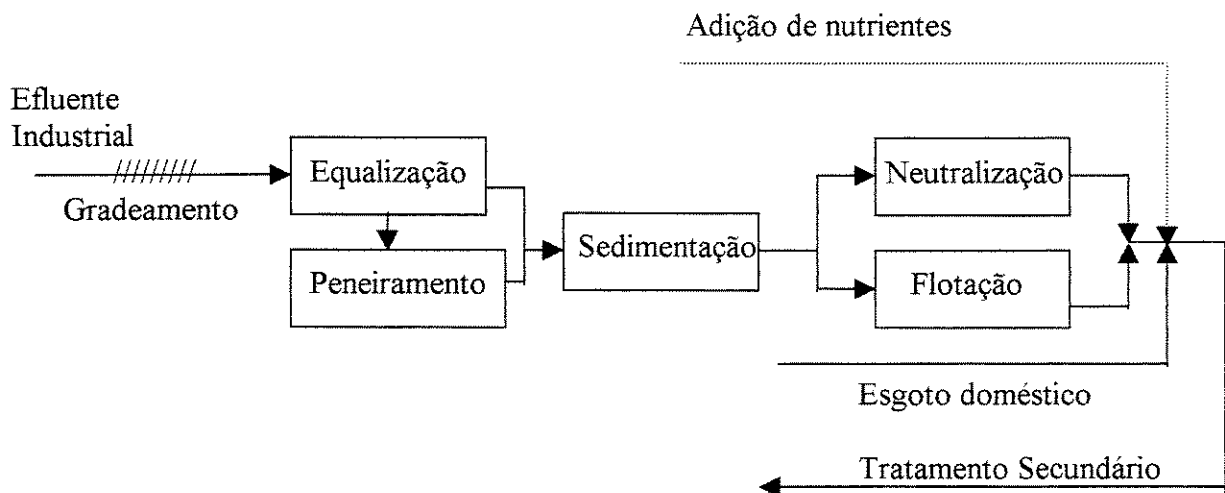


Figura 3.32 – Fluxograma com alternativas para o tratamento primário dos efluentes líquidos oriundos de indústria têxtil.

Fonte: Adaptado da CETESB (1991).

A CETESB (1991), comenta que à entrada do reator biológico, o valor do pH deve ser controlado rigorosamente na faixa variável entre 6,5 a 7,5. A EPA (1974), comenta que o tratamento do tipo lodos ativados consegue tratar satisfatoriamente os resíduos líquidos industriais alcalinos. Este tipo de tratamento oxida o carbono orgânico do resíduo líquido,

transformando-o em gás carbônico. Este reage com a água produzindo ácido carbônico, neutralizando o efluente. A neutralização das águas residuárias pode ser feita com utilização de solução de ácido e gás carbônico, para substratos alcalinos e soda cáustica, amônia, cal, carbonato de sódio e bicarbonato de sódio para substratos ácidos.

GRAU (1991), comenta sobre a necessidade do processo de neutralização dos efluentes líquidos para as indústrias que possuem o processo de mercerização, pois os resíduos líquidos gerados são alcalinos. A neutralização pode ocorrer através da aplicação de dosagens de ácidos inorgânicos (hipoclorito, sulfúrico), ou ainda pela utilização dos gases de combustão oriundos do sistema de aquecimento de caldeira, que oferecem algumas vantagens, como a redução do custo, a adsorção de corantes pela utilização do efluente na lavagem dos gases, a remoção de óxidos de nitrogênio e sulfúricos dos gases e, conseqüentemente, diminuição da poluição atmosférica.

d) flotação: segundo HART (1994), os efluentes oriundos das indústrias têxteis têm como uma de suas principais características a presença de óleos e graxas, que podem ser removidos por flotação. No tratamento físico químico por coagulação - floculação, a separação entre a fase líquida e a sólida, ocorre de forma mais eficiente por flotação, do que por sedimentação.

Segundo REALI (1991), a flotação pode ser realizada por ar dissolvido, onde o líquido a ser tratado é encaminhado à câmara de pressurização, sendo submetido a uma pressão maior que a atmosférica. Nessa câmara ocorre a dissolução do gás no líquido. Este, saturado ao sair da câmara, é exposto à pressão atmosférica, ocorrendo a liberação de micro bolhas de gás. A

FIG. 3.33, ilustra um desenho esquemático de um sistema de flotação por ar dissolvido. Existem três variações deste sistema . São elas:

- a) a pressurização total do afluente, podendo ser utilizada quando o resíduo a ser tratado possui material em suspensão, que possa ser submetido à intensa turbulência causada pela bomba;
- b) a pressurização parcial do afluente, onde somente uma parte da vazão afluente é pressurizada e esta é reunida com a outra parcela anteriormente à unidade de flotação;
- c) na recirculação pressurizada, uma parcela do efluente, após passar pelo processo de tratamento, é pressurizada e recirculada, sendo misturada a mesma, com o afluente.

Esta última forma é aconselhável onde existem a formação de flocos frágeis, pois estes não necessitam passar pela bomba de pressurização, que ocasionaria a quebra da estrutura dos mesmos. A FIG. 3.33 apresenta um esquema de um flotador por ar dissolvido.

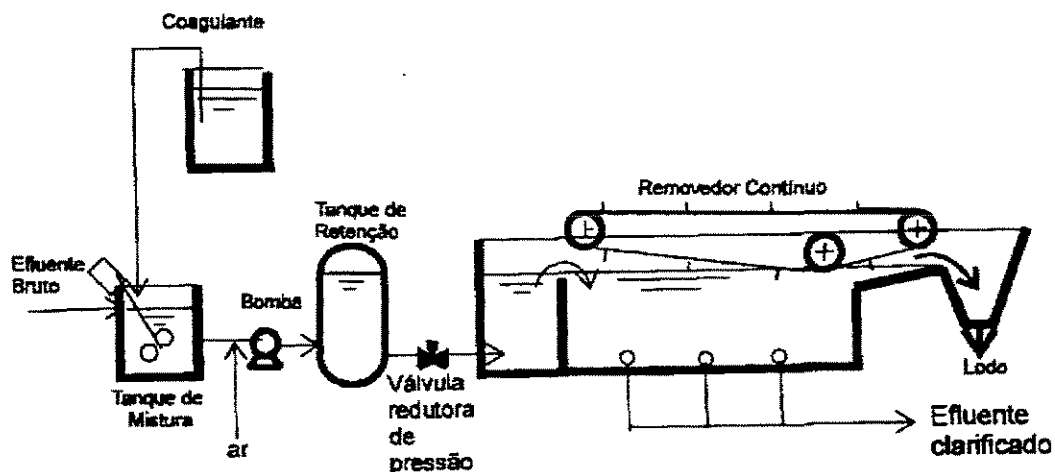


Figura 3.33 – Desenho esquemático de um sistema de flotação por ar dissolvido com pressurização total do efluente bruto.

Fonte: NUNES (1996)

e) sedimentação - Conforme a EPA (1974), a sedimentação no tratamento primário é dispensável e pouco utilizada, pois os despejos líquidos industriais têxteis possuem quantidades muito pequenas de resíduos sedimentáveis, chegando em alguns casos a valores variando entre 0,1 a 10 mL/L, segundo HART (1994). Quando a sedimentação primária é utilizada, auxilia na equalização dos efluentes líquidos, na regularidade dos valores de pH, na remoção de DBO que varia na faixa entre 10 a 30 %, na remoção de fibras têxteis, de escumas, tratando parcialmente os sulfetos e fenóis.

NICOLAU e HADJIVASSILIS (1992), estudando um sistema de tratamento com a finalidade de reuso (irrigação), comentam que o tratamento utilizando flotação pode ser aplicado para o efluente têxtil com o objetivo de remover óleos e graxas e outros materiais pouco densos, contidos nas águas residuárias. Comentam também sobre o tratamento físico-químico, anteriormente ao tratamento biológico, onde o efluente é submetido à coagulação - floculação, sedimentação. Após a mistura rápida, onde acontece a coagulação, é executada a floculação, que requer baixa energia para promover a agitação, tendo sido utilizado somente 4 Watts/m³. Vários coagulantes foram testados em laboratório quando do ensaio de amostras do efluente industrial. O coagulante que conseguiu o melhor resultado foi o sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), combinado com a cal hidratada. Um polímero auxiliar de floculação aplicado, melhorou consideravelmente a qualidade do lodo formado na sedimentação. A dosagem ótima para o sulfato ferroso obtida para o caso, foi de 720 mg/L e de polieletrólito de 0,2 mg/L.

3.5.2. Tratamento secundário

As alternativas de tratamento secundário para os despejos líquidos gerados em indústria têxtil são ilustrados pela FIG. 3.34, através do fluxograma elaborado pela CETESB (1991).

O tratamento biológico, nesta fase, tem como finalidade principal a remoção da matéria orgânica presente no efluente líquido (PAGANINI, 1993).

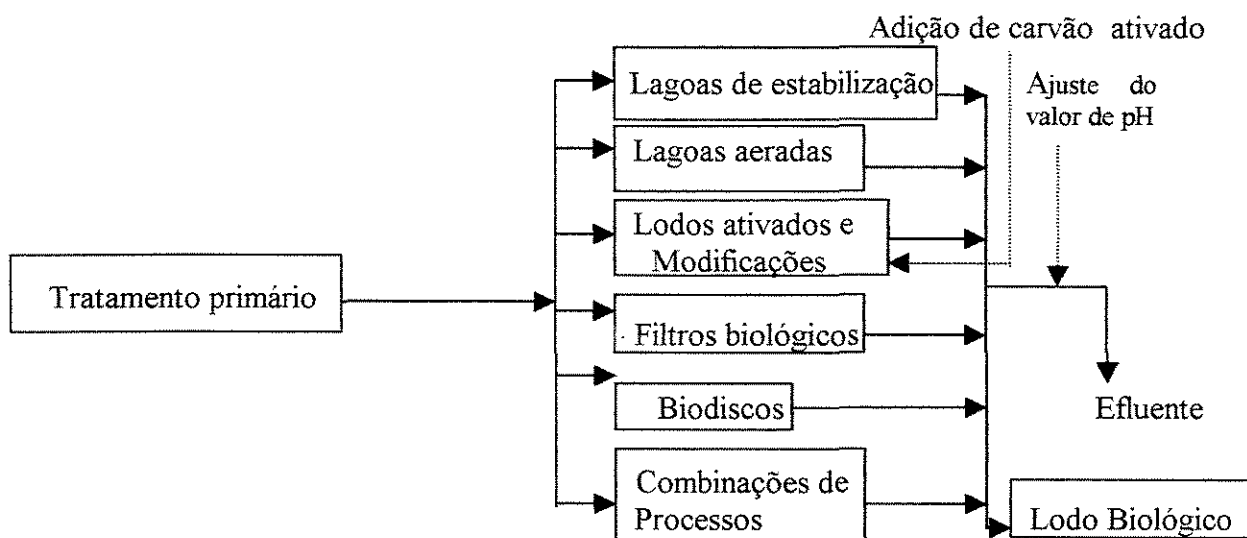


Figura 3.34 – Alternativas de tratamento secundário de efluentes líquidos oriundos de indústria têxtil.

Fonte: Adaptado da CETESB (1991).

Segundo BRANCO (1986), durante o tratamento biológico procura-se repetir o fenômeno da autodepuração ao longo da correnteza de um rio, ou em um lago, em curto espaço de tempo e em ambiente reduzido. Com isso, é necessária a introdução de oxigênio (no caso de tratamentos aeróbios), e proporcionar ao resíduo líquido a ser tratado, condições ideais que favoreçam a oxidação biológica, principalmente facilitando a proliferação de bactérias, que são as principais responsáveis pela depuração do resíduo. Essa depuração consiste em oxidar o material orgânico até a sua estabilização, transformando-o em substâncias mais simples e de baixo conteúdo energético. Segundo o autor, no processo aeróbio, procura-se intensificar a proliferação especialmente de bactérias que, além de oxidar a matéria orgânica, forma massa capaz de adsorver partículas em suspensão. Os processos aeróbios se destinam principalmente ao tratamento da fase líquida do resíduo, que contém finas partículas suspensas e, através da floculação biológica, acabam formando partículas que são capazes de ser removidas por sedimentação. Ainda segundo Branco (1986), a formação dos flocos ocorre devido a um grande número de bactérias possuírem uma bainha de consistência gelatinosa, envolvendo cada uma de suas células. Essa bainha, sendo parcialmente solúvel em água, pode aumentar sua espessura, ocorrendo a junção entre bainhas de uma ou mais bactérias, formando massas gelatinosas

denominadas zooglêia. Essa gelatina adsorve grande número de partículas em suspensão, dando origem aos flocos, sendo a matéria orgânica dissolvida, assimilada pelas bactérias.

A floculação pode ocorrer através de outros tipos de bactérias, além das formadoras de massas gelatinosas, cuja ocorrência de flocos, está relacionada com determinadas condições de vida em que essas bactérias se encontram. A produção de flocos está relacionada às características coloidais da massa de bactérias, e à intensidade das atividades metabólicas destas, comportando-se como partículas inorgânicas, ficando sujeitas a dois tipos de forças antagônicas. São elas as forças do tipo de Van der Waals, agindo no sentido de aproximar as partículas, e as do tipo Coulombianas, devido às cargas superficiais eletrocinéticas. Sendo estas cargas de mesmo sinal, tendem a se repelir, quando se aproximam.

Devido ao movimento Browniano, pode ocorrer o choque entre as partículas, acontecendo a aglutinação entre as mesmas, quando o potencial Zeta tiver valor baixo. Dessa forma, prevalecem as forças de Van der Waals. Caso ocorra a repelência entre as partículas, prevalece a ação das forças Coulombianas.

A FIG. 3.35, apresenta esquema que indica o crescimento de microrganismos em um meio de cultura, iniciando-se pelo período de adaptação(fase estacionária), onde ocorre um crescimento lento. Após este, vem a do crescimento rápido chamado de logarítmico; então acontece um intervalo de declínio da taxa de crescimento. Começa então a fase endógena, onde a curva de crescimento apresenta valores de decrescimento sensível, passando os microrganismos a viver de suas próprias reservas, e ainda, a se alimentar de compostos resultantes da morte dos demais.

Não ocorre floculação quando as bactérias se encontram em fase logarítmica de crescimento. A aglutinação ocorre somente durante o período endógeno, quando estão esgotados os nutrientes. Neste, as bactérias passam a viver de suas próprias reservas, diminuindo a reprodução. Assim sendo, a floculação está condicionada não só a fatores coloidais, mas à capacidade energética do meio. Quando o valor energético do resíduo líquido é elevado, as bactérias têm o seu metabolismo intensificado e suas atividades locomotoras impedem a

floculação. Em contrapartida, quando o valor energético é baixo, as bactérias entram em inatividade, aderindo-se umas às outras, através do movimento Browniano.

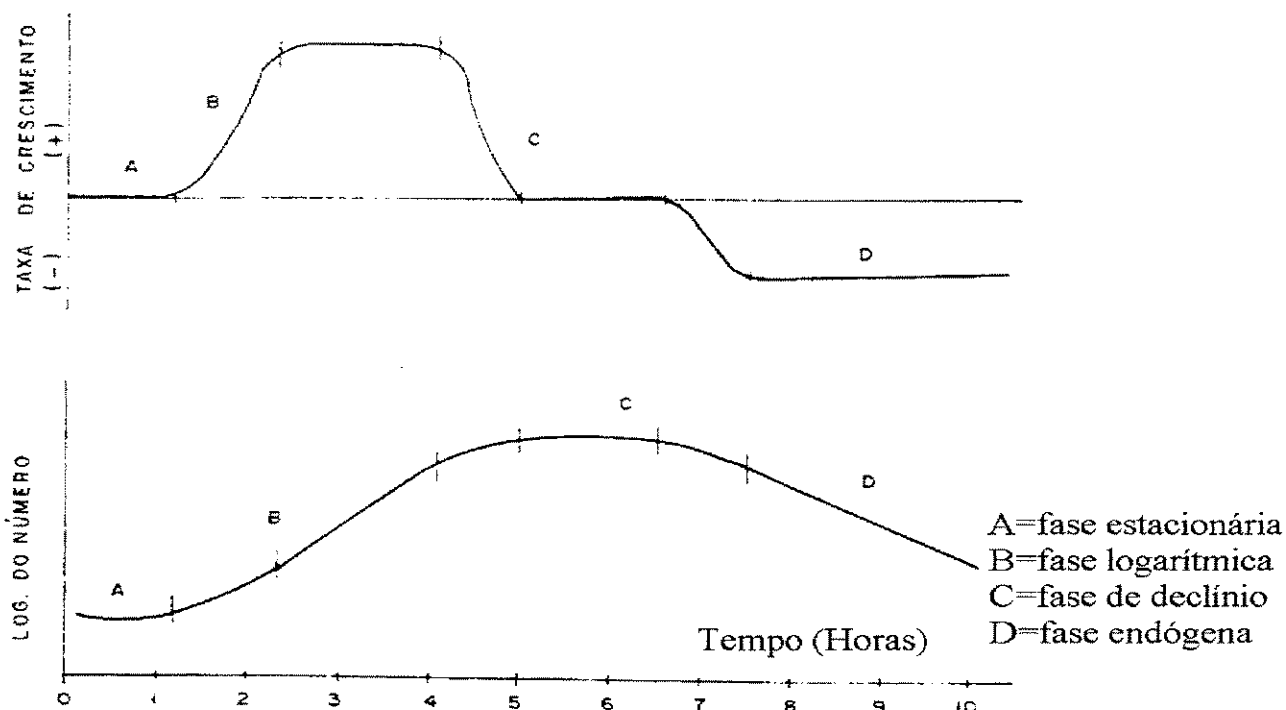


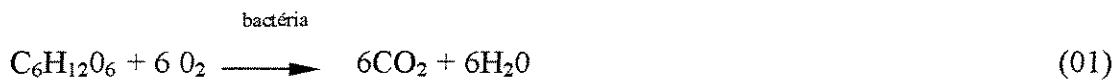
Figura 3.35 – Fases do crescimento bacteriano .

Fonte: BRANCO (1986).

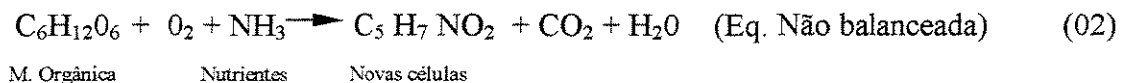
A floculação é de grande importância para os processos aeróbios, sendo também importante a metabolização das substâncias orgânicas. A oxidação da matéria orgânica produzida pela aeração ocorre de maneira rápida, através de uma intensa proliferação de bactérias aeróbias. Assim, é consumida a matéria nutriente, e as bactérias entram no período endógeno por superpopulação, acontecendo a formação de flocos. Estes em condições adequadas, podem sedimentar, separando a fase sólida, da líquida.

Segundo a EPA (1974) e CETESB (1991), os processos de tratamento biológicos acontecem por contato da microfauna, especialmente bactérias, com a matéria orgânica solúvel. Os microrganismos metabolizam os componentes presentes no resíduo líquido, transformando-os em energia e síntese celular. No primeiro caso, a degradação da matéria orgânica é realizada na

presença e na combinação com o oxigênio. Como exemplo pode ser citado a glucose, esquematicamente colocada na EQ. 01.



A oxidação da matéria orgânica fornece energia para a população microbiológica. Esses microrganismos necessitando sintetizar novas células, utilizam a porção orgânica do despejo líquido, combinado com a adição de nutrientes como fonte de alimento. A síntese celular pode ser representada esquematicamente pela EQ. 02. Ambos, síntese e oxidação, estão presentes no processo metabólico dentro do reator biológico.



No tratamento biológico anaeróbio os microrganismos desenvolvem-se em condições de pouco ou nenhum oxigênio. Pode ser citado um terceiro tipo de microbiologia que pode se adaptar a condições já citadas, os microrganismos facultativos

Como exemplo de tratamento secundário para as águas residuárias têxteis podem ser citados os sistemas de:

a) lagoas de estabilização - As lagoas de estabilização são definidas como grandes tanques de pequena profundidade com água lentônica, com a finalidade de armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica. Utiliza processos físicos, biológicos e bioquímicos para autodepurar os despejos líquidos, transformando as substâncias orgânicas em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis. (FIG. 3.36, 3.37 e 3.38).

A estabilização dos poluentes orgânicos sedimentáveis, ocorre através da ação de bactérias anaeróbias e facultativas, produzindo novas bactérias, gases e sais minerais. A matéria orgânica em suspensão e na forma solúvel, também é estabilizada por bactérias, principalmente as facultativas, com produção de gases, novas bactérias e sais minerais. A estabilização na lagoa facultativa acontece também pela ação conjunta de algas e bactérias. As algas, se utilizam dos

sais minerais e de luz, realizando a fotossíntese e produzindo oxigênio que permanece dissolvido na água até a sua saturação. Por sua vez, as bactérias em sua digestão decompõem os poluentes de caráter orgânico, aproveitando o oxigênio produzido pelas algas, ao mesmo tempo que liberam CO_2 . O vento, quando ocorre, promove a mistura da massa líquida, aumentando a distribuição e a produção de algas, mantendo as condições aeróbias principalmente no período da manhã.

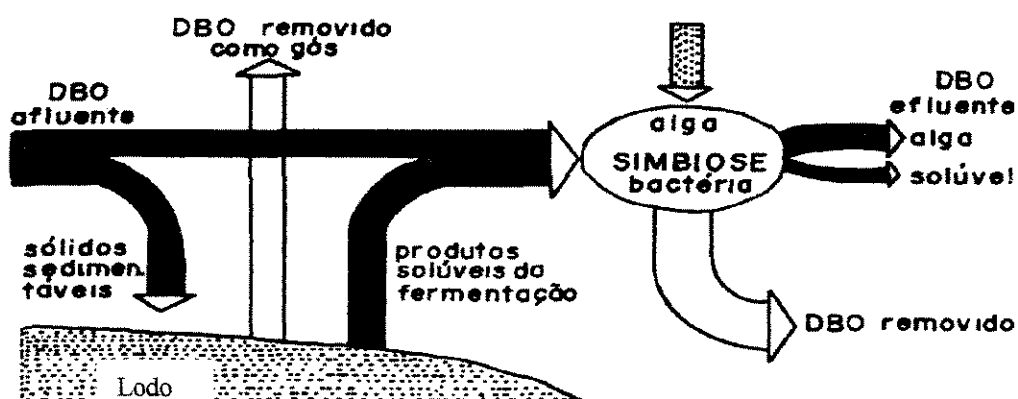


Figura 3.36 – Fluxograma dos diferentes tipos de processos onde acontece remoção de DBO em lagoas de estabilização.

Fonte: Adaptado de SILVA e MARA (1979).

As atividades biológicas das lagoas de estabilização podem ser classificadas em:

a1) lagoas anaeróbias: segundo a EPA (1974), ocorrem simultaneamente os processos de precipitação dos sólidos sedimentáveis e conversão anaeróbia da matéria orgânica para CO_2 , CH_4 , H_2S , outros gases, ácidos orgânicos, e bactérias.

Segundo o SENAI (1991), neste tipo de tratamento ocorre a decomposição da matéria orgânica e inorgânica em ausência de oxigênio livre. No processo de digestão anaeróbia, a matéria orgânica contida é convertida a ácidos orgânicos, numa primeira etapa chamada acidogênica (solubilização), e a gases em uma segunda fase chamada metanogênica (gaseificação). Ainda segundo o autor, a operação de uma lagoa anaeróbia pode ser bem sucedida, se ocorrer o equilíbrio entre as bactérias formadoras de ácido e aquelas formadoras de gás metano. Para que isto aconteça é necessário valores de temperatura maiores que 15°C , e de

pH acima de 6. Deste modo, ocorrerá uma acumulação mínima de lodo, podendo acontecer um descarte do excesso em um período de tempo de 2 a 4 anos, intervalo este, que dependerá das características do afluente e das condições de projeto.

Segundo a CESTESB (1992), as lagoas anaeróbias são projetadas para uma carga na faixa de 0,04 a 0,08 kg DBO/d.m³, com tempos de detenção variando entre 3 e 6 dias e profundidade útil entre 2,5 a 4,5m. No processo de degradação, os resíduos sedimentáveis acumulam-se no fundo da lagoa, formando uma camada de lodo, acontecendo então, o processo de digestão anaeróbia. Ocorre portanto, nessa região, a liquefação com a formação de ácidos orgânicos, seguida de fermentação metânica. Quanto maior o valor da temperatura na camada de lodo, maior será a fração de lodo sedimentado transformada em gás. A fermentação metânica, que só se efetiva acima dos 15°C, alcança eficiência máxima entre 30 e 35°C.

Conforme SILVA e MARA (1979), quando a temperatura do resíduo líquido atinge valores inferiores a 15 °C, as lagoas atuam como um mero tanque de estocagem de lodo; mas, em temperaturas acima desse valor e a valores de pH acima de 6, o acúmulo se reduz em consequência do aumento de velocidade de degradação, ocorrendo com isso uma redução do volume de lodo dilatando o período para que ocorra a remoção de lodo depositado no fundo da lagoa.

a2) lagoa facultativa: conforme SILVA e MARA, (1979), em lagoas deste tipo as condições anaeróbias são mantidas em camadas próximas ao fundo enquanto as aeróbias predominam nas camadas superiores. Segundo UEHARA e VIDAL (1989), na zona fótica, o oxigênio molecular é fornecido pelas algas e pela difusão na interface ar / líquido. A produção de oxigênio pelas algas se dá na presença de luz solar e através do processo fotossintético, utilizando o dióxido de carbono (CO₂), resultante da oxidação bacteriana, para a síntese de novas algas. Dessa forma liberam oxigênio, sendo utilizado pelas bactérias, na oxidação bioquímica de matéria orgânica, em especial na transformação de carboidratos em CO₂, sendo reaproveitado pelas algas na fotossíntese. Essa simbiose é representada esquematicamente na FIG. 3.37. Próximo ao fundo da lagoa os sólidos sedimentáveis se acumulam, constituindo uma camada de lodo. Os microrganismos que ocupam essa região transformam os compostos orgânicos, através da fermentação ácida e metânica, já mencionadas anteriormente. Acima da camada de lodo

existe uma zona facultativa, onde o oxigênio molecular está disponível geralmente durante o dia, deixando a região aeróbia e durante à noite, na falta deste, anaeróbia.

Os mecanismos desse processo de tratamento são comentados pelo SENAI (1991), para o caso de uma indústria, onde a chegada dos despejos para tratabilidade se faz pelo tratamento primário. Nesta fase ocorre a precipitação dos sólidos sedimentáveis, que ficam depositados junto ao fundo da lagoa. Algumas partículas coloidais e mesmo alguns sólidos, formarão precipitados pela ação de sais solúveis existentes nas águas. Esse material, que se deposita no fundo, sofre a ação da fermentação anaeróbia. Desse processo resultarão alguns sais minerais e nutrientes orgânicos solúveis, além do gás carbônico, que se espalhará por toda massa líquida. Os nutrientes orgânicos solúveis e sais minerais são digeridos pelas bactérias aeróbias,

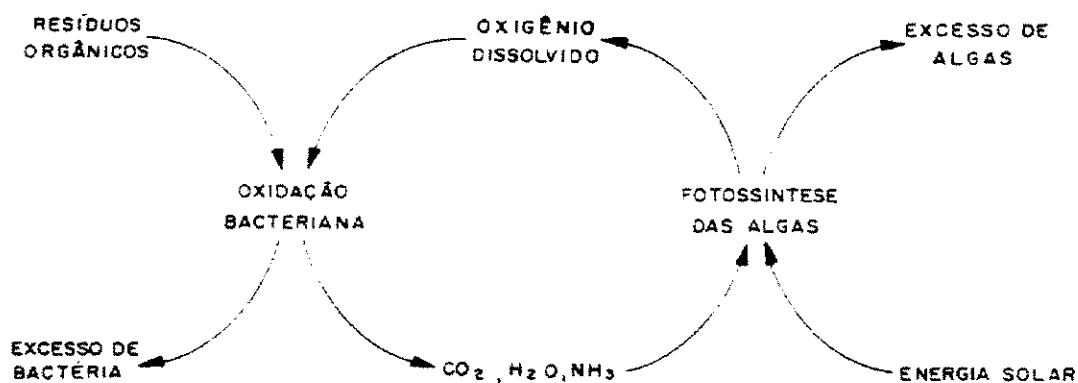


Figura 3.37 – Representação esquemática da simbiose que ocorre nas zonas fóticas das lagoas de estabilização.

Fonte: UEHARA e VIDAL (1989).

resultando como subproduto o CO₂. As algas existentes transformarão esse CO₂, com o auxílio de luz e pela fotossíntese, em matéria orgânica necessária à sua reprodução, liberando como subproduto principal o O₂, possibilitando assim a respiração das bactérias aeróbias. A FIG. 3.38 ilustra os mecanismos citados, e através de um desenho esquemático de lagoa facultativa, indica as reações biológicas que podem ocorrer.

Conforme a CETESB (1992), acima da camada de lodo, de característica anaeróbia, existe uma zona facultativa, indicando que o oxigênio não está disponível nesta região todo o tempo. Normalmente esta zona é aeróbia durante o dia e anaeróbia durante a noite.

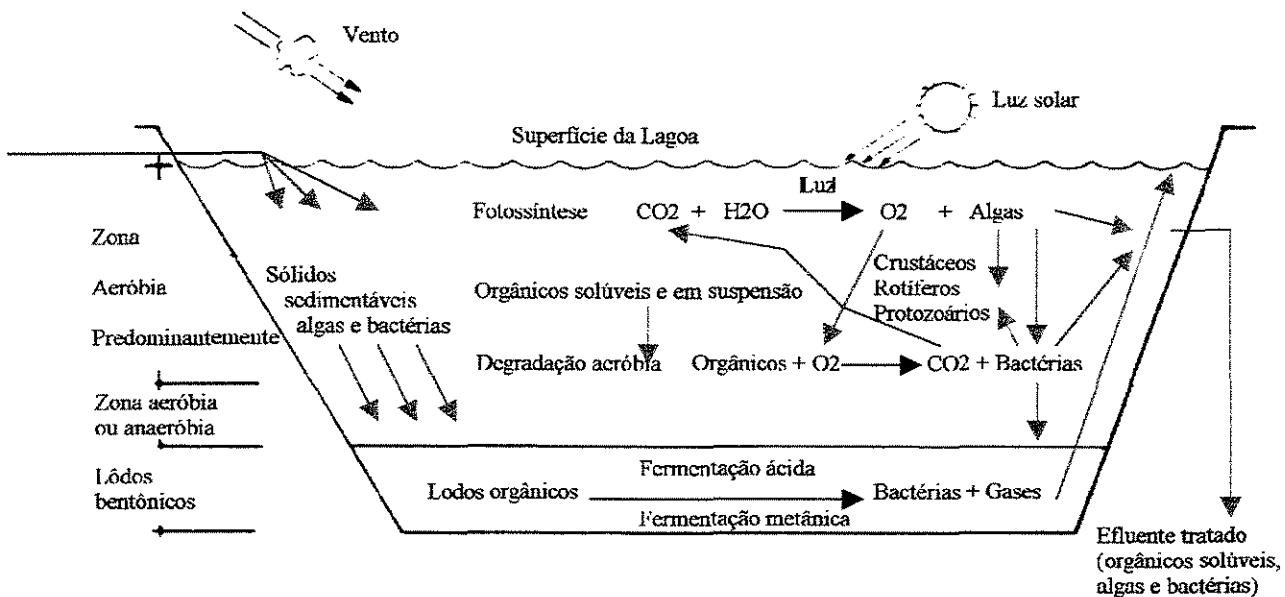


Figura 3.38 – Representação esquemática das reações biológicas de uma lagoa facultativa.

Fonte: UEHARA e VIDAL (1989).

As lagoas facultativas possuem grandes áreas superficiais e pequena lâmina de água (1 a 2 m), recebem carga em torno de 250 kg de DBO/ha.dia, e o tempo de detenção variando em torno de 15 a 35 dias (CETESB, 1992).

a3) lagoas facultativas aeradas: segundo a CETESB (1992), neste tipo de lagoa o oxigênio é introduzido mecanicamente. A vantagem em relação aos outros tipos de lagoa facultativa, é a área ocupada, que é menor. No entanto, como desvantagem existe a necessidade de energia elétrica para o funcionamento dos aeradores, bem como a de manutenção dos mesmos, e maiores custos de investimento. A profundidade desse tipo de lagoa é variável (2 a 3 m), com eficiência na remoção de DBO em torno de 80%. O tempo de detenção varia de 5 a 30 dias, dependendo das características de biodegradabilidade do afluente.

a4) lagoa aerada: neste tipo de lagoa a degradação biológica acontece exclusivamente por vias aeróbias, não existindo possibilidade de degradação anaeróbia. A

introdução de oxigênio é feita mecanicamente, e com potência suficiente para suprir toda a demanda necessária, e ainda manter os sólidos em suspensão. A profundidade utilizada varia na faixa de 2 a 3,5 m e a densidade de potência para se manter as características de aerobiose é mantida no intervalo de 10 a 14 w/m³. Por ser um sistema do tipo mistura completa, o efluente existente na lagoa possui a mesma concentração de sólidos em suspensão. Para se obter uma eficiência variável entre 75 a 85% de remoção de DBO é preciso a instalação, na sequência, de uma lagoa de decantação ou decantador secundário.

b) filtro biológico: segundo IMHOFF e IMHOFF (1986), este tratamento é baseado nos filtros intermitentes de areia, cujos mecanismos de ação tinham origem biológica e necessitava de aeração. Com o intuito de diminuir a área ocupada, foi aumentada a profundidade dos filtros, ao mesmo tempo, para melhorar a ventilação, foi utilizado material de solos naturais arenosos. Sendo operado como leito de contato, os tanques eram enchidos com esgoto, permanecendo assim por duas horas, uma ou duas vezes por dia. Em seguida era aberta a descarga de fundo, que permitia o lançamento do efluente tratado biologicamente. O tanque permanecia vazio, exposto à ventilação, até ser cheio novamente. Devido à sua eficiência reduzida, e à facilidade de colmatação, este processo evoluiu para os filtros biológicos atuais, que funcionam sem inundação, percolando o efluente pelos vazios existentes no meio filtrante, propiciando também a renovação de ar.

Conforme a CETESB (1991), nos filtros biológicos, os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica ficam aderidos ao meio suporte, que pode ser constituído por brita, madeira, material sintético, entre outros. O despejo líquido é aspergido sobre a superfície superior do leito filtrante em fluxo descendente, enquanto o oxigênio necessário à manutenção do processo aeróbio é retirado do ar que circula em fluxo ascendente, entre os espaços vazios do meio. Os filtros biológicos, são sensíveis às variações dos despejos, não permitindo flexibilidade de operação. Para tratamento dos despejos líquidos têxteis podem ser conseguidos bons resultados com filtros de dois estágios, porém o processo é mais oneroso que o de lodos ativados.

SENAI (1991), comenta que o material de enchimento do leito pode ser de granulometria variável entre 1 a 4". Recentemente, elementos plásticos com grande área superficial têm sido utilizados. A camada biológica, que fica aderida ao meio, que aumenta de espessura, ocorrendo assim sua estratificação. As duas fases formadas são chamadas aeróbia e anaeróbia e ficam, respectivamente, na parte mais externa e interna da película biológica, conforme ilustração da FIG.3.39. A FIG. 3.40 apresenta corte transversal esquemático de um filtro biológico. Com o aumento da película, a matéria orgânica é degradada antes que possa alcançar os microrganismos situados próximos à superfície do meio percolante. Ocorre então a perda de aderência e o desprendimento dos mesmos, destacando a película.

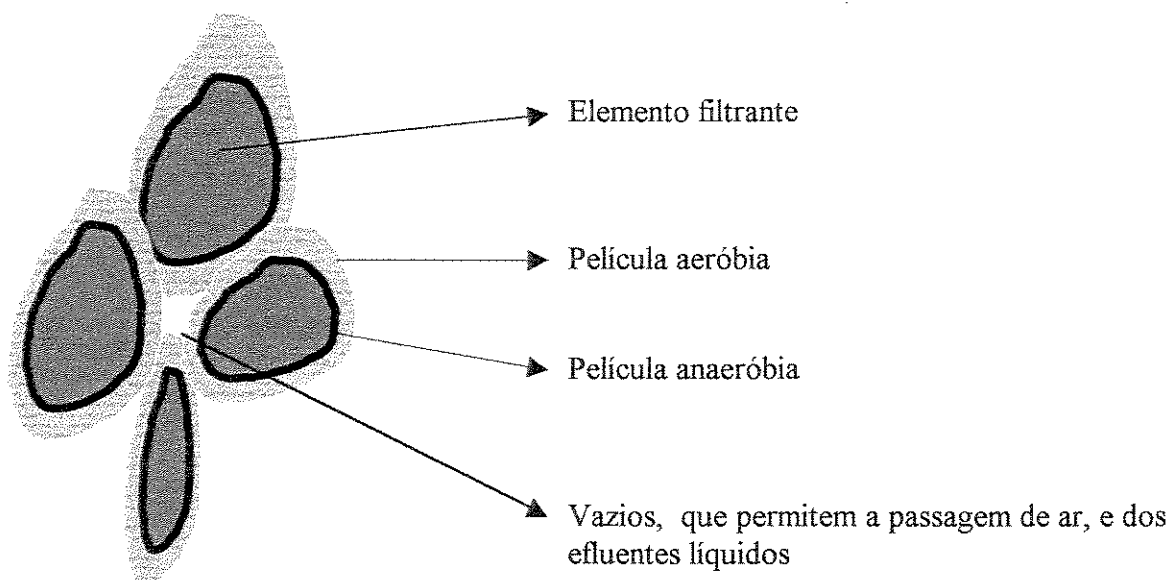


Figura 3.39 – Representação esquemática dos elementos do meio filtrante envolto pelas películas anaeróbia e aeróbia.

Os filtros biológicos são classificados conforme a sua taxa de aplicação volumétrica e segundo METCALF e EDDY (1991), podem ser de alta, média ou baixa carga. As características de cada tipo, podem ser observadas através de dados presentes na TAB. 3.18. A aplicação das taxas depende das características do material de recheio utilizado, e deve promover a autolimpeza do corpo de enchimento, provocando os deslocamentos das películas biológicas após o seu desenvolvimento.

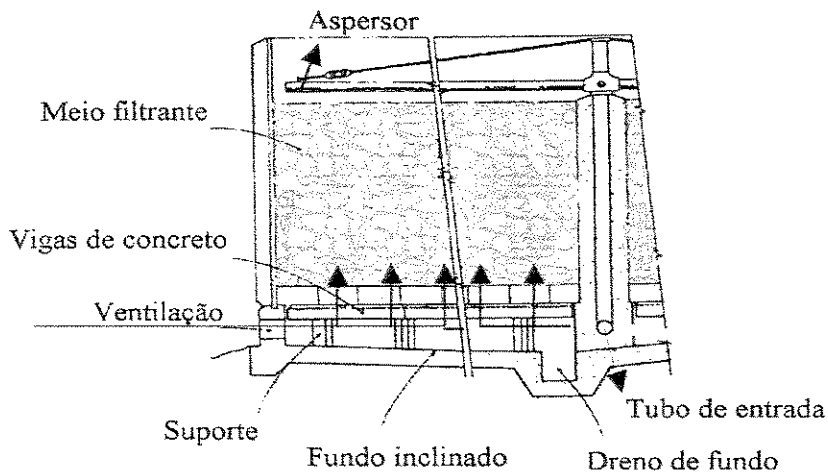


Figura 3.40 – Corte esquemático de um filtro biológico.

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY (1991).

Tabela 3.18- Características dos tipos de filtros biológicos.

Tipo	Baixa carga	Carga intermediária	Carga alta	Carga muito alta
Características				
Carga hidráulica $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	1-4	4-10	10-40	20-200
Carga orgânica $\text{kg DBO}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$	0,08 – 0,32	0,24 – 0,48	0,32 - 1,0	0,80 – 6,0
Profundidade m	1,5 – 3,0	1,25 – 2,5	1,0 – 2,0	4,5 - 12
Relação de recirculação	0	0 – 1	1 - 3 ; 2 - 1	1-4
Meio filtrante	Pedras, escórias, etc.	Pedras, escórias, etc.	Pedras, escórias, etc, materiais sintéticos	Materiais sintéticos
Necessidade de energia $\text{kw}/10^3 \text{ m}^3$	2 – 4	2 – 8	6 - 10	10 – 20
Presença de mosca	Em número elevado	Em número intermediário	Em número pequeno	Em número pequeno ou nenhuma
Arraste de sólidos	Intermitente	Intermitente	Contínuo	Contínuo
Efluente	Geralmente totalmente nitrificado	Parcialmente nitrificado	Nitrificado com baixas cargas	Nitrificado com baixas cargas

FONTE: Adaptado de METCALF e EDDY (1991).

colônias, que são as principais responsáveis pela floculação. A FIG.3.42 ilustra uma colônia de cíliados pedunculados encontradas e efluentes de sistemas do tipo lodos ativados.

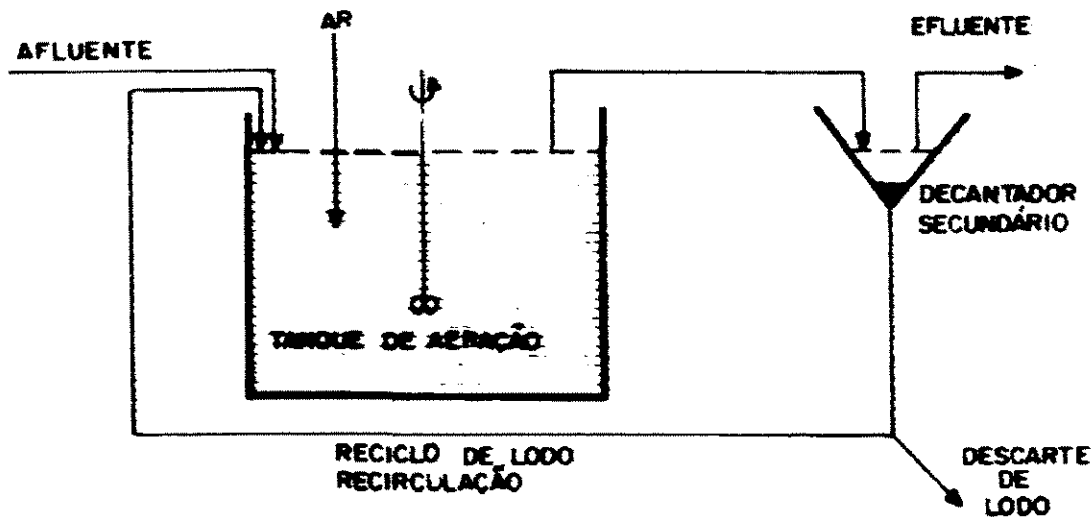


Figura 3.41 – Desenho esquemático do processo de lodos ativados.

Fonte: Adaptado de VAZOLLÉR (1989).

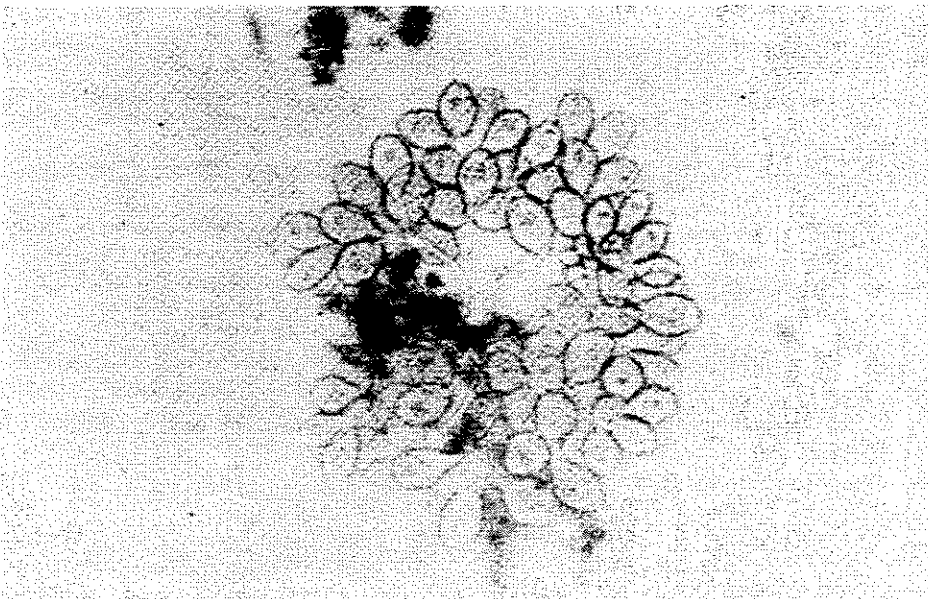


Figura 3.42 – Ilustração do floco formado pelo agrupamento de cíliados pedunculados.

Fonte: VAZOLLÉR (1989).

Conforme SENAI (1991), os filtros são utilizados para diminuir a elevada carga orgânica de um despejo líquido qualquer. Pode ser usado portanto, como um primeiro tratamento biológico. Quando o efluente possuir elevado teor de óleos e graxas, e sólidos sedimentáveis, há necessidade de um flotador ou decantador primário, caso contrário, existe possibilidade de colmatação do meio filtrante. Tem como desvantagem também a proliferação de insetos.

c) lodos ativados: segundo a EPA (1974), o processo foi desenvolvido por Arden e Lockett na Inglaterra entre os anos de 1912 e 1914. O sistema tem como resultado a depuração do resíduo líquido, com a introdução de oxigênio através de aeração, onde ocorre o desenvolvimento de bactérias e outros organismos no reator, produzindo o floco biológico. Após a formação do floco, o mesmo pode ser removido por sedimentação, ou recirculado para o reator, aumentando os valores das taxas de purificação. Segundo YAMASSAKI (1996), a concentração de sólidos que entra no sedimentador depende do tempo de retenção celular (θ_C) do sistema, do tempo de detenção hidráulico (θ_H) do reator e da configuração do mesmo.

Segundo METCALF e EDDY (1985), o sistema consiste em um reator, onde é mantido em suspensão o cultivo de microrganismos aeróbios, e é introduzido o resíduo líquido a ser tratado. A aeração é conseguida através de aeradores mecânicos ou difusores de ar, que têm a finalidade de manter o ambiente em condições aeróbias e promover a mistura entre o resíduo líquido a ser tratado e a biomassa. Após esta etapa, o líquido é enviado a um tanque de decantação onde é feita a separação da fase líquida e da sólida. Parte dessa massa biológica retida no fundo do decantador, é recirculada com a finalidade de manter a concentração de microrganismos no reator. Parte desse lodo é periodicamente descartado. A FIG. 3.41 mostra um desenho esquemático do processo.

JORDÃO e PESSOA (1975), comentam que lodos ativados são flocos produzidos na presença de oxigênio, formados pela depuração de águas residuárias pré tratadas ou não, através de bactérias que produzem ou formam uma massa gelatinosa denominada zoogleas, e outros microrganismos em concentração suficiente, graças à recirculação ou preservação de flocos já formados. As bactérias formam uma massa gelatinosa facilitando a formação de

A CETESB (1991), comenta que muitas variações do sistema lodos ativados do tipo convencional têm sido propostas para o tratamento de águas residuárias oriundas de processos têxteis. Os sistemas usualmente preferidos são algumas formas do sistema lodos ativados do tipo mistura completa. Recomenda ainda o tratamento de efluentes líquidos têxteis através de lodos ativados modalidade aeração prolongada, que é uma variação do sistema de lodos ativados com reator de mistura completa. Com a aeração prolongada é possível a remoção simultânea da matéria orgânica do despejo, com eficiência na faixa de 90 a 98 %, produzindo um efluente líquido altamente nitrificado, e propiciando a digestão aeróbia do lodo.

3.5.3. Tratamento terciário

Segundo a CETESB (1991), o tratamento terciário na indústria têxtil é utilizado com a função de melhorar a qualidade do efluente líquido, proporcionando a remoção de cor. Após o tratamento biológico, por lodos ativados, modalidade aeração prolongada, esta remoção pode chegar a 65 %. Quando essa porcentagem não atinge as exigências requeridas pode ser usado o tratamento terciário, como complemento para o atendimento das mesmas. Alguns sistemas utilizam esse tipo de tratamento também para remoção de nutrientes, oferecendo condições de reuso, ou reciclagem às águas residuárias. Algumas alternativas para tratar os despejos líquidos têxteis a nível terciário, são apresentadas e ilustradas no fluxograma da FIG. 3.43.

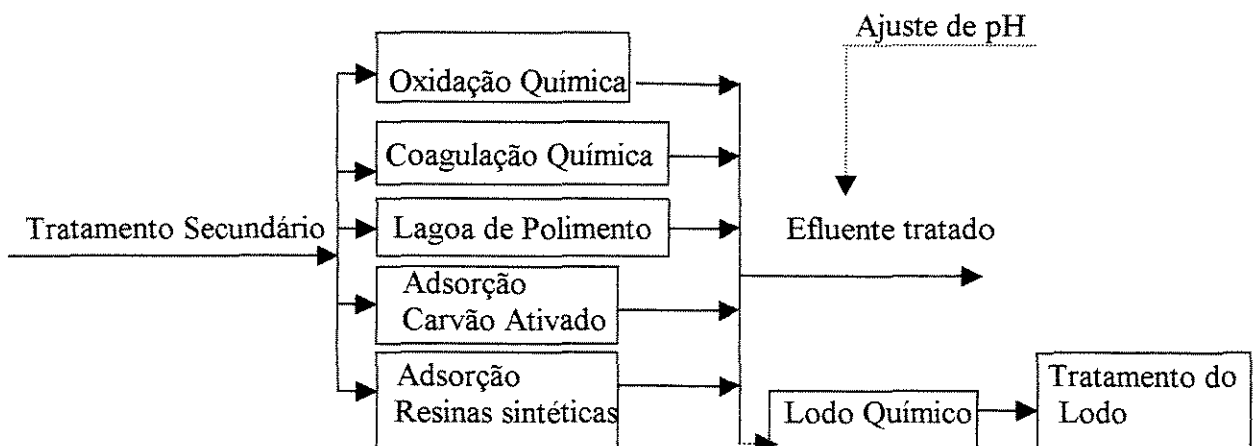


Figura 3.43 - Fluxograma representando as alternativas dos tipos de tratamento a nível terciário.
Fonte: adaptado de CETESB (1991).

a) oxidação química: segundo Nunes (1996), a oxidação química ocorre através de reação, sendo o agente oxidante a espécie química que ganha elétrons, sofrendo redução. A espécie química que perde elétrons sofre oxidação. No tratamento de águas residuárias o oxidante pode ser o oxigênio dissolvido, o hipoclorito de sódio, o permanganato de potássio, o peróxido de hidrogênio, podendo ser destacados ainda, o cloro e o ozônio.

a1) cloro: segundo DI BERNARDO (1993), quando a água a ser tratada é poluída, o objetivo da cloração é utilizar a ação oxidante do cloro, que pode agir de duas formas principais:

- como agente desinfetante, eliminando microrganismos patogênicos, algas e bactérias de vida livre;
- como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes.

CARRY e OUTROS (1980), citados por BRESAOLA (1983), recomendam a utilização de gás cloro para a remoção de cor em efluentes de tinturaria. A dosagem de cloro recomendada é da ordem de 172 mg/L, a valores de pH variando entre 6,5 a 7,5. Nesse intervalo, a composição aproximada é de 135 mg/L de íon hipocloroso, e cerca de 37 mg/L de íon hipoclorito. Segundo os autores, para oxidação da cor (remoção de corantes), o íon hipocloroso é mais eficiente.

a2) ozonização: Atualmente, segundo DI BERNARDO (1993), o ozônio tem sido utilizado não só na desinfecção, mas também como agente oxidante de matéria orgânica, inorgânica e como auxiliar na remoção de turbidez e cor.

Conforme METCALF e EDDY (1985), tanto o cloro como o ozônio podem ser utilizados para reduzir a matéria orgânica residual e microrganismos, sendo a eliminação da cor uma vantagem adicional quando se usa ozônio.

b) coagulação química: NUNES (1996), cita que o tratamento físico-químico por coagulação – floculação de efluentes líquidos industriais tem sido utilizado como tratamento primário, anteriormente ao tratamento biológico, com o intuito de diminuir a carga poluidora,

para o tratamento secundário. Isto propicia um sistema que utiliza investimentos relativamente reduzidos. Os curtumes, indústrias têxteis, indústrias de papel e celulose, são exemplos de indústrias que mais empregam o tratamento físico - químico associado ao tratamento biológico, como opção secundária.

Segundo a CETESB (1991), para o setor têxtil, o tratamento por coagulação química é um dos processos mais utilizados para remoção da cor presente nos efluentes líquidos têxteis (não removidas no tratamento biológico).

GRAU (1991), cita que o tratamento biológico praticamente não remove cor, sendo necessário complementar com o físico - químico. Para o caso de efluentes alcalinos a coagulação - floculação pode preceder, com vantagens, ao tratamento biológico, pois pode ser utilizado o sulfato ferroso, que necessita de valores elevados de pH para que ocorra a coagulação. Após a reação ocorre uma diminuição no valor do pH. Alguns sais de metais pesados e sulfetos são precipitados e adsorvidos pelos flocos de hidróxidos de ferro. O autor cita que BARTUSEK et al. (1985), conseguiram a remoção de cor, entre 80 a 90 %, e a de substâncias orgânicas na faixa de 35 a 55%. A desvantagem do tratamento físico - químico preceder o biológico é a produção de lodo químico, que não desidrata facilmente sendo, às vezes, necessário a utilização de filtro prensa. Ainda segundo GRAU (1991), sais de alumínio e ferro são mais adequados como coagulantes primários. A dosagem, o consumo, e conseqüentemente a geração de lodo, são menores quando o tratamento físico - químico sucede o tratamento biológico. Caso o tratamento físico - químico ocorra após o biológico, deve-se evitar o uso de sulfato ferroso, pois este necessita de valores elevados de pH para que ocorra a coagulação química, o que não acontece após o tratamento biológico, onde se tem valor de pH próximo de sete.

c) lagoa de polimento ou maturação – METCALF e EDDY (1985), comentam que as lagoas de maturação são projetadas para melhorar a qualidade dos efluentes líquidos oriundos dos tratamentos secundários. Os mecanismos biológicos envolvidos são similares aos outros processos aeróbios de cultivo em suspensão, sendo o tempo de detenção recomendado, variável entre 18 a 20 dias.

Conforme o SENAI (1991), o objetivo principal da lagoa de polimento é reduzir a concentração de coliformes e microrganismos patogênicos, podendo ocorrer também a redução da carga orgânica (que não ultrapassa os 50%). Nas lagoas de maturação, ocorre a predominância das condições aeróbias, e a profundidade útil das mesmas fica no intervalo entre 1,0 e 1,5 m.

CETESB (1992), cita que as lagoas de maturação são utilizadas para tratamento terciário de efluentes de estação de oxidação biológica, tais como filtros biológicos, lodos ativados e lagoas facultativas. O objetivo é reduzir a pequenas proporções o valor da DBO, os sólidos em suspensão, o números de bactérias, as concentrações de nitratos e fosfatos, e deste modo produzir um efluente de alta qualidade. Após o tratamento, o valor da DBO diminui, ficando próximo a 25 mg/L. Há necessidade de duas lagoas em série para que seja atingida essa redução. Ocorre também a diminuição do número das bactérias fecais e vírus, pois o meio é inóspito para estes microrganismos. Os cistos e ovos de parasitas intestinais, bem como os sólidos em suspensão, sedimentam, devido à sua densidade ser superior a do meio, e também ao longo tempo de detenção. A eficiência de remoção de coliformes fecais é elevada podendo chegar a 99,99%.

HEGEMANN et al. (1984), citados por IMHOFF e IMHOFF (1986), indicam os valores prováveis dos parâmetros para os processos que utilizam a lagoa de polimento, para esgotos urbanos, conforme dados mostrados na TAB. 3.19.

Tabela 3.19 – Valores prováveis dos parâmetros qualitativos após o tratamento de esgotos urbanos utilizando lagoa de polimento.

Parâmetros (mg/L)	DBO	DQO	P total	N total	N-NH ₃	Sólidos em suspensão
Combinação de processos						
Tratamento Biológico e lagoa de polimento	12	75	8	30	25	12
Tratamento Biológico, lagoa de polimento com nitrificação	10	70	8	25	10	10

Fonte: IMHOFF e IMHOFF (1985).

d) Adsorção em carvão ativado: METCALF e EDDY (1985), comentam que a adsorção pode ser definida como um processo no qual as moléculas abandonam a solução e ficam retidas na superfície sólida mediante atuação de mecanismos físicos e químicos. Se as ligações estabelecidas entre a parte adsorvida e a adsorvente são muito fortes, o processo é quase sempre irreversível e se diz que ocorreu uma quimioadsorção. Por outro lado, se as ligações formadas são muito superficiais, como é característico das ligações obtidas pelas forças de Van der Waals, se diz que ocorreu uma adsorção física. As moléculas assim adsorvidas são facilmente eliminadas por troca de concentração da solução, e por esta razão, o processo é reversível. O processo de adsorção física mais freqüentemente usado para eliminação dos constituintes das águas utiliza o carvão ativado. Segundo os autores, no tratamento de esgotos sanitários, a matéria orgânica refratária não transformada após o tratamento biológico, é submetida a um sistema utilizando carvão ativado e sofre redução pela ação do mecanismo de adsorção. Os valores de DBO, após o tratamento, variam entre 2 e 7 mg/L e o valor da DQO entre 10 e 20 mg/L. Segundo NUNES (1996), existem substâncias que agem como adsorventes, fixando em sua superfície outras como as que produzem gosto e odor, e matéria orgânica dissolvida. Existem várias substâncias adsorventes. Dentre outras podem ser citados a turfa, cinzas, areia, carvão vegetal, casca de extração de tanino, flocos de hidróxido férrico, permutadores iônicos granulados, carvão ativado, etc. O carvão ativado quando utilizado para o tratamento terciário também remove cor, fenóis, nutrientes (fosfato, nitratos), sólidos em suspensão e matéria orgânica não biodegradável.

Segundo GRAU (1991), o carvão ativado pode ser usado com sucesso na forma de pó conjuntamente com o tratamento biológico por lodos ativados.

NUNES (1996), comenta ainda que no tratamento físico-químico por coagulação - floculação, é possível obter um tratamento com elevada eficiência, combinando-se um sistema com carvão ativado a jusante do tratamento físico-químico. O tempo de contato do resíduo líquido com o carvão ativado deve ser variável no intervalo de 15 a 40 minutos, segundo o autor.

Conforme TEXTILE...(1975), o carvão ativado é usado no tratamento de efluentes líquidos oriundos de indústria têxtil para remover: matéria orgânica, corantes solúveis,

DBO₅ com eficiência que varia entre 25 e 40 %, DQO com índice variando entre 25 e 60%, e cor em até 70%.

e) Troca iônica: METCALF e EDDY (1985), descrevem a troca iônica como sendo um processo unitário no qual os íons de uma dada espécie, presentes em um material solúvel, são trocados por íons diferentes da solução. Este processo é muito utilizado para o abrandamento industrial, onde os íons de sódio procedentes de uma resina de troca catiônica, substituem cálcio e magnésio presentes na água, reduzindo assim a dureza. Ainda, segundo os autores, para a redução dos sólidos totais dissolvidos, pode-se usar resinas de troca catiônica e aniônica. Os despejos líquidos devem passar através de um trocador catiônico, onde os íons carregados positivamente, são substituídos por íons de hidrogênio. Depois o efluente passa pelo trocador aniônico, onde os íons são substituídos por íons hidroxila. Os sólidos dissolvidos são trocados por íons de hidrogênio e hidroxila, que reagem entre si, produzindo água.

Conforme NUNES (1996), o processo consiste na separação dos íons fosfato, nitratos, sais (cloretos), amônia (NH_4^+), cobre (Cu^{+2}), zinco (Zn^{+2}), níquel (Ni^{+2}), por processo de troca iônica. Os íons de amônia estão presentes nos sistemas biológicos de tratamento, provenientes da decomposição da matéria orgânica nitrogenada (pH em torno de 6,5) e os outros íons (CrO_4^{2-} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , etc), são encontrados nos efluentes líquidos, principalmente de galvanoplastia. Quando são encontrados nos despejos, tanto cátions, como ânions, podem ser utilizados trocadores em série, para a eliminação dos mesmos da solução.

A FIG. 3.44 mostra o desenho esquemático de um trocador de íons em série, ilustrando o tratamento de um resíduo contendo diferentes tipos de íons que se deseja remover. Inicialmente o despejo líquido passa por um filtro de carvão, e logo após, segue para o trocador de cátions, onde são retidos os íons de carga positiva.

Na sequência, segue para o trocador de ânions, onde são retidos os íons de carga negativa, finalizando a etapa de tratamento. Segundo Nunes (1996), as resinas depois de saturadas podem ser regeneradas. Para os trocadores de cátions, o processo de regeneração ocorre através da lavagem contra corrente, aplicando-se uma solução de NaCl, quando o

elemento regenerado for o sódio; ou uma solução de ácido sulfúrico, quando o elemento regenerado for o hidrogênio. Para os trocadores de ânions, a lavagem também é feita contra corrente, aplicando-se uma solução de hidróxido de sódio ou hidróxido de amônio.

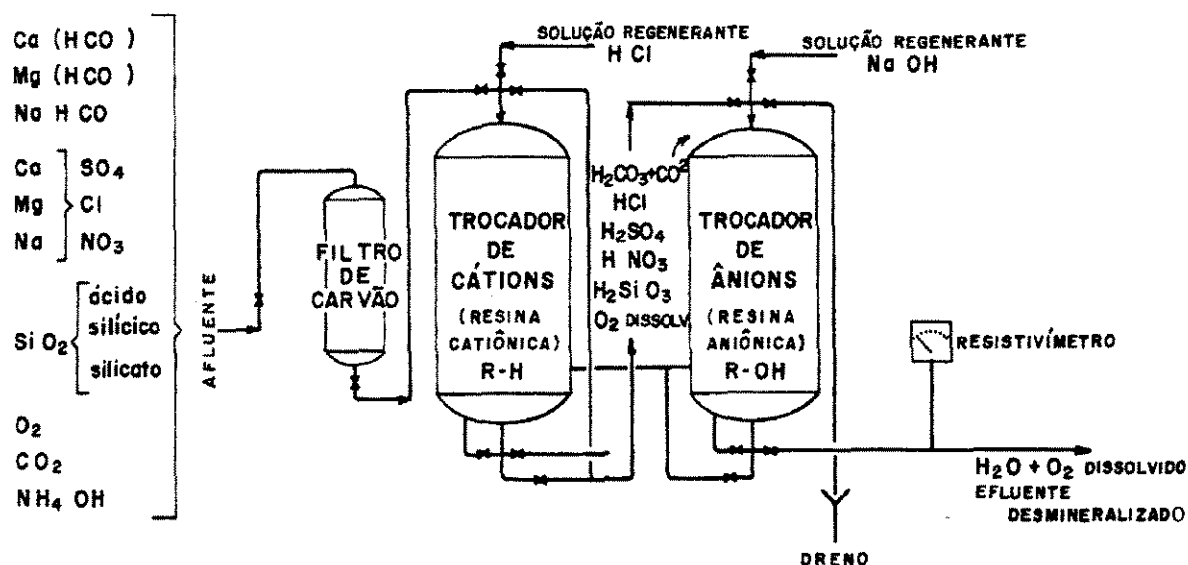


Figura 3.44 – Desenho esquemático de um trocador de íons

Fonte: MACINTYRE (1988).

f) Eletrodialise: METCALF e EDDY (1985), avaliam o processo que ocorre com o uso de membranas semi – permeáveis, que separam os componentes iônicos de uma solução. Através de uma diferença de carga entre dois eletrodos, é provocada uma corrente elétrica, na solução. Esta, por sua vez, provoca uma migração de cátions para o eletrodo negativo, e de ânions para o eletrodo positivo. As diferentes membranas ficam dispostas de forma alternada, conforme o esquema ilustrado na FIG. 3.45, e permitem só a passagem dos cátions, enquanto a outra, só a dos ânions, formando assim células de efluentes concentrados e diluídos.

Segundo NUNES (1996), nas células deste tipo de tratamento, existem membranas seletivas de um só tipo de íons, existindo as que são permeáveis somente a cátions e a ânions, ou seja, não permitem a passagem dos íons do mesmo sinal que ela, sendo que as negativas não permitem a passagem dos ânions, e as positivas não permitem a passagem dos

cátions. A eficiência aumenta com o uso de um número maior de membranas instaladas e células dispostas em série.

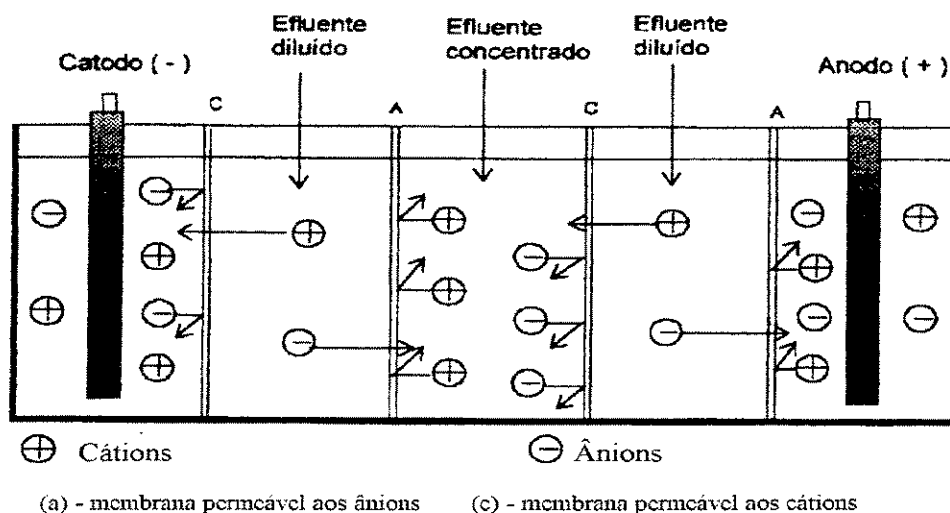


Figura: 3.45 – Desenho esquemático de um sistema de eletrodialise.

Fonte: NUNES (1996).

g) Osmose reversa: METCALF e EDDY (1985), avaliam esta tecnologia, aplicada na reutilização de água, como sendo de custo elevado. Tem a vantagem adicional de eliminar a matéria orgânica dissolvida. O processo ocorre com a utilização de membranas semi – permeáveis a uma pressão que varia desde a atmosférica até a 10.000 kN/m^2 .

SILVA (1995), cita a osmose, como sendo um fenômeno natural, que acontece quando duas soluções, com diferentes concentrações, num mesmo recipiente, separados por uma membrana, entram em equilíbrio. Isso ocorre com a passagem pela membrana da solução mais diluída, para a solução mais concentrada. Neste ponto, a parte do recipiente que contém a solução mais concentrada, estará em um nível mais elevado que a parte do recipiente que contém a solução mais diluída. A diferença de nível é a pressão osmótica. A FIG. 3.46 a e b representa um desenho esquemático do fenômeno.

Segundo NUNES (1996), a osmose reversa consiste em aplicar uma força bem maior que a força osmótica no compartimento da solução concentrada, ilustrado na FIG. 3.47, obrigando o resíduo líquido a passar pela membrana semi-permeável. A aplicação dessa

tecnologia requer pré-tratamento, sendo restrita para águas com concentração elevada de sais dissolvidos.

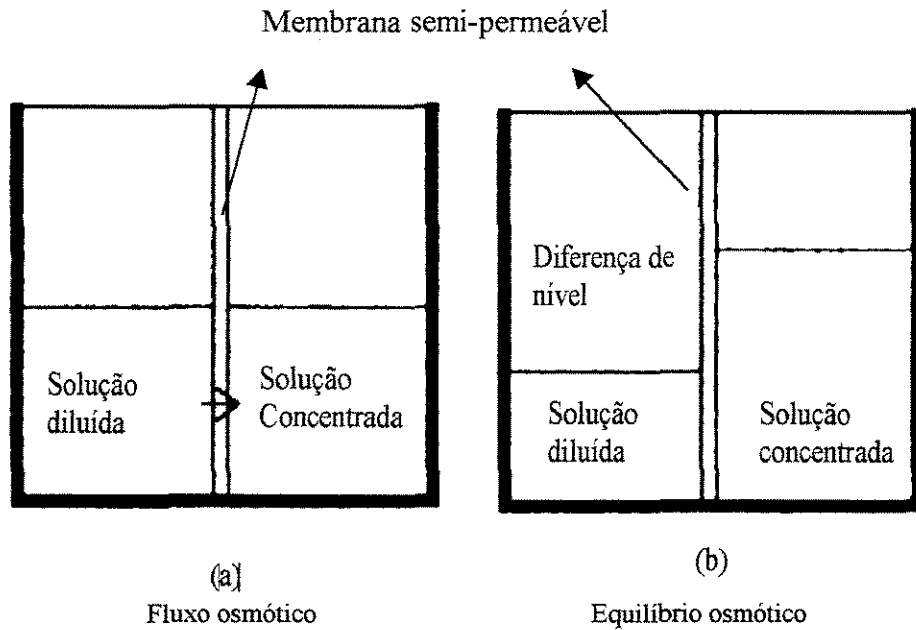


Figura 3.46 - Desenho esquemático do processo de osmose.

Fonte: Nunes (1996).

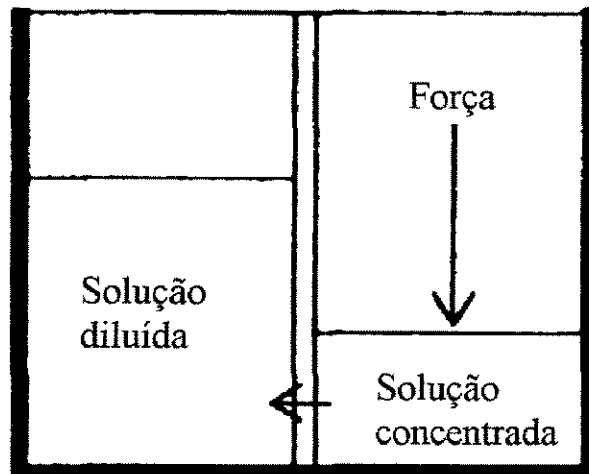


Figura 3.47- Desenho esquemático do processo de osmose reversa.

Fonte: NUNES (1996).

As TAB. 3.20 e 3.21 apresentam parâmetros e faixas de eficiência para diversos processos de tratamento.

Tabela 3.20 - Qualidade dos despejos líquidos industriais têxteis após várias etapas de tratamento para três amostras distintas de uma mesma indústria.

Etapas	Afluente			Após o tratamento físico – químico			Após o biológico			Após o terciário		
Parâmetros												
Amostra	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DBO (mg/L)	940	200	280	512	120	160	70	10	18	15	7	6
DQO (mg/L)	2560	900	700	1250	300	250	780	120	105	310	80	100
Turbidez (uT)	261	86	112	75	50	78	28	8	26	5	9	18
Sólidos Suspensos (mg/L)	400	130	170	114	75	119	41	25	42	10	14	30
PO ₄ (mg/L)	65	15	17	16	11	7	27	13	9	24	10	6
N – NO ₃ (mg/L)	25	13	11	20	12	5	17	15	6	14	11	5
STD (mg/L)	2500	2000	1900	2100	2300	1900	2100	2800	2100	2000	2700	2100
Condutividade (μS/cm)	3500	2800	2660	2940	2750	2660	2940	2900	2940	2800	2750	2940

Fonte: NICOLAU e HADJIVASSILIS (1992).

Tabela 3.21 - Faixas de eficiência de remoção em porcentagens, para os diversos processos, que normalmente são conseguidas para os despejos líquidos têxteis.

Parâmetros	DBO ₅	DQO	SST	O.G.	Cor
Tipo e unidade de tratamento					
Tratamento Primário					
Peneiramento	0-5	-	5-20	-	-
Equalização	0-20	-	-	-	-
Neutralização	-	-	-	-	-
Coagulação Química (a remoção depende dos produtos químicos e das dosagens utilizadas)	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Flotação	30-50	20-40	50-60	90-98	-
Sedimentação primária	5-15	-	15-60	-	-
Tratamento Secundário					
Lodos ativados convencionais e clarificação	70-95	50-70	85-90	0-15	A remoção de cor no tratamento biológico não foi documentada
Aeração prolongada e clarificação	70-94	50-70	85-95	0-15	
Lagoa aerada e clarificação	60-90	45-60	85-95	0-10	
Lagoa aeróbia	50-80	35-60	50-80	0-10	
Filtros biológicos	40-70	20-40	-	-	
Lodos ativados em dois estágios	90	-	-	-	
Filtros biológicos em dois estágios	90	-	-	-	
Filtro biológico de alta taxa, seguido de Lodos ativados	90	-	-	-	
Tratamento Terciário					
Coagulação química	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Filtração em meio misto	25-40	25-40	80	-	-
Adsorção em carvão ativado	25-40	25-60	25-40	-	0-70
Cloração	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonização	-	30-40	50-70	-	70-80
Lagoa de polimento	50	-	-	-	-
Tratamento Avançado					
Irrigação por "spray"	90-95	80-90	95-98	-	-
Evaporação	98-99	95-98	99	-	-
Osmose reversa	95-99	90-95	95-98	-	-

Fonte: CETESB (1991).

3.6. Tratamento biológico pelo processo de lodos ativados por batelada (LAB).

WONG e CHOI (1988), comentam sobre trabalhos recentes apontando o processo de lodos ativados por batelada (LAB), como um sistema com capacidade de absorção de choque de cargas e simplicidade de operação. As remoções de nitrogênio e fósforo podem ser alcançadas simultaneamente, com o uso desse tipo de tratamento.

KETCHUM, et al. (1979), através de análises de custo realizadas, comentam que, em geral, o processo de lodos ativados por batelada, consiste de um ou mais tanques que podem ser operados em paralelo, com as etapas de reação e sedimentação, ocorrendo no mesmo tanque. No sistema constituído por vários tanques, enquanto um deles recebe o resíduo líquido a ser tratado, os outros estão realizando as etapas de reação, sedimentação, descarte ou repouso. Quando ocorre o enchimento do primeiro tanque, a entrada do efluente é desviada para o seguinte, que já terminou a fase de descarte e está aguardando para receber o despejo líquido. O primeiro tanque é aerado durante a fase de enchimento e continua após o enchimento, até ser alcançada a meta de oxidação. O aerador é então desligado passando para a etapa de clarificação, permitindo que os sólidos sedimentem. Em seguida, ocorre o descarte do sobrenadante. O lodo sedimentado é retido, mantendo a concentração de sólidos desejada para o novo ciclo.

De acordo com KAMIYAMA e TSUTIYA (1992), o processo se caracteriza por realizar várias etapas de tratamento em um mesmo reator (enchimento, reação, sedimentação, descarte de lodo, descarte do efluente tratado e repouso), dispensando os decantadores secundários e elevatórias para recirculação de lodo, bem como os equipamentos necessários para realização dessas etapas no tratamento convencional. Sua principal vantagem consiste na flexibilidade operacional, reduzindo custos de energia e de implantação, quando comparado com o sistema convencional. O reator tipo LAB tem sido cada vez mais usado em países desenvolvidos como Austrália, Estados Unidos e Japão, para tratamento de esgotos sanitários de pequenas e médias comunidades. O reator batelada pode ser uma alternativa econômica para estações de grande porte, e segundo estudos realizados pelos autores, os custos de implantação para um sistema desse tipo, com vazão de 100.000 m³/d, se comparado aos custos de implantação de um sistema convencional, pode gerar uma economia da ordem de 17%.

HERZBRUN, et al. (1988) citam o LAB como um sistema alternativo para tratamento de resíduos perigosos. Em seus estudos, o sistema causou uma economia no uso de carvão ativado granular, com remoção de carbono orgânico total e fenol, em valores da ordem de até 81 e 99,2%, respectivamente.

CHERNICHARO e SPERLING (1993), citados por YAMASSAKI (1996), descrevem o sistema como sendo um reator de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento. A necessidade de decantadores é eliminada, pois a massa biológica permanece nos reatores durante todos os ciclos.

METCALF e EDDY (1985), descrevem os reatores batelada como um tipo de reator onde não há fluxo de entrada, nem de saída, durante a degradação da matéria orgânica.

PIRES e FIGUEIREDO (1995), concluíram em seus estudos que durante o período de enchimento, com aeração, ocorre uma boa remoção de matéria orgânica.

IRVINE (1985) citado por AURORA, BARTH e UMPHRES (1985), comenta sobre a concentração do RNA (ácido ribonucléico) dos microrganismos presentes nos reatores batelada, ser de 3 a 4 vezes maior do que os encontrados nos existentes sistemas convencionais de lodos ativados. Sendo assim, a cultura presente em reatores batelada é capaz de degradar grande quantidade de substrato, e em maiores proporções, que no sistema convencional de fluxo contínuo, pois a taxa de crescimento dos microrganismos depende da quantidade do RNA contido nas células. Ainda segundo esses autores, as etapas de enchimento, reação, sedimentação, descarte de lodo e do sobrenadante, são realizadas em um mesmo tanque, dispensando o uso de decantadores. Podem ser destacadas ainda as seguintes vantagens em relação ao sistema convencional de lodos ativados de fluxo contínuo:

a) o reator, durante a fase de enchimento funciona como um tanque de equalização, podendo receber picos de vazão e choques de cargas de DBO, sem necessariamente alterar a qualidade do resíduo líquido tratado. Houve melhoria de qualidade no efluente de várias estações de tratamento de lodos ativados de fluxo contínuo, de pequenas comunidades, quando adaptados para reatores tipo LAB;

b) como as descargas do efluente líquido tratado ocorrem de forma periódica, o despejo pode ficar retido até que se atinja o nível de tratamento desejado;

c) durante o início de funcionamento do sistema, pode ocorrer que a vazão seja significativamente baixa. Então a capacidade projetada pode ser diminuída com a utilização de

apenas uma parte do reator, e dependendo do sistema de aeração utilizado, poderá haver uma redução no consumo de energia;

d) a instalação pode ser executada em módulos, a medida em que a vazão afluente aumenta em função de um crescimento da demanda;

e) existe possibilidade de arraste de sólidos suspensos voláteis ativados, provocados por repentinos aumentos de vazão em sistemas de fluxo contínuo. No sistema batelada isso não ocorre, pois a sedimentação acontece sem perturbações, pois o fluxo de efluente encontra-se desviado para outro tanque;

f) não há necessidade de decantadores e sistema de recirculação de lodo;

g) durante a fase de enchimento, poderá ser controlado o crescimento de organismos filamentosos, mantendo o oxigênio dissolvido em patamares próximos de zero;

h) o sistema LAB pode ser operado para alcançar a nitrificação, desnitrificação e a remoção de fósforo do efluente tratado, alternando os tempos de aeração e os níveis de OD.

KAMIYAMA (1989), cita como vantagem, a adaptabilidade à automação do processo de tratamento tipo LAB, decorrente da simplicidade operacional do processo. Essa vantagem se baseia no fechamento de válvulas de tubulação ou da comporta do canal, do despejo afluente num reator, transferindo-o para outro quando o nível pré-estabelecido é atingido. Na sequência, o aerador pode ser desligado, se o tempo de reação já estiver transcorrido. Com o desligamento do aerador, inicia-se a sedimentação dos flocos biológicos, durante período de tempo suficiente para que ocorra boa separação entre a fase sólida e a líquida. Terminada essa etapa, é aberta a válvula para a drenagem do efluente clarificado, até que seja atingido um nível do reator com valor pré-estabelecido, quando é fechada a válvula de drenagem. Assim, o mesmo está pronto para iniciar outra batelada. O descarte de lodo para controle do tempo de retenção celular (θ_c), pode também ser automatizado da mesma forma. Para o gerenciamento das operações descritas, pode-se utilizar um microprocessador, reduzindo sensivelmente os gastos com mão de obra.

IRVINE e BUSH (1979) e IRVINE, MILLER e BHAMRAH (1979), comentam sobre as etapas de tratamento do sistema LAB, ilustrada esquematicamente na FIG. 3.48.

a) enchimento: período necessário para que o volume a ser tratado seja transferido ao reator, podendo-se ou não iniciar a aeração do efluente. Antes da fase de enchimento, no lodo presente no reator, quando estudado, deve ser observada uma grande população de microrganismos ativa;

b) reação: o tanque, após a fase de enchimento, atinge o nível desejado, e portanto, não recebe mais o despejo líquido, dando continuidade às reações, que possibilitam o tratamento do substrato. Controlando-se o período de aeração, podem ser atingidas condições específicas de tratamento, como por exemplo, a nitrificação e a desnitrificação do mesmo;

c) sedimentação: neste período não ocorre mistura e aeração, facilitando a separação física entre as fases sólida e a líquida, possibilitando um efluente clarificado na parte superior do reator;

d) drenagem: após a clarificação do efluente, ocorre o seu descarte, permanecendo no reator o lodo biológico, que propiciará o tratamento dos despejos líquidos do próximo ciclo;

e) repouso: período de tempo entre o final da etapa de drenagem e o início do próximo ciclo. Os descartes de lodo podem ser realizados nesta fase, ou no final do período de reação.

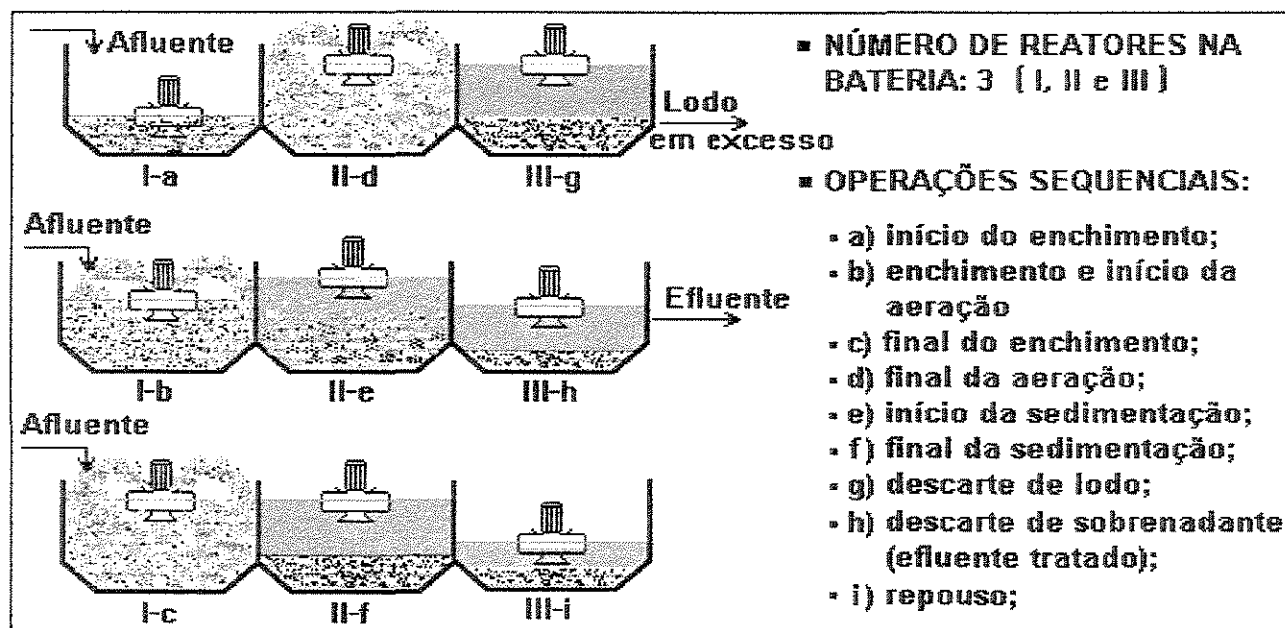


Figura 3.48- Ciclo de operações sequenciais em uma bateria de três reatores de lodos ativados tipo batelada.

Fonte: Mendes (1996).

GORONSZI (1979), cita que os reatores do tipo LAB possuem uma grande flexibilidade operacional, se comparado com o sistema contínuo, sendo simples e versátil, com bom desempenho, sem uma freqüente supervisão ou manutenção. Neste tipo de tratamento, os problemas de sedimentação e retorno do lodo não ocorrem.

KAMIYAMA (1989), comenta que dentre as variantes do processo de lodos ativados, o LAB é talvez o mais eficiente em termos de remoção de nutrientes. Isso é possível com a introdução de uma fase de carência de oxigênio (anox), numa das etapas do processo, possibilitando tanto a capacidade de absorção de fósforo, quanto a remoção de nitrogênio sob condições de falta de oxigênio livre.

Segundo MENDES (1996), o uso de reatores de lodos ativados tipo batelada vem sendo intensificado nos últimos anos, em vários países, devido à sua simplicidade operacional, possibilidade de automação e flexibilidade de estratégias de operação. Estes quesitos podem permitir a remoção de nutrientes e absorção de picos de cargas volumétricas e/ou orgânicas, baixa produção de lodo e alta eficiência de remoção de compostos orgânicos aliados à economia de energia e de implantação, quando comparados com os sistemas de lodos ativados convencionais e suas variantes. Não existem porém, parâmetros e modelos matemáticos bem definidos, que possam ser aplicados ao projeto e operação desse tipo de sistema.

Uma metodologia para a determinação do número ideal de reatores, além dos períodos a serem adotados em cada ciclo, fração do volume reservado para lodo, foi desenvolvida por MENDES (1996). As EQ. 03, EQ. 04, EQ. 05 e EQ.06, são as utilizadas para desenvolver o equacionamento:

$$T_c = N T_e \quad (03)$$

Onde:

T_c = Período de duração de um ciclo (h);

N = Número de reatores;

T_e = Período de enchimento de um ciclo (h);

$$T_r = \left(\frac{3N-5}{3} \right) T_e - (T_s + T_p) \quad (04)$$

Onde:

T_r = Período destinado à reação com reator cheio (h);

T_s = Período destinado à sedimentação (h);

T_p = Período destinado ao repouso e espera para um novo ciclo (h);

$$T_d = T_e / 1,5 \quad (05)$$

Onde:

T_d = Período destinado a descargas de excesso de lodo e do sobrenadante (h);

$$V_r = \frac{\overline{Q_e} \cdot (T_r + T_s + T_d + T_p)}{(1-FL)(N-1)} = \frac{\overline{Q_e} \cdot T_e}{(1-FL)} \quad (06)$$

Onde:

V_r = Volume real de cada reator (m^3);

$\overline{Q_e}$ = Vazão média de enchimento (m^3/h);

FL = Fração de lodo correspondente à porcentagem do volume de total do reator destinado à preservação de lodo no reator.

3.6.1. Parâmetros de dimensionamento e controle para o sistema de lodos ativados por batelada.

Os critérios para projeto de um sistema de lodos ativados por batelada são:

a) Relação alimento/microrganismo

Segundo CHERNICHARO e SPERLING (1993), citados por PEREIRA (1996), a relação F/M é o principal parâmetro de dimensionamento, para sistemas de lodos ativados de fluxo intermitente. A EQ. 07 permite o cálculo do volume do reator:

$$V = \frac{Q \cdot (S_0 - S)}{X_v \cdot (F/M)} \quad (07)$$

Onde:

V = volume de resíduo líquido requerido para a fase de reação (m^3)

Q = vazão afluyente (m^3/d)

S₀ = valor da DBO₅ afluyente (g/m^3)

S = valor da DBO₅ solúvel efluente (g/m^3)

F/M = relação alimento/microrganismo ($kg\ DBO_5/kg\ SSVTA.d$)

X_v = concentração de sólidos suspensos voláteis no reator (mg/L)

Ainda segundo os autores, a USEPA (1992), cita que os valores de F/M recomendados variam de 0,05 a 0,50 kg DBO/kg SSVTA.d. Observam também que o volume calculado pela EQ.07, corresponde ao volume requerido à reação, para uma dada concentração de sólidos no reator, idêntico ao considerado no sistema de lodos ativados de fluxo contínuo. O volume necessário para preservação do lodo na fase de sedimentação, deve ser acrescido ao calculado. A biomassa, após a fase de enchimento ocupará o volume total do reator, tendo uma concentração inferior à utilizada no cálculo.

b) Características do reator

Segundo IRVINE e BUSCH (1979), cada tanque de um sistema batelada, pode ser operado como um reator contínuo de fluxo pistonado ou como um reator contínuo completamente misturado, conforme condições de operação. Sendo, o grau de acumulação do substrato solúvel no líquido introduzido durante a fase de enchimento e o tempo de reação, os responsáveis por determinar até que ponto um sistema batelada simula um reator contínuo de fluxo pistonado ideal. Por outro lado, um sistema LAB com um longo período de enchimento, com pequena acumulação de substrato solúvel no líquido, assemelha-se a um sistema contínuo de mistura completa.

c) Idade do Lodo

Conforme SPERLING (1997), a idade do lodo, ou tempo médio de residência celular (θ_c), ou ainda tempo de retenção celular. A EQ. 08 é utilizada para o calculo do tempo de retenção celular:

$$\theta_c = \frac{X}{\Delta X / \Delta t} \quad (08)$$

Onde:

X = Concentração de sólidos voláteis no reator (kg SSV/m³)

ΔX = Concentração de sólidos voláteis retirada do reator (kg SSV/m³)

Δt = Variação do tempo (d)

Segundo CHERNICHARO e SPERLING (1993), citados por PEREIRA (1996), é possível relacionar a idade do lodo (θ_c) com a carga orgânica (relação F/M), segundo a EQ. 09, para uma determinada quantidade de biomassa presente no reator. Este parâmetro, devido à sua provável variação pela frequência de descarte do lodo excedente, não é um critério de dimensionamento para os sistemas de lodos ativados tipo batelada, devendo ser considerado quando se deseja avaliar diferentes modalidades de aeração. Como exemplo podem ser citadas as modalidades de aeração convencionais e prolongadas, tendo cada tipo, idades de lodos diferentes:

- $\theta_c = 5$ dias: aeração convencional, sem remoção de nutrientes (nível secundário) ;
- $\theta_c = 10$ dias: aeração convencional, com remoção de nutrientes (nível terciário);
- $\theta_c = 22$ dias: aeração prolongada, com remoção de nutrientes (nível terciário).

$$\frac{F}{M} = \frac{\frac{1}{\theta_c} + k_d}{Y \frac{E}{100}} \quad (09)$$

Onde:

F/M = relação alimento/microrganismo (kg DBO₅/kg SSVTA.d);

θ_c = tempo médio de Retenção celular (idade do lodo) (d);

k_d = coeficiente de decaimento endógeno (d⁻¹);

Y = coeficiente de produção de sólidos (kg SSV/kg DBO.d);

E = eficiência na remoção de DBO solúvel (%)

d) Índice volumétrico de lodo

PEREIRA (1996), comenta sobre o índice volumétrico de lodo – IVL que é dado pela EQ. 10 e é definido como o volume, em mililitros, ocupado por um grama de sólidos em suspensão, em peso seco, após um intervalo de tempo de 30 min de sedimentação, em cilindro

graduado, do resíduo líquido coletado à saída do tanque de aeração, cuja unidade é mL/mg, ou mL/g.

$$IVL = \frac{\text{mL do lodo. } 1000 \text{ (mg/g)}}{\text{Concentração dos SST (mg/L)}} \quad (10)$$

RAMALHO (1983), citado por PEREIRA (1996), comenta que os valores de IVL, que indicam boas condições de sedimentabilidade, devem estar entre 35 e 150 mL/g para concentrações de SST entre 800 e 3500 mg/L. Para sistemas intermitentes CHERNICHARO e SPERLING (1993), também citados pelo autor, comentam sobre a importância da concentração do lodo, na previsão do volume a ser ocupado pela massa de sólidos suspensos presentes no reator, após a sedimentação, e recomendam valores entre 100 e 150 mL/g. Segundo KAWAI (1991), este parâmetro avalia as condições de sedimentabilidade do floco formado. Valores entre 40 a 150 mL/g indicam boa qualidade do lodo formado enquanto que valores acima de 200 mL/g dão indícios de um lodo de qualidade inferior.

e) Eficiência e taxa de utilização específica

Conforme KAWAI (1991), a eficiência de um sistema pode ser calculada em termos de remoção de DBO pela EQ. 11.

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

- E - eficiência do processo dada em % de DBO solúvel
- S_o - concentração de DBO₅ solúvel afluyente
- S - concentração de DBO₅ solúvel efluente

Segundo METCALF e EDDY (1985), a eficiência é relacionada com os termos U (taxa de utilização de microrganismo) e F/M(alimento / microrganismo) através da EQ. 12.

$$U = \frac{(F/M).E}{100} \quad (12)$$

f) Necessidade de nutrientes

Segundo RAMALHO (1983), citado por PEREIRA (1996), há necessidade de uma quantidade apropriada de certos nutrientes (nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e

vitaminas), para que ocorra a degradação biológica dos despejos. Muitos despejos industriais têm deficiência de nitrogênio e fósforo. Quando isso ocorre, é necessário uma adição de compostos contendo esses elementos, no reator aeróbio. Para os despejos oriundos de indústria têxtil a EPA (1974), TEXTILE...(1975) e a CETESB(1991), recomendam usar uma razão de DBO : N : P de 100 : 5 : 1.

g) Transferência de Oxigênio

A necessidade teórica de oxigênio, segundo METCALF e EDDY (1985), pode ser determinada através da DBO₅ do descarte e da quantidade de organismos descartados do sistema, por dia. A demanda total de oxigênio será calculada pela conversão da DBO₅ a DBO_u (DBO Última), se toda a DBO₅ foi convertida a produtos finais, usando um fator de conversão apropriado. É sabido que uma porção do descarte do sistema é transformada em novas células, e na sequência, removidas, devendo a DBO_u dessas células ser subtraída do total. A quantidade restante representa a necessidade de oxigênio do sistema.

O fator de conversão para a DBO_u de um mol de células é igual a 1,42 vezes a concentração de células, ainda segundo o autor. A necessidade teórica de oxigênio para remoção da matéria orgânica carbonácea presente no esgoto, para um sistema de lodos ativados, é dada pelas EQs. 13 e 14.

$$O_2 \text{ (kg/d)} = \text{Massa de DBO}_u \text{ (kg/d)} - 1,42 \cdot \text{Massa de organismos descartados (kg/d)} \quad (13)$$

$$O_2 = \frac{Q(S_0 - S)}{f} - 1,42 \cdot (P_x) \quad (14)$$

Onde:

O_2 : Requisito de oxigênio (kg /d)

Q: Vazão afluyente (m³/d)

S_0 : Concentração de DBO₅ afluyente (DBO total) (kg/m³)

S: Concentração de DBO₅ afluyente (DBO solúvel) (kg/m³)

f: Fator de conversão para converter DBO₅ em DBO_u

P_x : Massa de lodo ativado em excesso produzido dia (kg/d)

3.7. Tratamento físico - químico pelo processo de coagulação - floculação

ARGAMAN e KAUFMAN (1970), comentam que, a busca pela otimização do tratamento de águas residuárias, especialmente pela remoção de nutriente e reuso de água, renovou o interesse para com a precipitação química e o acompanhamento da floculação em processos de clarificação. É muito provável que qualquer problema de clarificação de uma água com alta turbidez ou de águas residuárias, continuará requerendo o uso da floculação - sedimentação como processo principal.

Conforme METCALF e EDDY (1985), o tratamento dos efluentes industriais com coagulação, através de produtos químicos, tem o objetivo de facilitar a eliminação de sólidos dissolvidos e em suspensão, com alteração do estado físico dos mesmos, e posterior sedimentação. Devido à necessidade de eliminação dos compostos orgânicos e de nutrientes (nitrogênio e fósforo) presentes nos despejos, foram desenvolvidos processos físico-químicos, conjuntamente com o tratamento biológico.

A quantidade de agentes coagulantes e o controle do processo determinam o grau de clarificação, possibilitando obter um efluente praticamente isento de matéria em suspensão, e em estado coloidal. Através da precipitação química chega-se a eliminar 80 a 90% do material em suspensão, 40 a 70% da DBO, 30 a 60% da DQO e 80 a 90 % das bactérias, segundo os autores.

Segundo DI BERNARDO (1993), o processo de coagulação - floculação depende principalmente das características das partículas presentes, bem como das características físico-químicas da água. Alguns parâmetros importantes da qualidade da água bruta indicam a sua condição de coagulação, tais como: o valor de pH, alcalinidade, cor, turbidez, temperatura, mobilidade eletroforética, força iônica, sólidos totais dissolvidos e em suspensão.

METCALF e EDDY (1985), citam que as reações químicas relacionadas à coagulação são muito complexas, e que explicam só em parte o que ocorre, podendo haver numerosas reações secundárias com outras substâncias presentes nas águas residuárias.

3.7.1. Produtos químicos utilizados

Dentre os produtos químicos utilizados no tratamento físico-químico de despejos líquidos podem ser citados os que estão presentes na TAB. 3.22.

Tabela 3.22 – Produtos químicos utilizados no tratamento físico-químico.

Produto químico	Fórmula
Sulfato de alumínio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Cloreto férrico	FeCl_3
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
Polímeros	Diversas

Fonte: adaptado de METCALF e EDDY (1985).

3.7.2.1. Características e propriedades dos colóides

Conforme MENDES (1989), a eletroforese indica a existência de cargas elétricas nas superfícies das partículas coloidais. O sinal dessa carga e sua intensidade dependem principalmente do material coloidal que a forma. As partículas com cargas similares vão manter-se afastadas umas das outras, devido à força de repulsão, não permitindo sua união para formação de partículas maiores, ocorrendo então a estabilidade dos colóides. Isto se deve principalmente, segundo METCALF e EDDY (1985), à adsorção preferencial, ionização e substituição isomórfica. Como exemplo citam as gotas de azeite, as bolhas de gás e outras substâncias inertes presentes na água, que adquirirão cargas negativas pela aquisição preferencial de ânions. Nas proteínas e microrganismos, as cargas superficiais se devem à ionização dos

grupos amina e carboxílico. No caso da argila e outras partículas de solo, ocorre o aparecimento das cargas superficiais por substituições isomórficas, com a troca dos íons da estrutura reticular, por íons da solução (substituição de Si por Al).

MENDES (1989), comenta que, as partículas coloidais são definidas por seu tamanho, variáveis de 10^{-6} a 10^{-3} mm, ilustradas na FIG. 3.49, e são classificadas em hidrofílicas e hidrofóbicas. As hidrofílicas, tais como as proteínas, sabões, detergentes e substâncias húmicas, têm forte atração por moléculas de água, enquanto as hidrofóbicas, tais como a argila, ouro e outros metais, têm fraca atração.

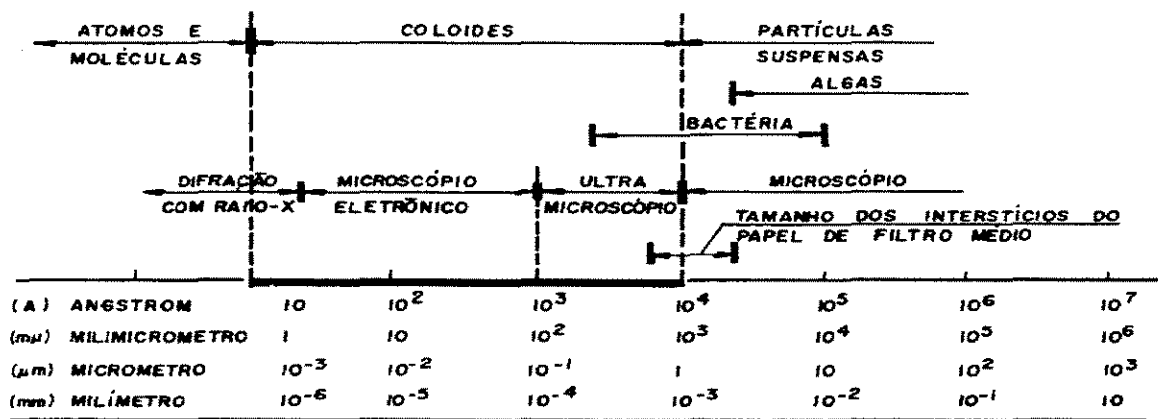


Figura 3.49 - Variação do tamanho das partículas presentes na água.

Fonte: DI BERNARDO (1993).

Conforme DI BERNARDO (1993), uma suspensão coloidal não apresenta carga elétrica líquida, mesmo com os colóides possuindo carga elétrica superficial negativa. Isso ocorre, devido a um balanço com os íons de carga contrária presentes no meio dispersante. Os íons de carga positiva envolvidos nesta eletro-neutralidade estão dispostos próximos à superfície das partículas, e juntamente com a carga desta, formam a dupla camada elétrica. Estes íons aproximam-se das cargas negativas presentes na superfície coloidal por ação de forças eletrostáticas, ficando elevada a concentração dos mesmos, próximo à superfície da partícula. O potencial elétrico formado é chamado de potencial de Nernst, que decresce na medida em que se distancia da superfície da partícula. Segundo STERN, citado pelo autor, existe uma distância entre a superfície do colóide e os íons de carga contrária, no qual o potencial elétrico decresce

linearmente. Na sequência ocorre uma diminuição exponencial, passando por uma região onde o potencial elétrico é denominado potencial Zeta. A FIG. 3.50 ilustra, esquematicamente, a dupla camada elétrica composta pela camada compacta (de Stern), e pela camada difusa, presentes na proposta de STERN.

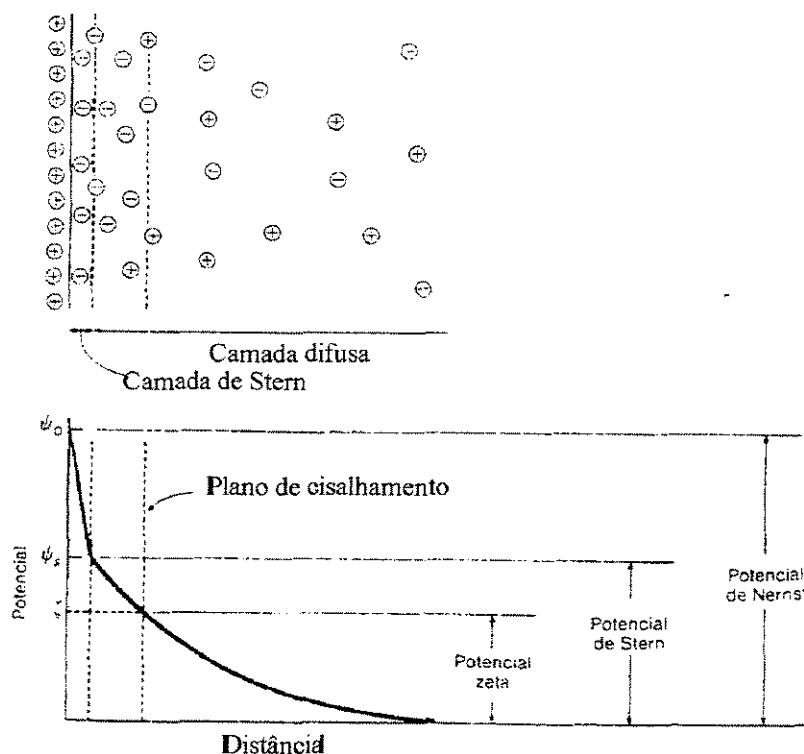


Figura 3.50 – Desenho esquemático da dupla camada elétrica de uma partícula positiva.

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY(1989).

MENDES (1989), define o potencial Zeta como sendo o potencial elétrico no plano de cisalhamento entre o corpo líquido e o invólucro de água, que se movimenta com a partícula, e sua magnitude pode ser considerada como uma estimativa da estabilidade da partícula coloidal. Valores elevados de potencial Zeta indicam grande estabilidade, e vice e versa.

MENDES (1989) comenta que entre os fatores responsáveis pela estabilização (repulsão), podem ser citados a carga elétrica e a hidratação das partículas. Os colóides

hidrofílicos sofrem mais a ação da hidratação, que consiste na propriedade de algumas partículas atraírem muitas moléculas de água para sua superfície, agindo como solvente, dificultando a sua desestabilização. As forças de gravidade e de Van der Waals agem como forças de desestabilização (atração). Outro agente desestabilizante é o movimento Browniano, que se baseia na transferência de energia cinética das moléculas do fluido para as partículas coloidais, devido ao efeito contínuo provocado pelas moléculas de água providas de energia térmica. A energia cinética do movimento é proporcional à temperatura do fluido. A FIG. 3.51 ilustra o conjunto de forças de repulsão (Dupla Camada Elétrica) e de Atração (Van der Waals) distribuídas na água pelo movimento Browniano, que contribui para a estabilidade do sistema. Na ocorrência de aproximação de duas partículas similares, ocorre interação repulsiva entre as camadas difusas devido à força eletrostática, resultando no afastamento entre as mesmas. O trabalho necessário para que ocorra a aproximação de duas partículas coloidais similares, partindo-se de uma distância infinita, é denominado como energia potencial de repulsão (V_r) e, quanto mais próximas estiverem as partículas, umas das outras, maior será o potencial

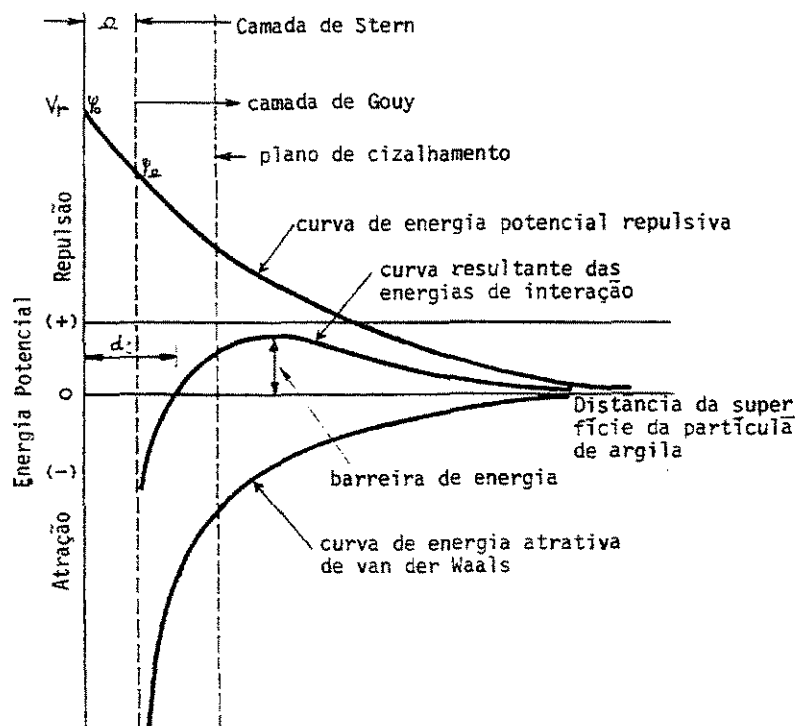


Figura 3.51– Energia potencial de interação entre as partículas coloidais.

Fonte: MENDES (1989).

de repulsão. As forças de atração de Van der Waals prevalecem a partir de uma certa distância (d_i) fazendo com que as partículas permaneçam unidas. Desta maneira, para que duas partículas fiquem juntas, deverão possuir energia cinética suficiente para vencer a barreira de energia. Essa barreira é originada pelo efeito combinado dos potenciais de atração e repulsão. Com o uso de coagulantes químicos, pode ser provocada uma diminuição da ação do potencial de repulsão, com isso, minimizando os efeitos da barreira de energia, favorecendo a desestabilização da partícula .

3.7.3. Desestabilização das partículas coloidais

3.7.3.1. Considerações gerais

Segundo METCALF e EDDY (1989), a agregação das partículas das águas residuárias, ocorre com a redução da carga das mesmas, ou superando o efeito desta carga. Isto pode acontecer de três maneiras, segundo os autores:

- Com a adição de íons que determinam o potencial para promover a coagulação, os quais serão adsorvidos ou irão atuar junto à superfície do colóide para diminuir a carga superficial, ou a adição de eletrólitos que produzam o efeito de reduzir a espessura da dupla camada elétrica, conseqüentemente, também o potencial Zeta;
- Adicionando moléculas de compostos orgânicos de grande cadeia molecular (polímeros), promovendo a coagulação das partículas por meio da adsorção, e formação de pontes entre elas;
- Pela adição de produtos químicos, que formem íons metálicos hidrolizados.

Segundo STUMM e O'MÉLIA citados por MENDES (1989), a agregação de partículas coloidais em uma suspensão acontece devido a dois fatores: a redução das forças repulsivas e os mecanismos de transporte.

A redução das forças repulsivas, através dos mecanismos de coagulação, pode ocorrer com a combinação de diferentes mecanismos: compressão da dupla camada elétrica, efeito de adsorção-neutralização e varredura. A compressão da dupla camada elétrica, acontece com a adição de íons de carga contrária às da superfície coloidal, devido ao aumento da densidade de cargas iônicas na camada difusa. Este provoca uma diminuição do volume da mencionada camada, necessária para equilibrar a carga na superfície das partículas, com isso conseguindo comprimir a mesma. Na adsorção - neutralização, a redução da carga superficial acontece por adsorção, sendo diferente do mecanismo de compressão da dupla camada. A adsorção de algumas espécies químicas pelas superfícies das partículas coloidais, carregadas com cargas contrárias às da superfície da partícula, provoca a desestabilização das mesmas. No mecanismo de varredura há a formação de precipitados, que dar-se-á em função da quantidade de sal (coagulante) adicionada, do valor de pH e da concentração de algumas espécies de íons presentes na solução. Em condições adequadas, ocorrerá então a sedimentação dos colóides, que se comportam como núcleos ou centros de aglutinação para a formação dos precipitados. Segundo PACKHAM, citado por MENDES (1992), para a coagulação na varredura, a concentração de coagulante não depende diretamente da concentração de colóides. Este mecanismo não depende da neutralização de cargas superficiais, e as melhores condições de coagulação não correspondem ao ponto de mínimo valor do potencial Zeta. Porém, o processo recebe influência direta do valor de pH e da solubilidade dos compostos de hidróxido resultantes. No mecanismo de Adsorção e Formação de Pontes são utilizados compostos químicos de grande cadeia molecular, polieletrólitos, que agem como eficientes coagulantes. Estes são classificados de acordo com a carga elétrica em: aniônicos, catiônicos, anfotéricos e não iônicos. O comportamento destes compostos, difere do modelo de compressão da dupla camada e também do de neutralização de cargas, pois é possível a desestabilização de colóides carregados negativamente por ambos os tipos de eletrólitos, catiônico ou aniônico. Segundo CAMPOS, citado por MENDES (1992), no mecanismo de formação de pontes químicas, há a adsorção dos polieletrólitos à superfície das partículas coloidais, seguido pela redução da carga ou do entrelaçamento das partículas pelos polieletrólitos. Fatores físicos e químicos, em conjunto, estão envolvidos.

A FIG. 3.52 a, apresenta de forma esquemática as curvas de coagulação segundo o mecanismo de compressão da camada difusa. No caso dos íons de sódio, cálcio e alumínio,

possuindo carga positiva, estas são atraídas pelos colóides de carga negativa, desestabilizando-os. Pode ser observado ainda, que quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para que ocorra a coagulação.

Na FIG. 3.52 b, ocorre a desestabilização de uma dispersão coloidal, através do mecanismo da adsorção – neutralização, e também a restabilização dos colóides por inversão de carga. Podem ser vistos, na FIG. 3.52 c, os efeitos da adsorção – neutralização, restabilização e varredura. A coagulação, ilustrada na FIG. 3.52 d, acontece pelo mecanismo de adsorção e formação de pontes, onde o início da coagulação e restabilização dos colóides, ocorre em dosagens muito baixas.

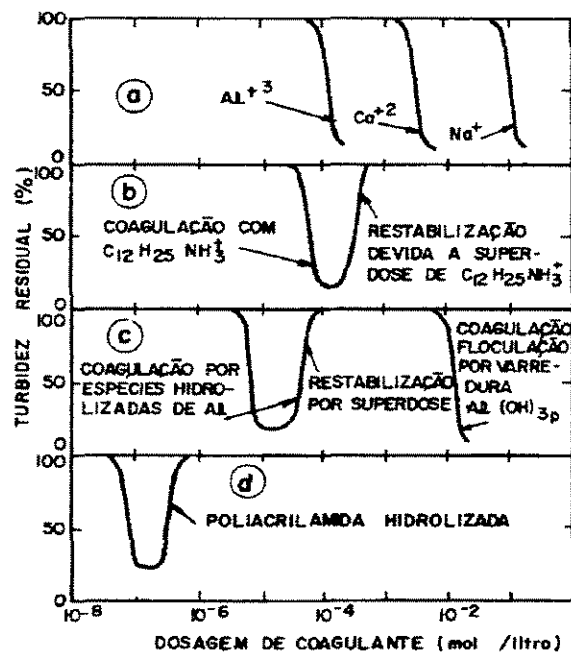


Figura 3.52 – (a, b, c, d) Turbidez residual em função da concentração de coagulante.

Fonte: DI BERNARDO (1993).

A FIG. 3.53 apresenta de forma esquemática as interações entre as moléculas dos polímeros nas partículas coloidais. Na reação nº 1, ocorre a adsorção entre a partícula coloidal e o polímero, em dosagem ótima, desestabilizando a mesma. Na reação nº 2, pode ser observado, duas partículas desestabilizadas que se envolvem, resultando na formação do floco. A reação 3, permite observar o que acontece com as partículas coloidais submetidas ao excesso de agitação, ocasionando a ruptura dos flocos previamente formados permanecendo estáveis. Na reação 4, a

aglomeração das partículas coloidais fica prejudicada devido ao efeito de proteção, causado pelos polieletrólitos, dificultando a formação dos flocos.

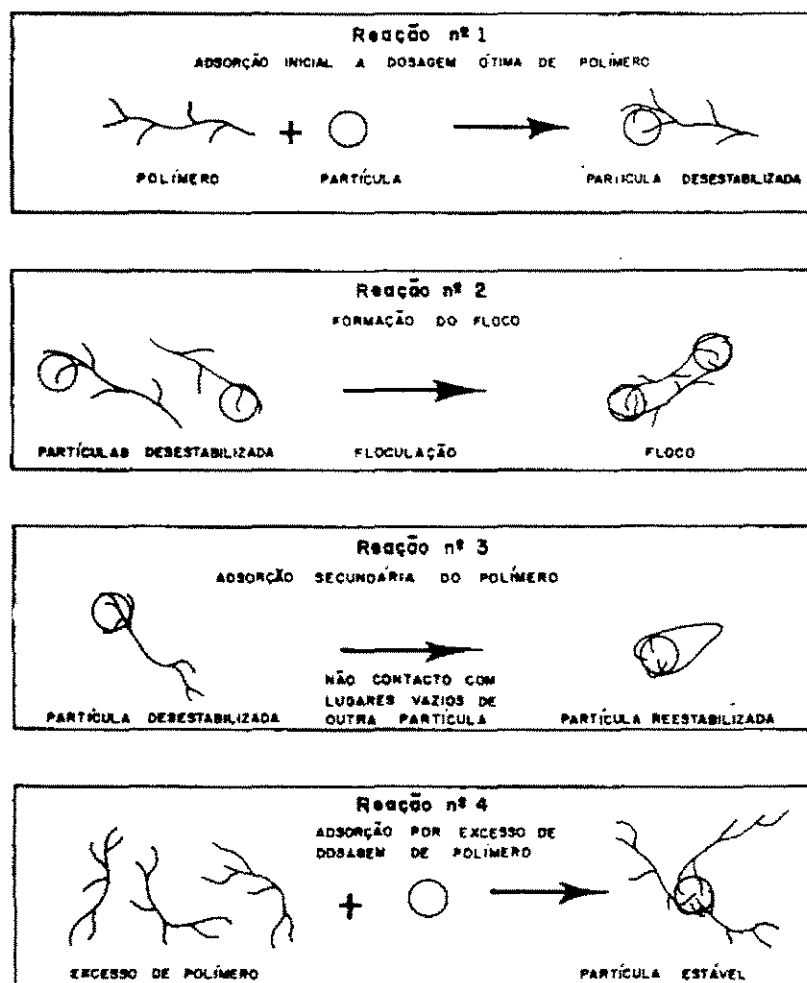


Figura 3.53 - Desenho esquemático da adsorção e subsequente interação das partículas coloidais e polímeros.

Fonte: PACHECO (1975).

Segundo AMIRTHARAJAH (1986), o processo de coagulação age desestabilizando as partículas, e possibilita a transformação das mesmas em agregados maiores,

facilitando a remoção por sedimentação. O processo de coagulação inclui num primeiro passo, a desestabilização da partícula, seguido pela floculação que causa crescimento dos agregados.

AMIRTHARAJAH e MILLS (1982), citado por MENDES (1989), desenvolveram o diagrama de solubilidade do alumínio, ilustrado pela FIG.3.54, onde podem ser observadas as regiões de ocorrência dos diversos mecanismos de coagulação, as dosagens de coagulante, e os valores de pH da mistura, no tratamento de diferentes águas naturais e sintéticas. Ainda segundo os autores, as duas regiões de coagulação pelo mecanismo de adsorção - neutralização, sofrem o efeito das espécies hidrolisadas positivas, do alumínio, que são adsorvidas pelas superfícies das partículas coloidais.

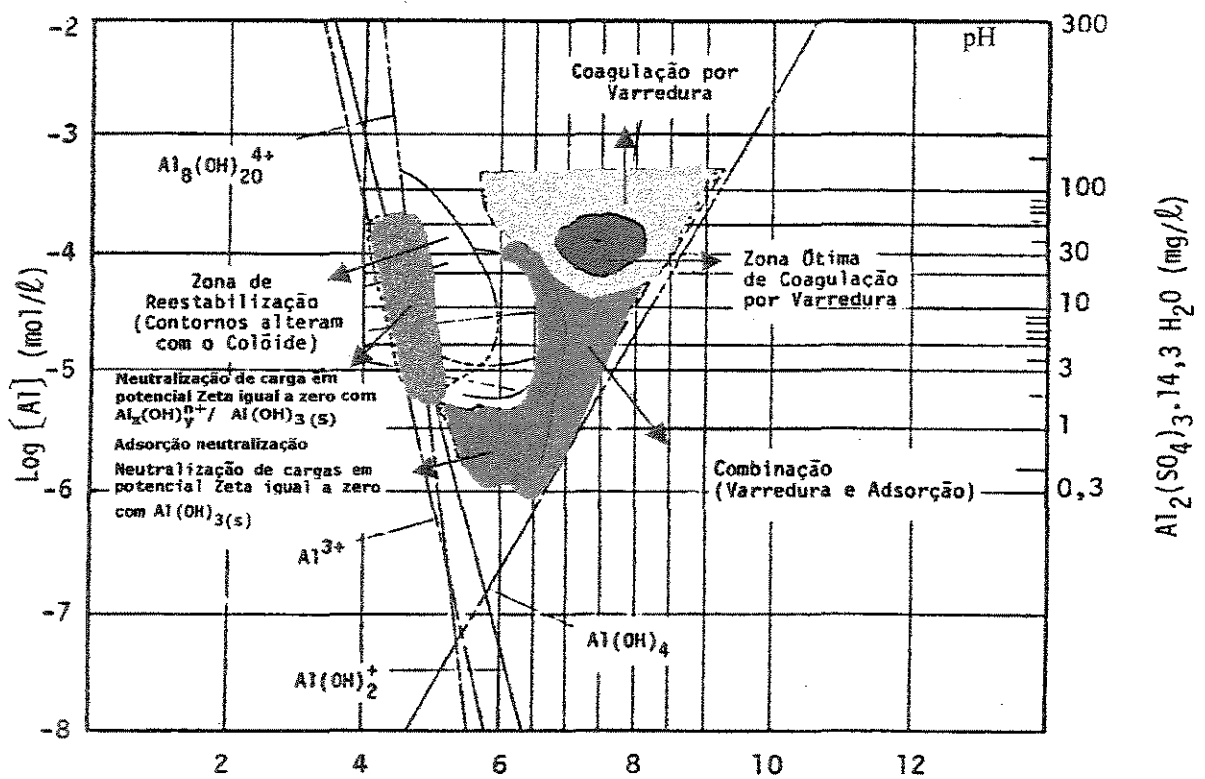


Figura 3.54 – Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para a coagulação de turbidez.

Fonte: Adaptado de MENDES (1989).

Na região de coagulação por varredura, a desestabilização se dá pela formação excessiva de precipitados de hidróxidos de Al, ocorrendo a aglutinação dos mesmos com as partículas coloidais. Este mecanismo é utilizado quando o tratamento é completo (coagulação – floculação – sedimentação – filtração).

3.7.3.2.Desestabilização dos colóides através do mecanismo da varredura

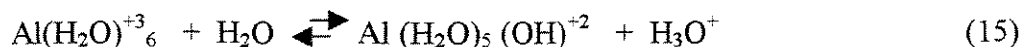
Conforme DI BERNARDO (1993), na coagulação por varredura ocorre uma supersaturação (de 3 a 4 vezes mais) em relação à concentração de equilíbrio dos sais de alumínio, resultando na formação do hidróxido, que precipita rapidamente. Desta maneira, as características químicas da coagulação se sobrepõem em importância às relacionadas aos mecanismos de transporte, ou seja, o gradiente de velocidade deixa de ser o parâmetro mais relevante na coagulação por varredura. Dessa forma, as condições de mistura rápida não influenciam na eficiência da sedimentação, mantendo-se o produto do gradiente de velocidade pelo tempo de coagulação, aproximadamente o mesmo.

MENDES (1989), comenta, que para a desestabilização por varredura, a dosagem de coagulante ótima não mantém relação direta com a concentração de colóides, desta maneira, não depende da neutralização de cargas superficiais. As dosagens ótimas de coagulação não correspondem ao ponto de mínimo potencial Zeta. Este processo recebe muita influência da relação entre o pH e a solubilidade dos compostos de hidróxido.

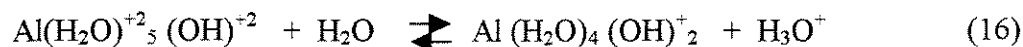
3.7.4. Desestabilização dos colóides através de sais de alumínio

Segundo PACHECO (1975), íons como Al^{3+} , não existem livremente nas águas naturais. Embora seja conveniente representá-los desta forma, na presença de água se apresentam como complexos hidratados, tais como, $Al(H_2O)_6^{3+}$. Tais íons são doadores de prótons, e portanto são ácidos. Segundo o autor, a adição do sal de alumínio trivalente na água em

Segundo MATIJEVIC, BROSSET, BIEDERMANN et al., citados por MENDES(1989), a presença das espécies de alumínio na água depende da idade e da temperatura da solução, da concentração, dos ânions presentes, e principalmente, do valor do pH. A reação para o íon alumínio coordenado por seis moléculas de água pode ser representada na EQ. 15:



A continuidade dessas reações, dependendo do valor do pH, pode ser representada pela EQ. 16:



Omitindo-se as moléculas de água, a continuidade dessas reações pode ser representada pela EQ. 17:



Poderão ocorrer outras reações mais complexas, como a formação de espécies polinucleares. Os íons de Al^{+3} são predominantemente encontrados em solução quando o valor do pH é inferior a 4. Na medida em que o valor do pH se eleva (o equilíbrio da reação representada pela EQ. 17, ocorre mais à direita), têm-se a formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$, precipitado gelatinoso, insolúvel. Para valores de pH superiores a 8, o precipitado poderá ser redissolvido, formando o íon $\text{Al}(\text{OH})_4^{-1}$.

Segundo STUMM e O'MELIA citados por PACHECO (1974), a dosagem de coagulante (sais de Al) para desestabilização dos colóides é sempre maior que o limite de solubilidade dos hidróxidos destes metais. Desta maneira, pode-se considerar que isto ocorre pela ação dos polímeros de alumínio, que são produzidos na fase intermediária da reação de formação dos precipitados. Esses polímeros são adsorvidos pelas partículas coloidais.

Conforme STUMM e O'MELIA citados por PACHECO (1974) e MENDES (1989), as curvas esquemáticas de turbidez residual em função da dosagem de coagulante para um determinado valor de pH, são apresentadas na figura 3.56 a, contendo diferentes concentrações coloidais, cuja unidade é m^2/L . A FIG. 3.56 b ilustra de forma esquemática a influência da concentração coloidal na dosagem de coagulante. As zonas estão subdivididas em

concentrações menores do que a solubilidade limite do hidróxido produzido pelo metal, leva a monômeros ou dímeros solúveis, e talvez polímeros de hidróxidos metálicos, além dos íons metálicos livres e hidratados. Quando a quantidade adicionada de sulfato de alumínio é suficiente para exceder o limite de solubilidade do hidróxido, uma série de reações (hidrólise) ocorrem, iniciando-se com a formação de complexos de hidróxidos (AlOH^{2+}), transformando-se em polímeros coloidais dos hidróxidos metálicos, para finalmente, em função do valor do pH, formarem o precipitado dos hidróxidos metálicos.

MENDES (1989), cita que, as reações de hidrólise com o sulfato de alumínio ocorrem formando compostos que poderão apresentar carga positiva, negativa e nula. As espécies hidrolizadas formadas poderão ser mononucleares ($\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$, Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$), e polinucleares ($\text{Al}_8(\text{OH})_4^{20+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_4^{17+}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_5^{34+}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_3^{15+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{10}(\text{SO}_4)^{45}$). A FIG. 3.55, ilustra a variação da solubilidade das diferentes espécies de compostos de alumínio, com a espécie insolúvel precipitável ($\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$).

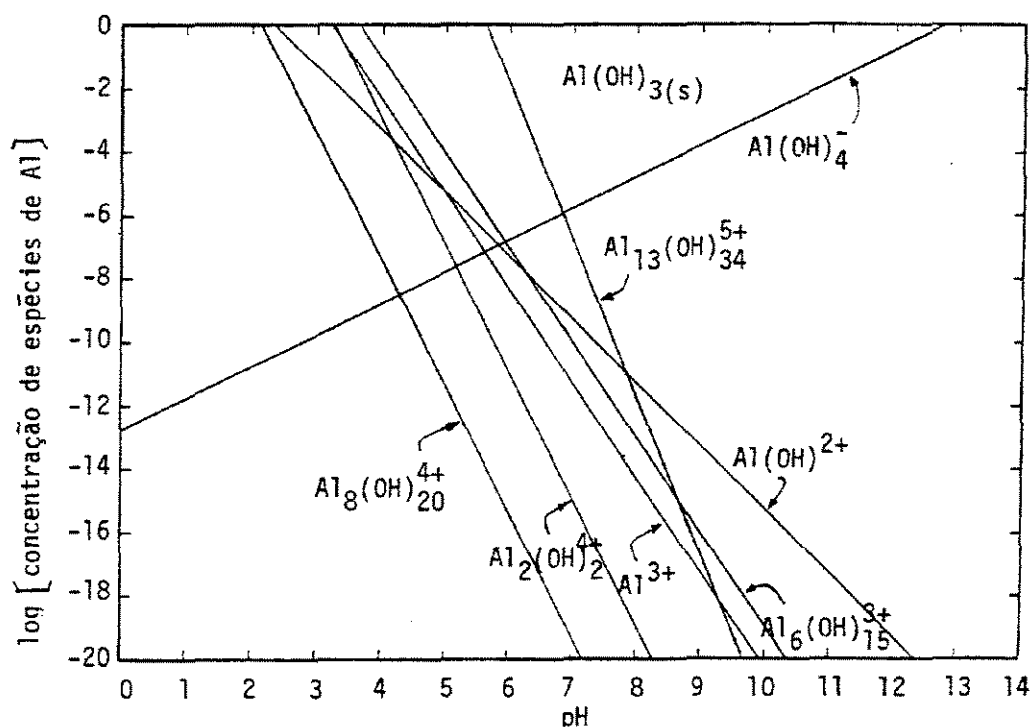


Figura 3.55– Representação da solubilidade das espécies de alumínio.

Fonte: MENDES (1989).

quatro: Na zona 1, ocorre uma dosagem de coagulante insuficiente para produzir a desestabilização dos colóides.

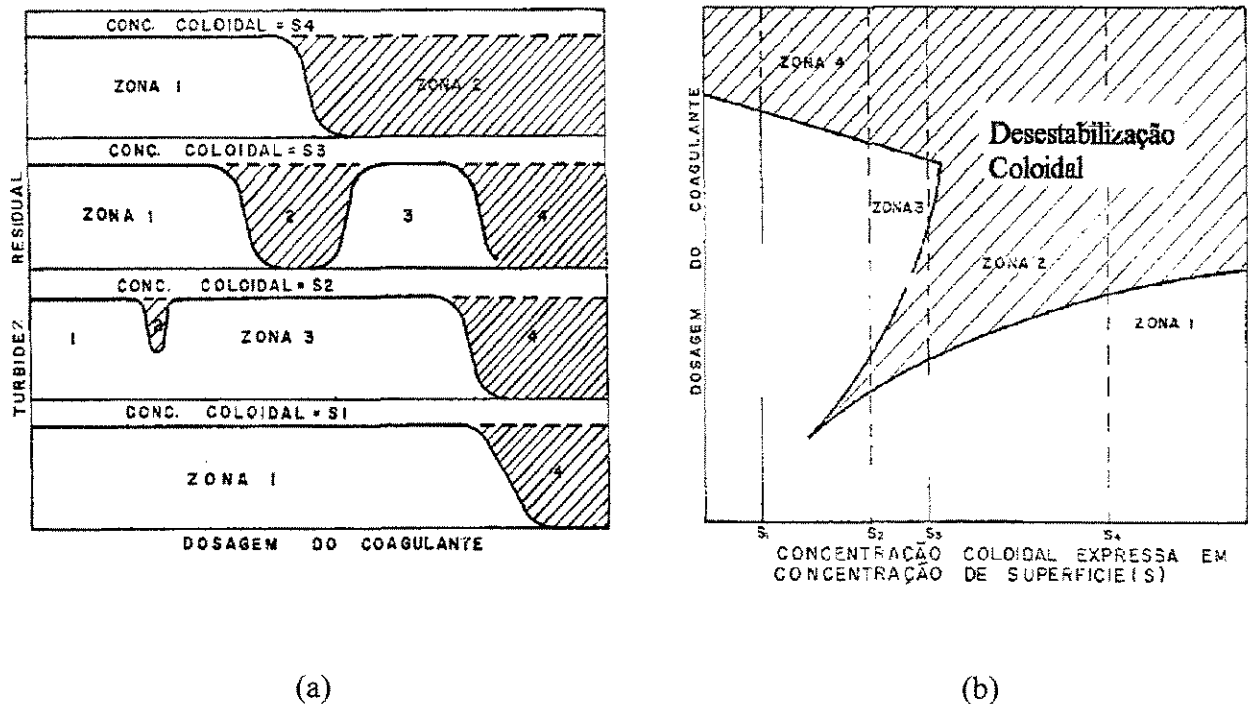


Figura 3.56 – Desenho esquemático das regiões onde ocorrem coagulação.

- Curvas de turbidez residual em função da dosagem de coagulante.
- Curva da dosagem de coagulante em função da concentração coloidal.

Fonte: Adaptado de PACHECO (1974).

Na zona 2, acontece a agregação das partículas pela desestabilização dos colóides. Segundo MENDES (1989), nesta zona, quanto maior a concentração superficial dos colóides, maior a dosagem de coagulante para que ocorra a desestabilização dos mesmos, ocorrendo dessa forma, uma relação estequiométrica.

Na zona 3, poderá acontecer a reestabilização das partículas, com o aumento da dosagem de coagulante.

Na zona 4, é feita uma dosagem elevada de coagulante para produzir uma rápida precipitação de grandes quantidades de hidróxidos de alumínio que ao sedimentar, “varre” as

partículas coloidais do meio. Nesta zona, a coagulação segue uma relação não estequiométrica. Ainda segundo os autores, as interações entre a concentração de coagulante, os valores de pH e a concentração da superfície coloidal, influenciam diretamente na coagulação.

3.7.5. Etapas do tratamento físico-químico

O tratamento terciário de águas residuárias pelo processo de coagulação – floculação, sedimentação e filtração, é composto, geralmente das seguintes unidades:

- a) a mistura rápida tem como função, assegurar uma coagulação completamente homogênea. Para que isto ocorra, exige-se uma intensa mistura para distribuição do agente coagulante, de forma uniforme no meio líquido, promovendo encontros com as partículas, suspensas e dissolvidas, antes da reação ser completada. Na ausência de intensa e homogênea mistura, parte do volume de água pode sofrer com maior intensidade a ação do coagulante, enquanto outras parcelas não (HUDSON JR e WOLFNER, 1967). NUNES (1996), comenta que na mistura rápida acontecem a hidrólise, a polimerização e a reação com a alcalinidade do meio, permitindo a desestabilização das partículas em suspensão;
- b) a floculação ocorre após a coagulação, e consiste na aglomeração de partículas desestabilizadas pelas colisões induzidas por seu movimento relativo. Quando o movimento das partículas ocorre pela ação do movimento Browniano, o processo é denominado floculação pericínética. Quando sofre a ação do gradiente de velocidade, provocado pela passagem do resíduo líquido por floculador hidráulico ou pela ação de agitadores mecânicos (floculador mecânico), é chamada de floculação ortocínética. RICHTER [19--].

VILLEGAS e LETTERMAN (1976), citam que o processo de floculação é um passo importante na remoção de suspensões coloidais e, em alguns casos, material dissolvido na água. O propósito do processo de floculação é promover o choque entre partículas desestabilizadas, proporcionando o crescimento de agregados de partículas de tamanho e densidade tal, que ocorra a separação efetiva das fases sólidas e líquidas, em processos e unidade subsequentes no sistema de tratamento.

DI BERNARDO (1993), comenta que após a coagulação, faz-se a agitação lenta, proporcionando encontros, de modo a possibilitar a transformação de partículas menores em agregados maiores ou flocos. Com o aumento do tamanho dos flocos pode ocorrer a ruptura dos mesmos, porque a resistência ao cisalhamento é menor para um floco maior. O número de encontros por unidade de tempo e volume são influenciados pelo gradiente de velocidade, movimento Browniano e sedimentação diferenciada;

c) a sedimentação ocorre devido à ação da gravidade sobre os flocos formados na fase anterior, que devido a esta ação, apresentam movimento descendente no meio líquido de menor massa específica (DI BERNARDO, 1993).

d) na filtração, há o processo de remoção de partículas suspensas e flocos presentes no líquido decantado, através de passagem do mesmo em meio poroso. As partículas vão sendo retidas nos vazios ao longo do meio filtrante, e após um certo período de tempo, é necessário uma lavagem, para remoção das mesmas.

4. Metodologia:

4.1. Introdução

Foi utilizado como substrato, os efluentes líquidos do sistema de pré- tratamento da Ober S/A Indústria e Comércio. A empresa está localizada no distrito industrial do Município de Nova Odessa, Estado de São Paulo. As águas residuárias têm origem nos processos de lavagem, alvejamento, purga e tingimento de estopas, sacarias, tecidos, carpetes e nos efluentes líquidos gerados pelo sistema de lavagem dos gases das caldeiras. O estudo foi realizado na empresa devido o interesse da mesma em poder reusar ou reciclar a água de processo.

4.2. Efluentes líquidos industriais gerados na empresa Ober S.A.

4.2.1. Considerações iniciais

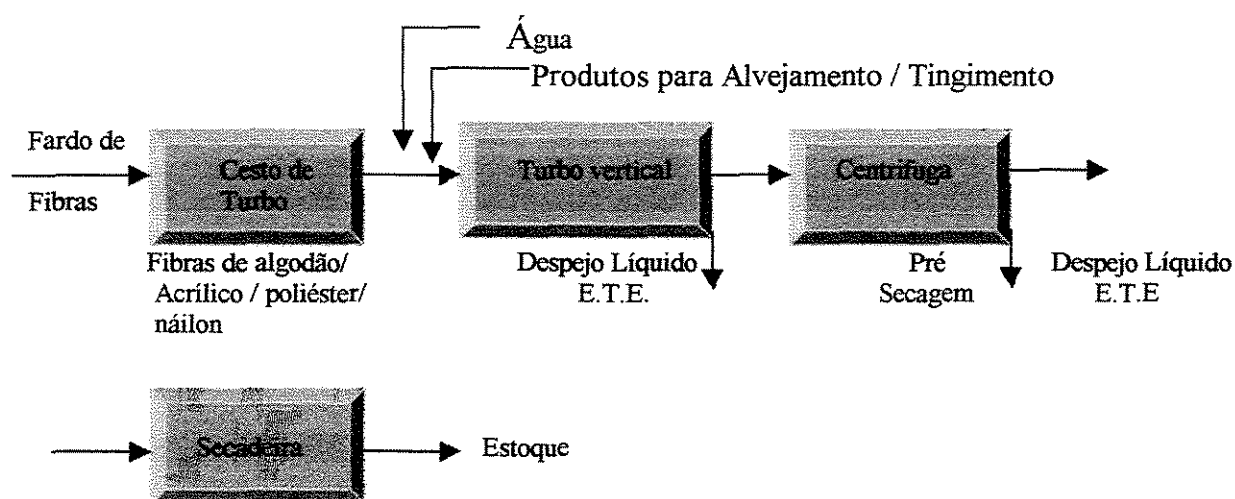
A empresa é abastecida de água pela rede pública, além das vazões oriundas de 3 poços tubulares profundos, fornecendo um total de 50 m³/h. Os esgotos sanitários gerados nas atividades desenvolvidas no restaurante, banheiros, vestiários, são encaminhados diretamente à rede coletora pública. Os despejos industriais são gerados na unidade de tinturaria e acabamento da empresa, onde acontecem o alvejamento, o tingimento, a lavagem e a purga.

4.2.2. Linhas de produtos da indústria

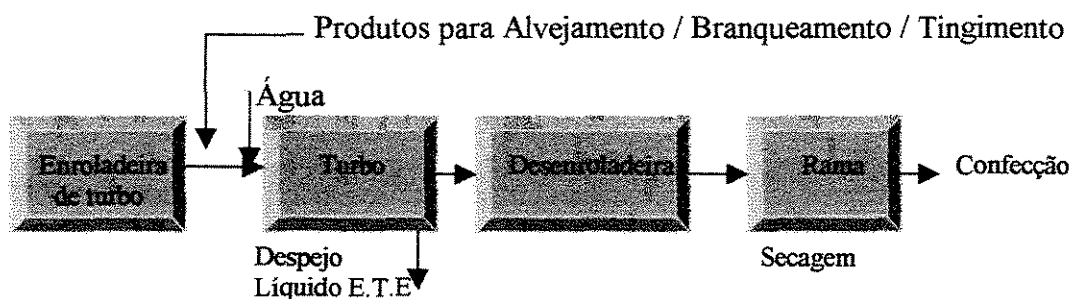
As linhas de produtos envolvidos no processo industrial abrangem a produção de: cobertores, estopas, toalhas para limpeza, flanelas, geomembranas, mantas acolchoadas, carpetes e mangas de filtros.

4.2.3. Fluxogramas de processos de beneficiamento

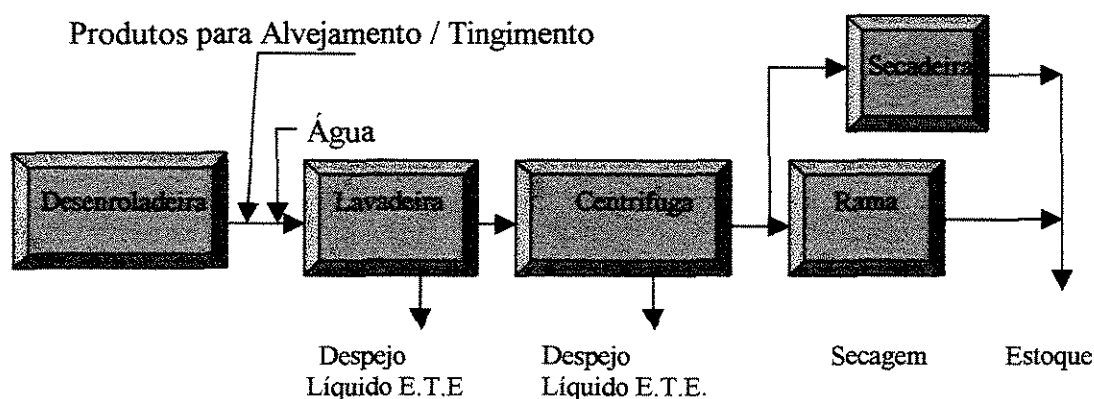
Os fluxogramas (a), (b) e (c) presentes na FIG. 4.1, representam as etapas do processo de beneficiamento das fibras e tecidos.



(a) Beneficiamento de fibras



(b) Beneficiamento de tecidos



(c) Beneficiamento de tecidos

Figura 4.1-Fluxogramas (a, b e c) da produção de fibras e tecidos mostrando, esquematicamente os pontos de geração de despejos líquidos para a indústria em estudo.

4.2.4 – Características qualitativas e quantitativas das águas residuárias da indústria

A CETESB realizando o programa de reavaliação de cargas poluidoras das principais indústrias da bacia do Rio Piracicaba, efetuou um levantamento das características quantitativas e qualitativas dos efluentes líquidos da empresa Ober. Conforme esse levantamento, feito nos dias 07 e 08 de outubro de 1996, os principais pontos de geração dos despejos líquidos são:

- Lavagem dos resíduos de fiação e de algodão;
- Tinturaria;
- Lavador de gases da caldeira.

Segundo a CETESB, a vazão média de entrada é de 22,66 m³/h, e foi medida na calha Parshall existente a montante do sistema de pré tratamento, já citado. Este valor médio foi confirmado durante a evolução da pesquisa.

Os parâmetros analisados para o efluente bruto foram a DBO, DQO, ferro,

chumbo, cobre, níquel, zinco, cromo total, cádmio e manganês, e os parâmetros analisados para o efluente pré – tratado foram a DBO, a DQO, sulfatos e óleos e graxas. A TAB.4.1 mostra os referidos valores médios.

Tabela 4.1 – Valores médios dos parâmetros de qualidade para os despejos líquidos da empresa Ober.

Parâmetros (mg/L)	Efluente bruto	Efluente pré – tratado
DBO	1428	1293
DQO	2450	2630
Óleos e graxas	*	194
Sulfato	*	97
Ferro	< 0,12	*
Chumbo	< 0,25	*
Cobre	0,03	*
Níquel	< 0,06	*
Zinco	0,16	*
Cromo Total	< 0,30	*
Cádmio	< 0,005	*
Manganês	0,24	*

(*) Valor não determinado

Fonte: CETESB (1996)

4.2.5. Sistema de pré-tratamento existente na indústria

A indústria possui um sistema de tratamento de efluentes líquidos constituído por uma unidade de gradeamento , seguido da caixa de areia e tanque de equalização, onde a vazão e a temperatura são homogeneizados, devido às diferentes características (resíduos sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão, óleos e graxa, etc.) das águas oriundas dos vários processos de beneficiamento. Após a equalização, o efluente industrial ainda passa sucessivamente pela torre de resfriamento e pelo tanque de ajuste do valor de pH de lançamento. Os despejos industriais depois de passarem por esse tratamento, com o intuito de atender o artigo 19 A da legislação estadual, são encaminhados através de rede interna exclusiva, até a rede pública de esgotos, seguindo para a estação de tratamento municipal, que é operada em

conjunto com o Departamento de Água e Esgoto do município de Americana, de modo a atender a legislação vigente para lançamento em mananciais.

O gradeamento é composto por duas grades de aço inox, com frequência de limpeza de 3 vezes ao dia. A finalidade dessas grades é reter materiais grosseiros (estopas, pedaços de tecidos, fios, etc.), e corpos flutuantes, de modo a proteger as tubulações, válvulas, bombas, etc. Cada grade tem dimensões iguais a 1,2 m de largura, comprimento de 1,50m e altura útil de 0,70 m.

A caixa de areia é composta de duas células, que podem trabalhar independentemente, de modo a permitir a limpeza de uma, enquanto pela outra ocorre a passagem do despejo líquido. Tem a finalidade de reter a areia e outros materiais inertes e pesados presentes no efluente. A remoção é necessária para preservar da abrasão as bombas, tubulações, válvulas, etc., também evitar o entupimento das canalizações, bem como o assoreamento do tanque de equalização. Cada célula tem largura de 0,5 m, comprimento de 6,25m, e uma altura útil da ordem de 0,80m.

O medidor de vazão utilizado é uma calha do tipo Parshall e a medida da garganta é 6". A medição é feita através de escala fixada na face lateral interna do medidor, três vezes ao dia.

O tanque de equalização é constituído por um reservatório construído em alvenaria de tijolos maciços, misto com estrutura de concreto armado. É utilizado também como “tanque pulmão”, absorvendo picos de vazão. Suas dimensões são respectivamente: largura de 7,85m, altura útil de 2,30m, comprimento de 8,00 m.

Como misturador foi utilizado um sistema de injeção de ar de potência 3 CV do tipo insulflador, para promover a homogeneização dos despejos. Tem a finalidade de manter em suspensão os sólidos sedimentáveis para que não se acumulem no fundo do reservatório.

O efluente homogeneizado é bombeado do tanque de equalização para a torre de resfriamento, a uma vazão constante igual a 22 m³/h. Duas bombas são utilizadas, sendo uma

delas mantida como reserva.

A torre de resfriamento possui um medidor controlador de temperatura, que permite acionar, em casos onde exceda os 39°C, o ventilador da torre de resfriamento, lançando o efluente, dentro da faixa estabelecida pela legislação.

O tanque de ajuste de pH é utilizado para manter o valor de pH dentro da faixa estabelecida para lançamento. O CO₂ é empregado como substância química de ajuste. As dimensões do tanque são respectivamente: largura de 1,80m, altura de 3,00m, comprimento de 2,30 m.

Na saída dos efluentes líquidos existe uma calha do tipo Parshall, com largura de garganta igual a 6", semelhante à da entrada, está presente para confirmar o valor da vazão dos efluentes líquidos da fábrica.

4.3. Processos de tratamento

4.3.1. Considerações iniciais

O trabalho teve, praticamente, duas etapas. Em uma primeira o efluente bruto passou por um tratamento biológico. Posteriormente, o clarificado obtido em cada batelada, foi submetido a um processo físico-químico. Para o tratamento biológico foi utilizado o processo de lodos ativados em reator do tipo batelada em escala piloto, montado nas instalações da referida indústria, enquanto que para o tratamento físico-químico foi usado um aparelho de "jar test", instalado no laboratório da Fatec de Americana, onde foram realizados os ensaios com os efluentes líquidos tratados no reator biológico, após decantação.

4.3.2. Tratamento biológico

No tanque de equalização do sistema de pré-tratamento, já mencionado no capítulo anterior, foi instalado um sistema moto-bomba, que através de uma adutora enviava o efluente para o reator biológico em estudo. O reator e demais partes do sistema foram construídos utilizando materiais e máquinas em desuso, cedidos pela empresa Ober, com o apoio do setor de mecânica.

4.3.2.1 Coletas e armazenagens de amostras dos efluentes industriais (bruto) e dos efluentes do tratamento biológico (tratado) utilizados na segunda etapa do trabalho experimental

As amostras dos despejos líquidos da empresa (bruto), como foram consideradas equalizadas, foram coletadas de forma instantânea. Essas coletas foram feitas na entrada do reator batelada, durante a fase de enchimento, não sendo determinado um tempo fixo após o início desta operação. No final da fase de reação, com o sistema de aeração em funcionamento, também foi colhido material oriundo do reator para caracterização. O mesmo ocorreu para o efluente líquido clarificado do reator biológico (tratado), que após o tempo adotado de sedimentação de 1,5 h, era aberta a válvula de saída, descarregando um pequeno volume inicial que continha sólidos suspensos, e quando o clarificado começava a sair, era coletado. As amostras foram preservadas em geladeira, a uma temperatura de 4 °C, até a sua utilização na determinação dos parâmetros descritos no item 4.3.4. Para a realização da segunda etapa do trabalho, que compreendeu o tratamento físico-químico, foi necessária a reservação de um volume maior do clarificado. Assim sendo, foram cheias duas bombonas de 60 L para cada batelada onde houve coleta, e mantidas em câmara fria da empresa, até a sua utilização, a uma temperatura de aproximadamente 4°C. As análises para a determinação dos parâmetros de cada um desses efluentes foram realizadas no laboratório da empresa Tema - Tecnologia em Meio Ambiente. Os valores obtidos estão registrados em tabelas presentes no anexo A e C.

4.3.2.2. Procedimentos e equipamentos utilizados

O reator biológico com volume útil de 500 L, constituído por um cilindro de 80 cm de diâmetro possuía um sistema de distribuição de ar. O ar insuflado, no interior do reator, foi distribuído por meio de uma tubulação de forma circular e disposta no fundo do mesmo. Acoplado a esse sistema de distribuição de ar, também foram instaladas mangueiras plásticas com dois tubos porosos do tipo usado em aquário, nas suas extremidades, sendo fixadas no fundo do reator. Esses acessórios promoviam o borbulhamento do ar, a agitação e a aeração, mantendo homogênea a presença de sólidos em suspensão, e de lodos ativados no meio líquido. As FIG. 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam fotografias do equipamento. O ar insuflado era oriundo de uma central de produção de ar comprimido existente na área da empresa. Devido às dificuldades de ordem prática, pode ser controlada a vazão do mesmo, através de válvulas do tipo agulha, porém não foi feito o acompanhamento do volume.

Os valores de pH do efluente industrial (bruto) presentes no reator foram mantidos idênticos aos do líquido existente no tanque de equalização, não sendo, portanto corrigidos.

O tratamento biológico piloto foi projetado para dois reatores, sendo utilizado e operado apenas um. Foram realizados dois ciclos por dia, de 12h cada. A TAB. 4.2 indica os tempos de cada fase. Os períodos adotados foram baseados na modelação matemática e metodologia desenvolvidas por MENDES (1996), e utilizadas por PEREIRA (1996). A fração de lodo adotada foi de 40% e de 30 % (200 e 150 L). As EQ. 04, 05, 06 e 07 do item 3.6 determinaram o tempo de cada etapa do ciclo. As fases e respectivos tempos foram:

- a) fase de enchimento: adotado um período de 6 h. Ocorrendo aeração e mistura desde o início;
- b) fase de reação: foi determinado o tempo de 0,5 h, para esta etapa;
- c) fase de sedimentação: foi adotado um período de 1,5 h, com o sistema de aeração desligado, permitindo uma condição próxima da ideal com o líquido em repouso;

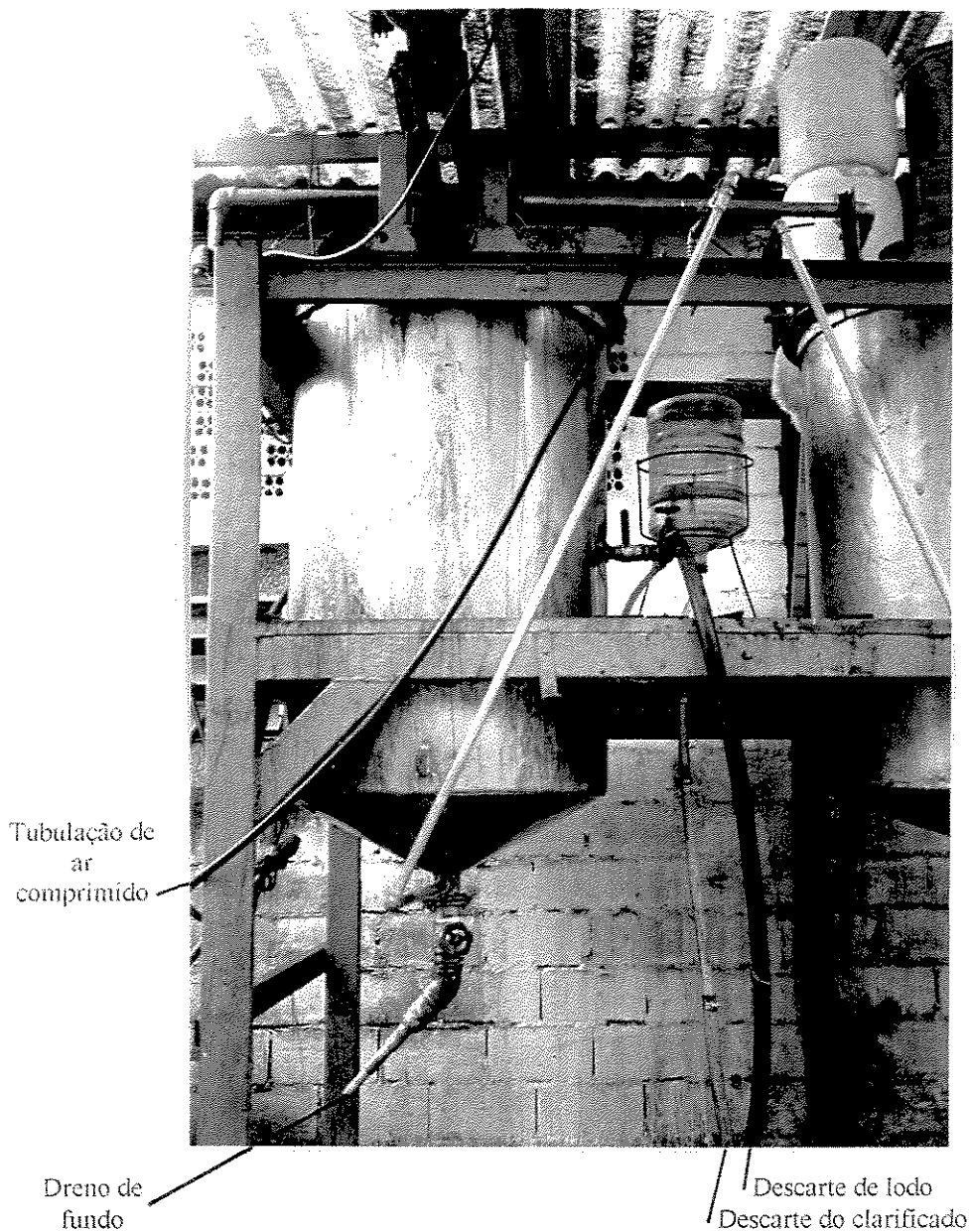


Figura 4.2 – Vista frontal do reator biológico, com destaque para o dispositivo de descarte de lodo, do sobrenadante e de fundo.

d) fase de drenagem: após a etapa de sedimentação iniciava-se a drenagem, descartando o despejo líquido clarificado do reator, até o nível correspondente a 70, ou 60 % do volume total (350, 300 L), pois os 30 ou 40% restantes, ficavam reservados ao lodo ativado da próxima batelada. O tempo estabelecido para essa etapa foi de 4 horas. A tubulação de saída era flexível e esteve localizada 10 cm abaixo do nível superior do clarificado, presa a um sistema de

bóia flutuante. Isto pode ser melhor visto através da FIG. 4.4.

e) fase de repouso: praticamente esta etapa não fez parte do ciclo.

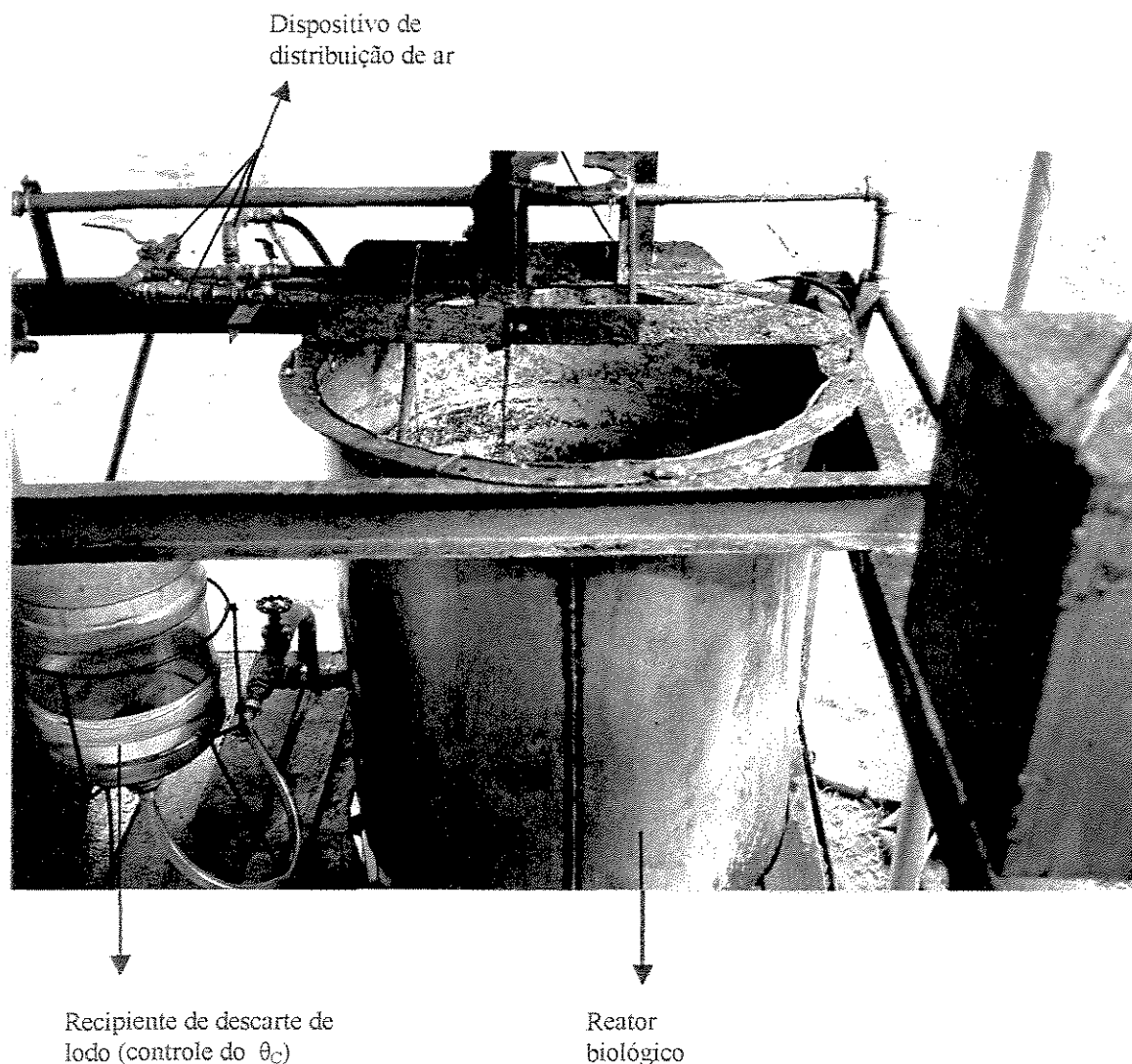


Figura 4.3 – Reator biológico, com o detalhe do descarte de lodo e do dispositivo de distribuição de ar.

As vazões foram determinadas, através do controle do tempo de enchimento, que era de 6 h, resultando nos valores de 50 L/h e 58,33L/h, para os volumes de 300L e 350L, respectivamente. As mesmas eram ajustadas através de válvula colocada na tubulação de entrada do reator.

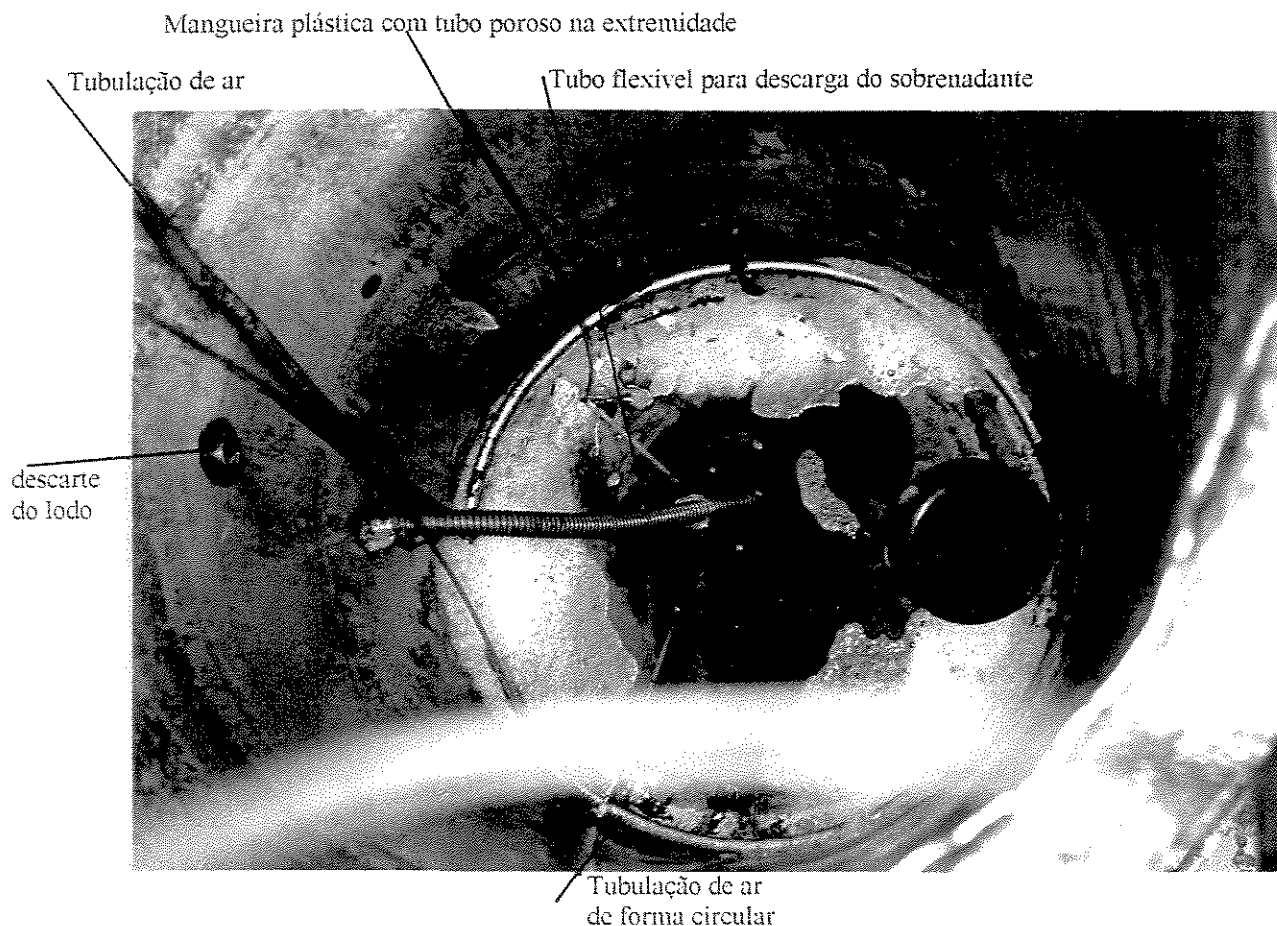


Figura 4.4 – Interior do reator biológico, com o detalhe do dispositivo de drenagem do sobrenadante.

TAB. 4.2 – Período de tempo utilizado para realização de cada fase de um ciclo do tratamento biológico por batelada.

Fases	Período de Tempo (h)
Enchimento	6,00
Reação	0,50
Sedimentação	1,50
Drenagem	4,00
Repouso	0,00

O reator possuía duas saídas laterais e uma descarga de fundo. Em uma das saídas laterais foi acoplado o tubo flexível utilizado para descarga do sobrenadante clarificado, após o período de sedimentação. Na outra foi acoplado um sistema que serviu para o controle da idade

do lodo (θ_c) do sistema batelada, sendo a ela adicionado um registro e tubulação, ligado a um recipiente de plástico, que teve seu volume previamente graduado para os valores de θ_c esperados, 22 e 26 L. Para o controle da idade do lodo, imediatamente antes do final do tempo de reação, era aberta a válvula que ligava o sistema de controle ao reator. Com isso, para dentro do vasilhame de controle se dirigia a parcela do volume presente no reator, até completar o nível desejado. Após atingido o mesmo a válvula era fechada e o sistema de aeração desligado, iniciando-se assim a fase de sedimentação. Enquanto no reator era obtido o clarificado, no recipiente de controle do θ_c , o mesmo acontecia, separando a fase líquida da sólida, quando então podia ser acompanhado o volume de lodo descartado por dia(para cada um dos θ_c usados). Esse procedimento foi utilizado uma vez por dia. Foram adotados tempos de detenção celular igual a 22,75 e 19,23 d, o que resultou, para o experimento em volumes descartáveis, respectivamente, iguais a 22 e 26 L. Essa metodologia de descartes foi usada sempre na primeira batelada do dia. O efluente do sistema de controle era endereçado ao tanque de equalização de efluentes da indústria.

A descarga de fundo foi utilizada para o esvaziamento do reator, quando da sua desativação ou esgotamento.

Para dar partida ao sistema biológico, foi utilizado o lodo oriundo de um outro sistema do tipo LAB, instalado para tratamento de efluentes líquidos industriais da empresa Beneficiadora de tecidos São José. Esta opção se deu em virtude de se ter um tempo menor de adaptação dos microrganismos aos efluentes, e mesmo porque esta indústria tem processo de produção industrial semelhante ao utilizado pela Ober. O período de adaptação inicial foi cerca de 6 dias. Inicialmente foi colocado 15 % de lodo para 85% de efluente; no segundo dia 20 % e 80 %, no terceiro dia 25% e 75% e assim sucessivamente até atingir os valores de 40% e 60% respectivamente. Após o período de adaptação obteve-se a estabilização do sistema. Esse início, devido a problemas de disponibilidade de condições laboratoriais, não pôde ser atentamente investigado. É interessante observar que durante o desenvolvimento do trabalho, houve uma intoxicação e morte do lodo ativado presente no reator, e o sistema precisou ser novamente acionado. Com a experiência adquirida anteriormente, o período de adaptação pôde ser diminuído para 2 dias.

4.3.2.3. Dosagem de nutrientes

Devido às características desse tipo de efluente, houve necessidade de adição de nitrogênio e fósforo, como nutrientes, no processo. Portanto, no início de cada etapa de enchimento, para cada ciclo foi adicionado ácido fosfórico e uréia, como fonte de nutrientes. A uréia utilizada possuía 47 % de nitrogênio e o ácido fosfórico, 32% de fósforo, sendo empregada uma razão de DBO:N:P na proporção de 100:5:1. O valor da DBO utilizado como referência para a determinação das dosagens, foi o indicado pela CETESB conforme item 4.2.4, cujo valor médio é de 1293 mg/L. Seguindo as referidas proporções, foram dosados 48 e 41 g de uréia e 14 e 12g de ácido fosfórico, para os volumes de 350 L e 300 L, respectivamente.

4.3.3. Tratamento físico - químico

O tratamento físico – químico, coagulação-floculação, foi realizado utilizando o aparelho de “jar test”, já descrito, cedido pelo laboratório da UNICAMP. As amostras de efluente do tratamento biológico clarificado, que permaneciam em bombonas na câmara fria, foram aquecidas até temperatura de 20°C e ensaiadas segundo o mecanismo de coagulação por varredura. Foi utilizado além do coagulante primário, polímero, como auxiliar de floculação. A TAB. 4.3 indica os produtos utilizados.

Não foi feito ajuste dos valores de pH para qualquer uma das amostras, sendo portanto utilizados, os valores das amostras que se encontravam na faixa de 7,0 a 8,1, originando os valores de pH de coagulação das amostras selecionadas entre 6,0 e 6,4, e portanto, compatíveis com o mecanismo adotado, para as dosagens de coagulante aplicadas.

4.3.3.1. Coletas e armazenagens de amostras dos efluentes líquidos clarificados do tratamento físico-químico

Após cada ensaio de coagulação – floculação, as amostras selecionadas com os melhores valores de remoção de turbidez foram armazenadas em recipientes plásticos de 2 L, previamente esterilizados com lavagem em solução sulfocrômica, e mantidas em geladeira à temperatura de 4°C. Posteriormente foram feitas as caracterizações segundo o item 4.3.4. Estas análises foram realizadas no laboratório da empresa Tema - Tecnologia em Meio Ambiente.

4.3.3.2. Procedimentos e equipamentos utilizados

O equipamento utilizado para os ensaios de coagulação-floculação foi fabricado pela empresa Policontrol, denominado Turbofloc, composto de 6 reatores de 2 L. A FIG. 4.5 apresenta a fotografia do referido equipamento.

Devido à limitação do aparelho de “jar - test”, os ensaios foram realizados utilizando-se os valores descritos por BRESAOLA (1983) em seus estudos. Para o período de mistura rápida o tempo de agitação foi de 60 s, com gradiente de velocidade de 100 s^{-1} . Para a etapa de floculação foi adotado o tempo de 30 min. e um gradiente de velocidade médio de 30 s^{-1} . Após essa etapa, o sistema de agitação era desligado, iniciando-se o período de sedimentação de 30 min. Na sequência, o sobrenadante clarificado era então descartado, sendo coletadas amostras conforme descrito no item 4.3.3.1.

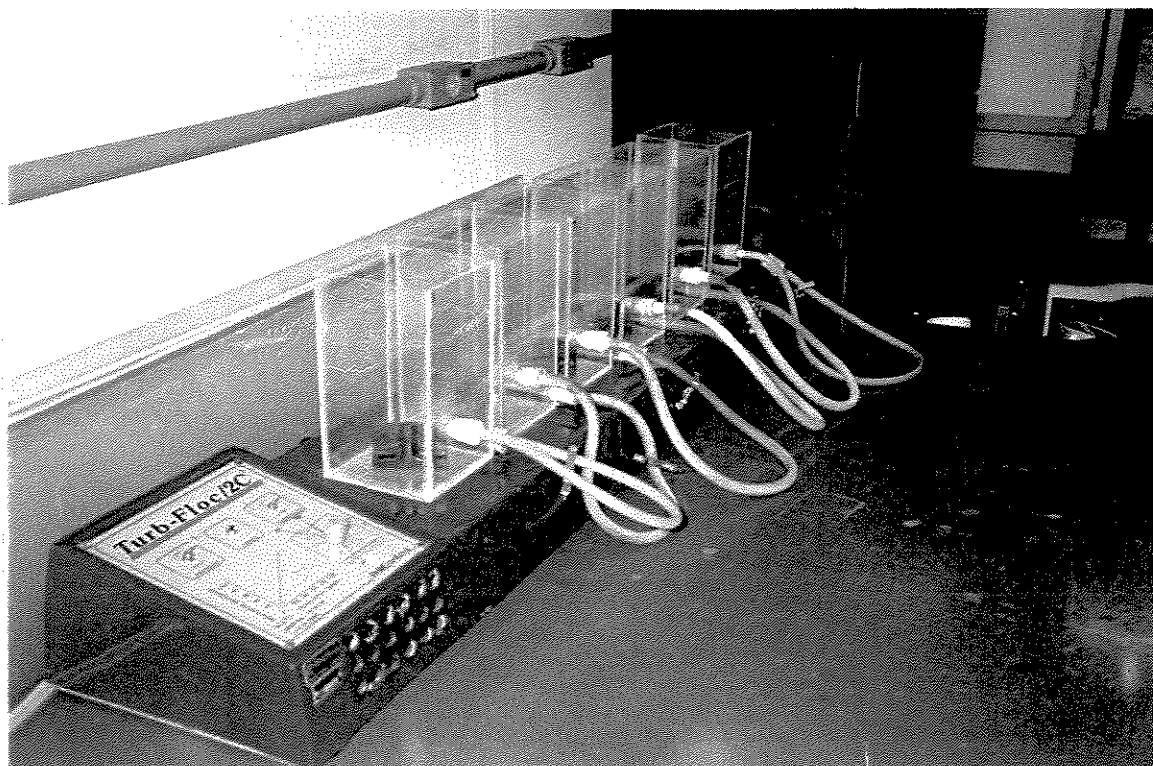


Figura 4.5 – Equipamento utilizado nos ensaios de coagulação – floculação.

4.3.3.3. Produtos químicos utilizados

Foi utilizado como coagulante, o sulfato de alumínio, e como auxiliar de floculação, polímero aniônico. A TAB. 4.3 indica os produtos químicos utilizados, bem como as concentrações, origens e graus de pureza.

Tabela 4.3 – Produtos químicos utilizados no tratamento físico-químico.

Produtos utilizados	Concentração	Origem	Grau de pureza
Sulfato de alumínio	5 %	Synth	P.A.
Polímero aniônico	0,025%	Lambra	*

* Parâmetro não analisado

4.3.3.4. Características dos ensaios de coagulação – floculação

Os ensaios foram realizados em duas fases distintas. Na primeira foi utilizado somente o coagulante sulfato de alumínio. Após a realização da primeira fase, foi selecionada a amostra com menor valor de turbidez, com a respectiva dosagem de produto químico para realização de ensaios subseqüentes. Na segunda fase foi utilizado sulfato de alumínio e como auxiliar de floculação, polímero aniônico. As amostras selecionadas nas primeiras e segundas etapas foram filtradas em papel de filtro Whatman 40, sendo utilizado o processo indicado por DI BERNARDO (1993), medida novamente a turbidez e armazenada. Os ensaios realizados em diferentes amostras, produziram dados que se encontram nas TAB. presentes no anexo B. O fluxograma da FIG 4.6 ilustra de uma forma geral os procedimentos descritos e desenvolvidos no trabalho como um todo.

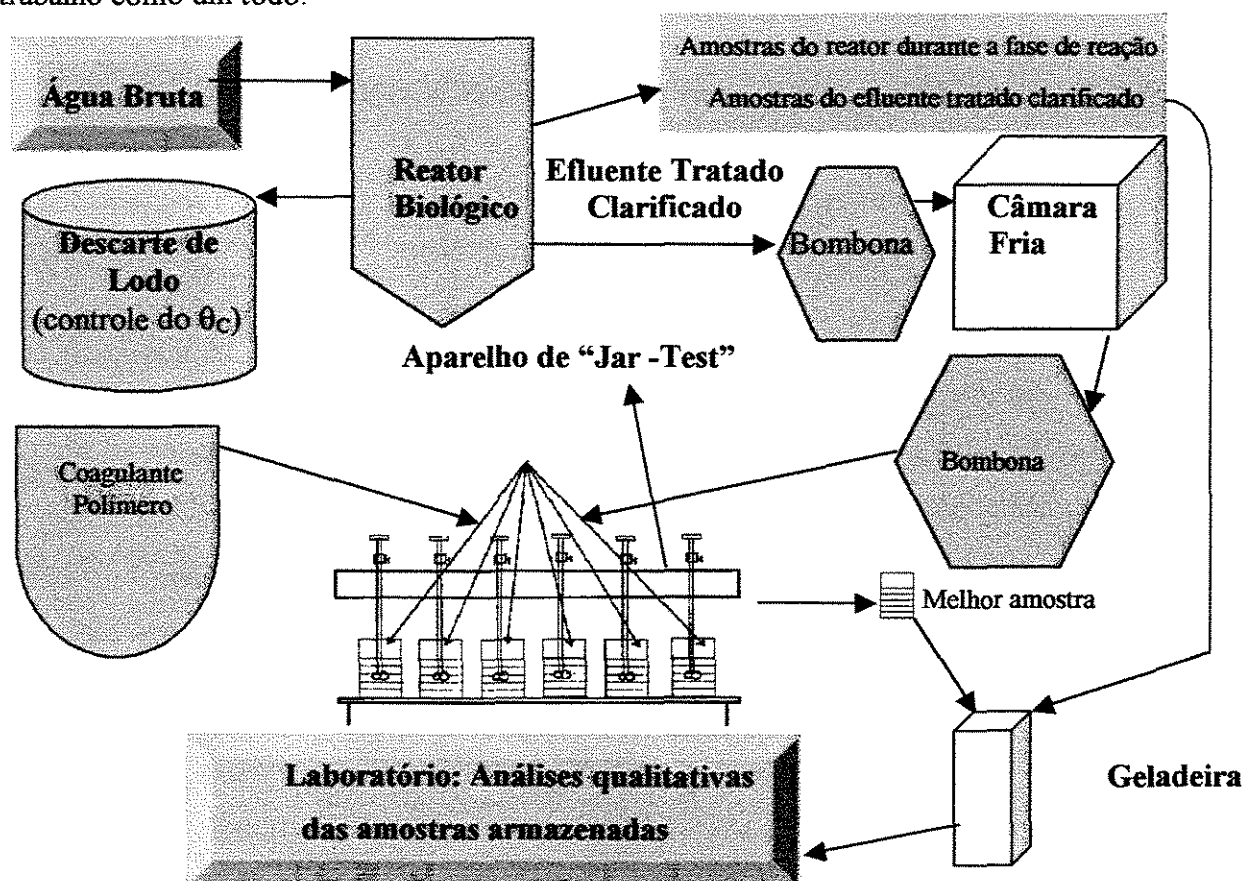


Figura 4.6 – Fluxograma geral esquemático de caminhamento das amostras coletadas, seu armazenamento e destino.

4.3.4. Parâmetros de controle e equipamentos utilizados

Os efluentes líquidos industriais estudados no presente trabalho (amostras brutas, amostras submetidas ao tratamento biológico e ao físico - químico), foram caracterizados pelos seguintes parâmetros: Série de Sólidos, Cor, Turbidez, Alcalinidade, Dureza, Óleos e Graxas, DBO, DQO, Condutividade, IVL, Fe e Mn que foram determinados pelos métodos preconizados pela APHA, AWWA, WPCF (1995), Standart methods for the examination of water and wastewater. Os resultados das análises encontram-se em tabelas nos anexos A, B e C.

As temperaturas foram medidas por termômetro de mercúrio com variação de -10 °C a 150 °C com precisão de 0,1 °C. Os valores de pH foram determinados pelo potenciômetro da DIGMED, modelo DM20.

Os resultados de DBO das amostras foram determinados pelo método da diluição e incubação (20 °C e 5 dias), e para a DQO foi utilizado o da oxidação por Bicromato de Potássio em Meio Ácido Sulfúrico e as leituras do oxigênio consumido foram feitas no espectrofotômetro DR2000, fabricado pela HACH.

A determinação dos valores de RS_{RR} (resíduos sedimentáveis das amostras do reator durante a fase de reação), foi feita através de medida em cone IMHOFF. Foram coletadas amostras do reator biológico tipo LAB, imediatamente antes do final do período de reação. O tempo de sedimentação foi de 30 min. Para os valores de RS_T (resíduos sedimentáveis do efluente tratado) foi retirada uma amostra do líquido sobrenadante descartado do reator, após fase de sedimentação. O tempo de sedimentação foi fixado em 1,5h. Os SST, SSF e SSV, foram determinados pelo processo gravimétrico.

Os equipamentos utilizados para as medições dos valores de cor aparente e turbidez, foram o espectrofotômetro DR2000, e o turbidímetro 2100 P, respectivamente. Ambos os equipamentos foram fabricados pela HACH.

Para a determinação dos valores de condutividade, foi utilizado um condutivímetro marca DIGIMED modelo DM3.

As leituras dos valores oxigênio dissolvido foram feitas com um medidor do tipo portátil, diretamente no reator. O modelo do aparelho é o H 9142, marca HANNA.

A determinação dos valores de Fe e Mn foi efetuada pelo espectrofotômetro modelo DR2000, fabricado pela HACH.

5. Resultados

5.1. Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para as duas etapas do trabalho experimental. Na primeira etapa foi estudado o desempenho do tratamento biológico dos efluentes líquidos industriais (bruto), através do reator tipo LAB. A segunda etapa consistiu na avaliação, através de ensaios de “jar - test” (tratamento físico-químico), dos efluentes líquidos clarificados do tratamento biológico.

5.2. Primeira etapa do trabalho experimental

5.2.1. Considerações iniciais

Durante o período inicial de operação do reator tipo LAB, algumas dificuldades surgiram e tiveram que ser vencidas. Entre elas podem ser citadas:

- o entupimento parcial do crivo da bomba, alterando a vazão de entrada em algumas bateladas e respectivos ciclos;
- no início do período de enchimento dos ciclos, ocorria, na maioria das vezes, a cavitação da bomba, devido aos sólidos presentes no meio líquido, que provocavam o travamento do crivo, dessa forma, evitando que a bomba permanecesse cheia com o resíduo líquido. Deste modo, era necessário o seu

desentupimento. Essa operação ficava complicada em dias de chuva, pois a bomba e o crivo se localizavam em área descoberta;

- o armazenamento do efluente tratado no reator biológico ocorreu em bombonas de 60 L. Foi adotado esse volume, para que fosse minimizada a área ocupada na câmara fria da empresa. As bombonas foram transportadas do reator biológico, por veículo automotivo, até a câmara fria. O carregamento e o descarregamento das mesmas ocorria de forma manual e em áreas descobertas. Devido ao peso das bombonas cheias, em dias de chuva as dificuldades aumentavam;
- o local onde foi instalado o reator biológico, apesar de coberto, era atingido pela água das chuvas, acompanhadas de rajadas de ventos fortes, dificultando o trabalho de observação;
- o lodo utilizado para inocular o reator biológico foi acondicionado em 5 bombonas de 60 litros, e devido ao peso e ao fato do local de coleta do mesmo se situar no poço da bomba, com diferença de nível de 3 m até o solo. O transporte do lodo até o reator foi realizado por veículo automotivo, necessitando também para o seu descarregamento e esvaziamento, a ajuda e força de 3 homens;
- as medições de OD não foram efetuadas durante o período de 03/12/98 a 16/12/98, em razão de defeito no equipamento;
- devido a uma descarga de efluentes líquidos com baixos valores de pH ocorrida no dia 28/11/98, perdeu-se o lodo ativado do reator, havendo necessidade de se inocular o reator novamente. Com a experiência adquirida, o período de aclimação pôde ser diminuído em relação à partida.

Amostras dos efluentes industriais (bruto), dos clarificados oriundos do reator biológico, bem como amostras coletadas do reator biológico durante a fase de reação, foram caracterizadas segundo os parâmetros definidos. Esses dados encontram-se presentes nas tabelas constantes no anexo A. Deve ser notado que as amostras retiradas do reator durante a fase de reação, foram coletadas 25 min após o início da mesma.

Com os dados presentes nessas tabelas puderam ser construídas as TAB. 5.1, 5.2 e 5.3, que resumem alguns dos dados medidos durante o período de avaliação do reator biológico.

Tabela 5.1 - Valores de pH , OD, DBO, DQO, e as porcentagens de remoção correspondentes, para as amostras dos efluentes clarificados do tratamento biológico(bio) e industriais(bruto).

Data	pH _{bruto}	pH _{bio}	OD (mg/L)	DBO _{bruto} (mg/L)	DBO _{bio} (mg/L)	% rem	DQO _{bruto} (mg/L)	DQO _{bio} (mg/L)	% rem
04/11/98	11,2	8,0	4,3	934	15	98,4	1880	455	75,8
06/11/98	10,3	7,9	7,4	1370	72	94,7	2440	467	80,9
10/11/98	6,2	8,1	5,6	1460	101	93,1	2730	706	74,1
11/11/98	9,6	7,8	3,5	1280	82	93,6	2720	480	82,3
12/11/98	7,0	7,7	5,4	1260	36	97,1	3060	560	81,7
13/11/98	7,2	7,6	7,0	860	37	95,7	2270	612	73,0
17/11/98	6,2	7,6	6,6	1080	64	94,1	1860	344	81,5
18/11/98	9,4	7,7	5,9	1450	51	96,5	1850	300	83,8
19/11/98	5,9	7,4	6,9	1018	138	86,4	4080	435	89,3
24/11/98	6,2	7,1	7,7	785	100	87,3	2570	583	77,3
25/11/98	10,4	7,5	5,6	768	71	90,8	2180	407	81,3
27/11/98	5,9	7,5	5,6	830	90	89,2	4330	465	89,3
02/12/98	9,5	7,9	4,8	812	216	73,4	2350	820	65,1
03/12/98	9,3	7,8	*	1170	216	81,5	2230	1170	47,5
04/12/98	5,5	7,5	*	1160	21	98,2	1840	346	81,2
08/12/98	6,2	7,7	*	957	71	92,6	2860	670	76,6
10/12/98	6,8	7,2	*	1060	91	91,4	5750	1460	74,6
11/12/98	8,5	7,5	*	882	26	97,0	2340	410	82,5
14/12/98	6,1	7,2	*	1150	88	92,3	2960	420	85,8
15/12/98	8,5	7,5	*	1250	27	97,8	2210	235	89,4
16/12/98	8,8	7,5	*	1180	76	93,6	3220	425	86,8
17/12/98	6,9	7,6	7,7	924	69	92,5	2020	298	85,3
18/12/98	5,8	7,3	7,0	1990	367	81,6	2680	880	67,2
19/12/98	6,4	8,0	7,3	856	38	95,6	1070	195	81,8
22/12/98	6,9	8,1	7,2	1330	30	97,7	1820	340	81,3
Valores médios	*	*	*	1113	88	92,1	2613	539	79,0

* Valores não determinados

pH_{bruto} -pH do efluente industrial (bruto)

pH_{bio} -pH do efluente clarificado do tratamento biológico

DBO_{bruto} -DBO do efluente industrial (bruto)

DBO_{bio} -DBO do efluente clarificado do tratamento biológico

DQO_{bruto} -DQO do efluente industrial (bruto)

DQO_{bio} -DQO do efluente clarificado do tratamento biológico

Tabela 5.2 – Valores de SST, SSF e SSV dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação, RS dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação (RS_{RR}), RS dos efluentes clarificados do tratamento biológico (RS_{bio}) e IVL.

Data	SST _{RR} (mg/L)	SSF _{RR} (mg/L)	SSV _{RR} (mg/L)	RS _{RR} (mL/L)	RS _{bio} (mL/L)	IVL (mL/g)
04/11/98	*	*	*	400	*	*
06/11/98	*	*	*	340	*	*
10/11/98	3960	1190	2770	370	2,5	93
11/11/98	3540	890	2650	380	1,0	107
12/11/98	3870	968	2902	400	0,3	103
13/11/98	3715	1146	2569	380	0,2	102
17/11/98	3820	1150	2670	370	0,1	97
18/11/98	3750	636	3114	430	*	115
19/11/98	4680	830	3850	470	*	100
24/11/98	3580	594	2986	350	<0,1	98
25/11/98	4610	830	3780	460	*	100
27/11/98	5000	900	4100	380	0,5	76
02/12/98	2350	470	1880	180	3,0	76
03/12/98	2210	420	1790	190	0,2	86
04/12/98	3140	565	2575	310	*	99
08/12/98	4990	1000	3990	440	1,5	88
10/12/98	4620	920	3700	350	*	76
11/12/98	5800	1040	4760	590	*	101
14/12/98	4830	920	3910	570	*	108
15/12/98	4990	1040	3950	460	*	92
16/12/98	4980	950	4030	450	*	90
17/12/98	4730	900	3830	320	*	68
18/12/98	930	168	762	200	*	215
19/12/98	2420	510	1910	260	*	107
22/12/98	2200	440	1760	180	*	82

* Valores não determinados

SST_{RR} - Sólidos suspensos totais dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação

SSF_{RR} - Sólidos suspensos fixos dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação

SSV_{RR} - Sólidos suspensos voláteis dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação

RS_{RR} - Resíduos sedimentáveis dos efluentes do reator biológico durante a fase de reação

RS_{bio} - Resíduos sedimentáveis do efluente clarificado do tratamento biológico

IVL - Índice volumétrico de lodo

Tabela 5.3 – Valores de Turbidez , Cor e porcentagens de remoção correspondentes, para os efluentes clarificados do tratamento biológico e industriais (bruto).

Data	T _{bruto} (uT)	T _{bio} (uT)	% de rem	Cor _{bruto} (uH)	Cor _{bio} (uH)	% de rem
04/11/98	153	59	61,4	820	296	63,9
06/11/98	276	96	65,2	1550	532	65,7
10/11/98	287	160	44,2	1620	760	53,1
11/11/98	295	167	43,4	1643	780	52,5
12/11/98	500	125	75,0	2690	700	74,0
13/11/98	350	140	60,0	1950	750	61,5
17/11/98	300	65	78,3	1575	370	76,5
18/11/98	260	34	86,9	1440	190	86,8
19/11/98	305	92	69,8	5600	500	91,1
24/11/98	255	100	60,8	2950	550	81,4
25/11/98	297	88	70,4	3100	470	84,8
27/11/98	1600	140	91,3	8475	740	91,3
02/12/98	500	210	58,0	2800	1200	57,1
03/12/98	360	120	66,7	2100	640	69,5
04/12/98	493	89	81,9	2100	350	83,3
08/12/98	950	228	76,0	5150	1220	76,3
10/12/98	983	582	40,8	5235	3287	37,2
11/12/98	769	373	51,5	4327	2891	33,2
14/12/98	703	297	57,8	4200	2003	52,3
15/12/98	726	238	67,2	4367	1997	54,3
16/12/98	823	309	62,4	5002	2367	52,7
17/12/98	714	304	57,4	4368	2013	53,9
18/12/98	440	172	60,9	2390	940	60,7
19/12/98	200	60	70,0	1110	320	71,2
22/12/98	247	67	72,9	1525	387	74,6
Valores médios	511	173	65,2	3123	1050	66,4

T_{bruto} - Turbidez do efluente industrial (bruto)

T_{bio} - Turbidez do efluente clarificado do tratamento biológico

Cor_{bruto} - Cor do efluente industrial (bruto)

Cor_{bio} - Cor do efluente clarificado do tratamento biológico

Da análise dos valores de pH presentes na TAB. 5.1, pode ser verificado que os efluentes industriais (bruto) variaram na faixa de 5,5 a 11,2 (pH_{bruto}), sendo que em 72 % das vezes, os valores estiveram abaixo de 8,9. Do mesmo modo pode ser notado, que os valores de pH para os efluentes clarificados do tratamento biológico (pH_{bio}), variaram numa estreita faixa entre 7,1 e 8,1, sem que qualquer produto químico fosse adicionado. Pode ser notado que ocorreu o tamponamento dos efluentes. Os valores de OD, também presentes na TAB. 5.1, foram medidos no final da fase de enchimento, com aparelho diretamente no reator. Os demais parâmetros foram determinados a partir das amostras coletadas na indústria, e levadas ao laboratório onde foram efetuadas as análises.

Os valores de DBO da amostra do efluente bruto ($\text{DBO}_{\text{bruto}}$) de acordo com os dados da TAB.5.1, variaram entre o mínimo de 768 e o máximo de 1990 mg/L, ficando acima dos valores obtidos por TEXTILE...(1975), apresentados na TAB. 3.16 para o setor de tinturaria, e próximo aos obtidos por HART (1994), na TAB. 3.17, para o setor de tecidos de algodão.

A variação entre os valores de DQO do efluente bruto ficou na faixa de 1070 a 5750 mg/L e, portanto acima dos registros obtidos por TEXTILE...(1975) e HART (1994), presentes na TAB. 3.16 e TAB. 3.17, respectivamente, o que mostra um maior potencial de carga poluidora. Observa-se ainda que as eficiências de remoção de DBO e DQO, excluindo-se os dias em que ocorreu a adaptação do lodo ao efluente industrial (de 30/11 a 03/12/98), variaram na faixa de 81,6% a 98,4% para a DBO, e 67,2% a 89,4% para a DQO. Os valores de remoção de DBO são praticamente iguais aos recomendados pela CETESB (1991), no que se refere aos despejos de origem têxtil (90% a 98%), produzindo um efluente nitrificado e lodo praticamente digerido de forma aerobia. Os valores de remoção de DQO dão indícios fortes de que este processo de oxidação tenha se dado de uma forma próxima ao da aeração prolongada. Esses resultados indicam como sendo uma boa alternativa, a utilização do reator biológico tipo LAB, para o tratamento dos efluentes da empresa Ober, atendendo à legislação vigente.

Quando no reator, durante a fase de reação, os valores de RS_{RR} variaram no intervalo de 351 a 450 mL/L, as porcentagens de remoção de DBO variaram na faixa de 89,2% a 98,4%. Isto pode ser detectado analisando-se os dados da TAB. 5.2 e 5.1. Ainda fazendo esse

tipo de análise, pode ser verificado que, quando os valores de RS_{RR} variaram entre 251 e 350 mL/L as remoções ficaram entre 87,3% e 98,2%. Ainda sobre esses índices a análise dessas tabelas mostram que para valores de RS_{RR} entre 150 e 250 mL/L as remoções de DBO estiveram entre 73,4% e 97,7 %. Isto significa que, com uma menor fração de lodo, podem ser obtidas remoções de DBO praticamente iguais.

Os índices volumétricos de lodo (IVL) tiveram os seus valores entre 68 e 115 mL/g, ficando dentro da faixa recomendada pela KAWAI (1991), que varia entre 40 e 150 mL/g, indicando a boa qualidade do lodo formado. Para o dia 18, o valor do IVL ficou acima da referida faixa, devido ao pequeno valor de SST_{RR} .

De acordo com os dados da TAB. 5.2. pode ser detectado que os valores de sólidos suspensos totais do reator, durante a fase de reação (SST_{RR}), que variaram dentro dos índices recomendados por METCALF e EDDY (1985) (3000 a 6000 mg/L), tiveram uma eficiência de remoção de DBO na faixa de 86,4% a 98,2%. Mesmo quando se teve valores de SST_{RR} abaixo do recomendado, excetuando o período de início do reator, foram obtidos valores de remoção de DBO acima de 80%.

Com os valores de cor e turbidez, presentes nas tabelas do anexo A, correspondentes às amostras bruta, e às clarificadas obtidas no reator biológico, foi montada a TAB 5.3. A questão da variação dos componentes químicos, principalmente corantes, aparentemente não apresentou diferenças significativas percentuais nos valores de remoção de cor e turbidez, variando na faixa de 33,2% a 91,3% e entre 40,8% e 91,3%, respectivamente. Pode ser observado que os valores médios de porcentagem de remoção de turbidez e de cor, foram de 65,2% e 66,4%, respectivamente, ficando próximos. No entanto, para a escolha da amostra com melhores resultados produzidos, principalmente em relação à segunda etapa do trabalho, o tratamento físico-químico, foi considerado somente o parâmetro relativo à turbidez.

Segundo a CETESB (1991), o sistema biológico por lodos ativados, modalidade de aeração prolongada, atinge até 65%, em termos de remoção de cor, sendo esse índice, praticamente o mesmo, atingido em média, pelo reator em estudo.

5.3. Segunda etapa do trabalho experimental

As amostras clarificadas oriundas do tratamento biológico para realização dos ensaios dessa etapa, foram coletadas durante o período de 15/12/98 a 22/12/98. Os testes foram realizados entre os dias 23/12/98 e 31/12/98. As características dos ensaios, bem como os tipos e dosagens de produtos químicos utilizados, assim como os resultados obtidos em termos de remoção de turbidez dos efluentes decantados e filtrados, encontram-se nas tabelas presentes no anexo B. Após as análises, os dados foram tabelados e encontram-se no anexo C. As TABs. 5.4, 5.5, resumem os dados levantados durante o período de avaliação do tratamento físico-químico a partir das referidas análises.

Para os parâmetros caracterizados nos referidos ensaios, os valores de alcalinidade original presentes nos efluentes líquidos, reagiu com o sulfato de alumínio, formando hidróxidos, que precipitavam, ocorrendo uma diminuição dos seus valores. Pode ser verificado para o clarificado do tratamento biológico que, os valores variaram entre 490 e 520 mg/L, enquanto que para a dos efluentes do tratamento físico químico, variaram entre os valores de 70 e 287 mg/L.

Para promover a coagulação – floculação dos efluentes clarificados oriundos do tratamento biológico, foram utilizadas dosagens de sulfato de alumínio variando entre 200 e 1000 mg/L, tendo como valores de pH de coagulação, variações entre 5,4 a 7,1. Para as amostras selecionadas em cada ensaio em termos de remoção de turbidez, as dosagens variaram entre 500 e 800 mg/L e os valores de pH do sobrenadante ficou entre 6,0 e 6,5, compatibilizando com o mecanismo de coagulação adotado (TAB.5.4).

Os ensaios que utilizaram polímero, como auxiliar de floculação, permitiram em alguns casos, reduzir a dosagem de sulfato de alumínio em até 100 mg/L, ou um aumento na remoção de turbidez. Em outros casos, os resultados não apresentaram diferenças significativas. Isto pode ser explicado pelo fato do equipamento de “jar - test” promover a coagulação e floculação através de paletas que deveriam girar de forma constante em função do G adotado, contudo, em alguns ensaios, devido ao atrito de algumas das paletas com o fundo dos jarros, as mesmas não giravam de forma contínua, podendo dessa forma, ter alterado os resultados.

Para a turbidez dos efluentes clarificados do tratamento físico químico, os valores variaram entre o mínimo de 0,59 e o máximo de 2,29 uT. As porcentagens de remoção de turbidez tiveram como menor valor 98,5%. Para o parâmetro cor, os valores variaram entre 19 e 55 uH, e as porcentagens de remoção ficaram entre 90,6% e 99,1%.

Os valores de DBO e DQO, para os efluentes clarificados do tratamento físico químico, variaram na faixa de 5 a 150 e de 70 a 386 mg/L, respectivamente. As porcentagens de remoção para a DBO variaram entre 37,0% e 92,1%, e para a DQO entre 25,5% e 79,4%. No entanto, os valores obtidos superam em 91% dos casos, os mínimos indicados por METCALF & EDDY (1985) (40% a 70% para a DBO e 30% a 60% para a DQO), apesar de também terem sido encontrados valores menores.

A condutividade é um indicador de sólidos dissolvidos na água, apontando a presença de íons, podendo acelerar os processos de corrosão. É possível estimar a quantidade de sólidos dissolvidos totais a partir da condutividade. A EPA (1974) utiliza para efluentes líquidos de tinturaria, um fator de conversão de condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ para de SDT em mg/L, cujo valor é de 0,65. Os valores de SDT, estimados a partir deste fator, variaram entre 1048 e 1404 mg/L.

Para a dureza, os valores permaneceram na estreita faixa de 23 a 67 mg/L, praticamente dentro da faixa preconizada pela EPA (1974).

Os valores de ferro para os efluentes sobrenadantes do tratamento físico-químico ficaram no máximo em 0,07 mg/L e em 88% das vezes, menor ou igual a 0,03 mg/L, que é a referenciada pela resolução n. 20 do CONAMA, para águas de abastecimento.

A concentração de manganês ficou com seu valor máximo em 0,1 mg/L, obedecendo às normas mais restritivas EPA(92) e EPA (74), e BOTELHO (1983).

Os SST podem causar desgastes dos condutos por atrito e formar depósitos. Os resultados variam na faixa de 14 a 22 mg/L.

Tabela 5.4 – Valores de Alcalinidade (Alc.), Dosagens de produtos químicos, pH, Turbidez (Tur.), Cor, porcentagens de remoção e condutividade (Cond.), para os efluentes do tratamento biológico e do tratamento físico-químico.

Ensaio/ jarro	Amostra	Alc. _{bio} (mg/L)	Alc. _{FQ} (mg/L)	Sulfato de Al (mg/L)	Polímero (mg/L)	pH _{bio}	pH _{FQ}	Tur. _{bio} (uT)	Tur. _{FQ} (uT)	% rem	Cor _{bio} (uH)	Cor _{FQ} (uH)	% rem
1 / 3	15/12/98	510	127	400	zero	7,5	6,4	238	1,38	99,4	1997	42	97,9
1 / 5	15/12/98	510	70	600	zero	7,5	6,0	238	1,12	99,5	1997	28	98,6
2	15/12/98	510	120	500	0,25	7,5	6,1	238	0,86	99,6	1997	22	98,9
3	15/12/98	510	98	500	0,06	7,5	6,2	238	0,73	99,7	1997	27	98,6
4	15/12/98	510	93	500	0,06	7,5	6,2	238	1,51	99,4	1997	20	99,0
5	16/12/98	520	145	700	zero	7,5	6,2	309	1,50	99,5	2367	29	98,8
6	16/12/98	520	143	700	0,06	7,5	6,2	309	0,89	99,7	2367	21	99,1
7	17/12/98	510	225	700	zero	7,6	6,4	304	1,52	99,5	2013	32	98,4
8	17/12/98	510	220	650	0,06	7,6	6,4	304	2,03	99,3	2013	52	97,4
9	17/12/98	510	230	650	0,06	7,6	6,5	304	1,51	99,5	2013	55	97,3
10	18/12/98	490	287	700	zero	7,3	6,4	172	2,03	98,8	940	55	94,1
11 / 1	18/12/98	490	260	800	zero	7,3	6,2	172	2,29	98,7	940	42	95,5
11 / 6	18/12/98	490	270	800	0,06	7,3	6,2	172	2,10	98,8	940	43	95,4
12	19/12/98	500	95	500	zero	8,0	6,0	60	0,59	99,0	320	30	90,6
13	19/12/98	500	120	500	0,06	8,0	6,0	60	0,70	98,8	320	20	93,8
14	22/12/98	520	142	700	zero	8,1	6,2	67	1,00	98,5	387	19	95,1
15	22/12/98	520	162	700	0,06	8,1	6,2	67	0,99	98,5	387	22	94,3
Valores médios ¹	*	508	169	*	*	7,7	6,2	192	1,12	99,2	1337	35	95,7

¹ Os valores médios (média aritmética) foram calculados a partir do melhor resultado em termos de remoção de turbidez do clarificado, do conjunto de ensaios de uma amostra. Os valores considerados, para o cálculo da média, estão destacados em negrito.

* Valores não determinados.

- Alc_{bio} - Alcalinidade do efluente clarificado do tratamento biológico
- Alc_{FQ} - Alcalinidade do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico
- pH_{bio} - pH do efluente clarificado do tratamento biológico
- pH_{FQ} - pH do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico
- Turbidez_{bio} - Turbidez do efluente clarificado do tratamento biológico
- Turbidez_{FQ} - Turbidez do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico
- Cor_{bio} - Cor do efluente clarificado do tratamento biológico
- Cor_{FQ} - Cor do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico

Tabela 5.5 - Valores de DBO, DQO, porcentagens de remoção correspondentes, Condutividade (Cond.), estimativa para SDT, valores de Dureza, Fe, Mn, SST, para o efluente clarificado do tratamento biológico e o sobrenadante do tratamento físico-químico.

Data do ensaio	Amostra	Ensaio / jarro	DBO _{bio} (mg/L)	DBO _{FQ} (mg/L)	% rem	DQO _{bio} (mg/L)	DQO _{FQ} (mg/L)	% rem	Cond. (μS/cm)	Estimativa para SDT (mg/L)	Dureza (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SST (mg/L)
23/12/98	15/12/98	1 / 3	27	5	81,5	235	175	25,5	1647	1071	67	0,02	0,1	20
23/12/98	15/12/98	1 / 5	27	6	77,8	235	120	48,9	1693	1100	47	0,02	0,1	16
23/12/98	15/12/98	2	27	8	70,4	235	146	37,9	1638	1065	45	0,01	0,1	18
28/12/98	15/12/98	3	27	10	63,0	235	150	36,2	1679	1091	37	<0,01	0,1	19
28/12/98	15/12/98	4	27	17	37,0	235	169	28,1	1667	1084	50	<0,01	<0,1	18
28/12/98	16/12/98	5	76	6	92,1	425	113	73,4	1859	1208	38	0,02	<0,1	21
29/12/98	16/12/98	6	76	8	89,5	425	115	72,9	1825	1186	40	0,02	0,1	19
29/12/98	17/12/98	7	69	16	76,8	298	185	37,9	2070	1345	50	<0,01	0,1	19
29/12/98	17/12/98	8	69	14	79,7	298	155	48,0	2060	1339	45	0,01	<0,1	16
30/12/98	17/12/98	9	69	17	75,4	298	165	44,6	2070	1345	43	0,02	0,1	15
30/12/98	18/12/98	10	367	134	63,5	880	386	56,1	2030	1319	43	0,07	0,1	19
30/12/98	18/12/98	11 / 1	367	150	59,1	880	370	57,9	2020	1313	40	0,04	<0,1	22
30/12/98	18/12/98	11 / 6	367	125	65,9	880	377	57,2	2030	1320	46	0,03	<0,1	20
31/12/98	19/12/98	12	38	5	86,8	195	76	61,0	1632	1061	38	<0,01	0,1	14
31/12/98	19/12/98	13	38	7	81,6	195	96	50,8	1613	1048	23	0,01	0,1	14
31/12/98	22/12/98	14	30	12	60,0	340	130	61,8	2160	1404	57	0,01	0,1	16
31/12/98	22/12/98	15	30	7	76,7	340	70	79,4	2140	1391	50	0,01	0,1	19
Valores médios ¹			101	30	75,8	396	160	58,4	1896	1232	42	*	*	17

¹ Os valores médios (média aritmética) foram calculados a partir do melhor resultado em termos de remoção de turbidez do clarificado, do conjunto de ensaios de uma amostra. Os valores considerados, para o cálculo da média, estão destacados em negrito.

* Valores não determinados.

DBO_{bio} - Demanda bioquímica de oxigênio do efluente clarificado do tratamento biológico

DBO_{FQ} - Demanda bioquímica de oxigênio do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico

DQO_{bio} - Demanda química de oxigênio do efluente clarificado do tratamento biológico

DQO_{FQ} - Demanda química de oxigênio do efluente sobrenadante do tratamento físico-químico

5.4. Avaliação da eficiência do tratamento biológico seguido do físico-químico na tratabilidade do efluente bruto

Foram selecionados os resultados obtidos para as amostras de efluentes industriais (bruto), no período de 15/12/98 até 22/12/98. Para os efluentes do sistema de tratamento biológico, seguido de físico-químico (tratado), foi selecionado, após filtração, para cada dia, a melhor amostra de cada ensaio, em termos de remoção de turbidez, durante o mesmo período. A Tab. 5.6. foi montada a partir dos dados tabelados nos anexos A e C. Analisando os seus valores, pode ser avaliado o tratamento dos despejos líquidos composto pelos dois sistemas em série (tratamento biológico, seguido do físico-químico).

Os valores de pH da amostra bruta, variaram entre 5,8 e 8,8. Depois da passagem do efluente bruto pelo tratamento biológico, pode ser observado, através dos dados da TAB. 5.1 que, esses valores permaneceram na faixa de 7,1 a 8,1. Após o tratamento físico-químico, conforme dados da TAB.5.4, os mesmos foram diminuídos devido à adição e reação do sulfato de alumínio, com a alcalinidade do meio líquido variando entre os valores de 6,0 e 6,5.

As remoções de turbidez ficaram acima dos 99%, sendo que na primeira etapa de tratamento, esse valor é em média 65,2% e para a segunda etapa 99,2%. Para a cor esses valores ficaram acima de 97% e em média, 66,4% referentes à primeira etapa, e de 95,7%, referentes à segunda.

A média dos resultados obtidos para a DBO e DQO em termos de porcentagem de remoção é de 97,6% e de 92,6%, respectivamente. Sendo que, para a primeira etapa, esses valores correspondem a 92,1% e 79,0% (dados da TAB.5.1), e para a segunda, 75,8% e 58,4% (dados da TAB.5.5), respectivamente.

Tabela 5.6 – Valores de pH, turbidez, cor, DBO, DQO, dureza, SST, SDT (estimativa), Fe, Mn, Alcalinidade (Alc.) e porcentagem de remoção para os efluentes industriais (Bruto) e para os efluentes filtrados do sistema de tratamento biológico seguido do físico – químico (Trat.).

Amostras Parâmetros	15/12/98			16/12/98			17/12/98			18/12/98			19/12/98			22/12/98			¹ Valores médios		
	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total	Bruto	Trat.	% rem total
pH	8,5	6,2	*	8,8	6,2	*	6,9	6,5	*	5,8	6,4	*	6,4	6,0	*	6,9	6,2	*	7,2	6,2	*
Turbidez (uT)	726	0,73	99,9	823	0,89	99,9	714	1,51	99,8	440	2,03	99,5	200	0,59	99,7	247	0,99	99,6	525	1,12	99,8
Cor (uH)	4367	27	99,4	5002	21	99,6	4368	55	98,7	2390	55	97,7	1110	30	97,3	1525	22	98,6	3127	35	98,9
DBO (mg/L)	1250	10	99,2	1180	8	99,3	924	17	98,2	1990	134	93,3	856	5	99,4	1330	7	99,5	1255	30	97,6
DQO (mg/L)	2210	150	93,2	3220	115	96,4	2020	165	91,8	2680	386	85,6	1070	76	92,9	1820	70	96,2	2170	160	92,6
Dureza (mg/L de Ca CO ₃)	120	37	69,2	115	40	65,2	100	43	57,0	110	43	60,9	79	38	51,9	75	50	33,3	100	42	58,0
SST (mg/L)	*	19	*	*	19	*	*	15	*	*	19	*	*	14	*	*	19	*	*	17	*
SDT (mg/L) (estimativa)	1259	1091	*	1302	1186	*	1289	1345	*	1203	1319	*	890	1061	*	964	1391	*	1151	1232	*
Fe (mg/L)	*	<0,01	*	*	0,02	*	*	0,02	*	*	0,07	*	*	<0,01	*	*	0,01	*	*	<0,02	*
Mn (mg/L)	*	0,1	*	*	0,1	*	*	0,1	*	*	0,1	*	*	0,1	*	*	0,1	*	*	0,1	*
Alc (mg/L de CaCO ₃)	*	98	*	*	143	*	*	230	*	*	287	*	*	95	*	*	162	*	*	169	*

* Valores não determinados.

Trat. - Tratado

¹Valores médios – Foi utilizado para o cálculo, média aritmética.

Para a dureza ocorreu uma redução média de 58,0%, após a passagem do efluente industrial pelas duas etapas de tratamento, tendo como valor médio 42 mg/L.

O valor estimativo de SDT dos efluentes industriais (bruto) foi de 1151mg/L em média, e após as etapas de tratamento, foi de 1232 mg/L. Pode ser observado na TAB. 5.6 que estes dados ora são maiores para os efluentes bruto, ora são maiores para os efluentes tratado, indicando que esse parâmetro praticamente não sofre alteração durante as duas etapas de tratamento em série. Comportamento semelhante foi obtido por NICOLAU e HADJIVASSALIS (1992) e pode ser observado através da análise dos dados da TAB.3.20.

5.5. Comparação entre a água requerida no processo e a água tratada

A água requerida para o processamento industrial têxtil pode ser apresentada segundo os dados da TAB.5.7 Existem variações entre os parâmetros apresentados, dependendo da matéria prima e da etapa do processo. Cada fonte apresenta valores limites diferentes. A EPA(1974) estabelece os limites para água de processo que utiliza o algodão como matéria prima, enquanto que a EPA(1992), para os processos de engomagem.

Tabela 5.7 – Limites dos parâmetros de qualidade para a água utilizada nos diversos processos têxteis, segundo três fontes diferentes.

Parâmetros Fonte	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L de Ca CO ₃)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SST (mg/L)	Alc. (mg/L)
Botelho (1983)	6 - 8	5	5	25	100	0,1	0,1	5	*
EPA (1992)	*	*	5	25	100	0,3	0,05	5	*
EPA (1974)	*	25	50	50	200	0,20	0,1	*	100

* valores não determinados

Os valores médios dos parâmetros para a água produzida pelo tratamento em estudo pode ser observada na TAB. 5.8.

Os dados resultantes do tratamento biológico, seguido de físico-químico quando comparados com os indicados na TAB. 5.7, atendem aos limites, quanto aos valores médios de pH, turbidez, Fe e Mn. Os valores de cor e dureza atendem somente aos limites estabelecidos para os processos que utilizam o algodão como matéria prima. Os resultados de SDT, SST e Alcalinidade, ficaram acima dos limites estabelecidos.

Tabela 5.8 – Valores médios dos parâmetros após os tratamentos biológico e físico-químico, seguidos de filtração.

Parâmetros								
pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L de CaCO ₃)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SST (mg/L)	Alc. (mg/L)
6,4	1,12	35	42	1232	< 0,02	0,1	17	169

5.6. Teste com o efluente industrial tratado, como água de processo

5.6.1. Considerações iniciais

Com a intenção de verificar a real condição de reuso/reciclagem da água obtida após processo de tratamento em estudo, foram realizados testes no laboratório da empresa Beneficiadora de Tecidos São José, simulando o processo de tingimento, alvejamento e lavagem de tecidos de fibras de poliéster e viscose.

Para realização desses testes, foram coletados aproximadamente 30 L dos efluentes clarificados gerados pelo tratamento biológico no dia 15/12/98, sendo posteriormente submetidos ao tratamento físico-químico, com 500 mg/L de sulfato de alumínio e 0,06 mg/L, polímero aniônico, e na sequência, filtrados em papel de filtro Whatman 40. As características

qualitativas da água produzida, estão descritas na TAB.5.6.

5.6.2. Teste com os efluentes líquidos tratados simulando o processo industrial de tingimento e alveijamento

Dois testes foram realizados: um com tecidos de poliéster com 100% em sua composição, e outro com tecidos de viscose também com a mesma porcentagem.

Os testes realizados na empresa Beneficiadora de Tecidos São José, simularam o processo de tingimento em escala real. O primeiro teste foi realizado com amostras de tecidos de poliéster, e os corantes utilizados foram os do tipo disperso. O equipamento utilizado para o teste é denominado aparelho de tingimento de laboratório até 135°C, marca Fong's Engineering Co. Ltd.. A FIG. 5.1 apresenta uma fotografia com detalhes do equipamento. Ainda foram adotados alguns procedimentos para a realização do mesmo. São eles:

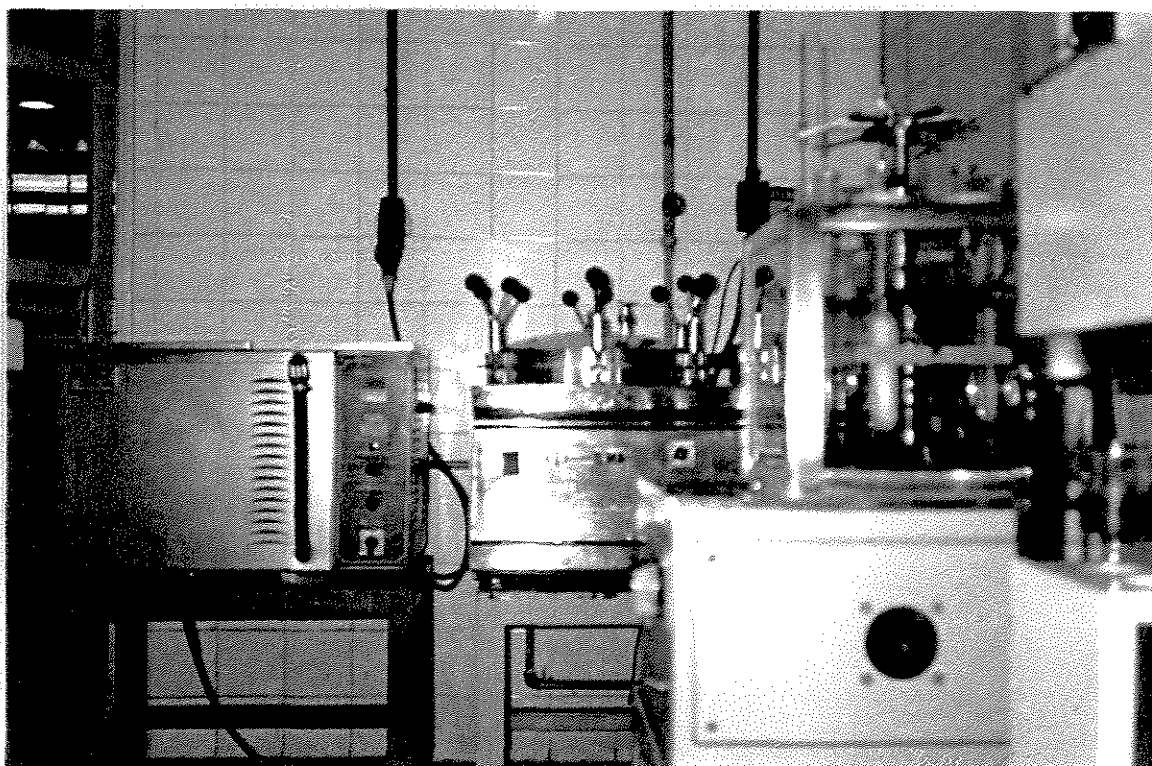


Figura 5.1- Aparelho utilizado para os testes nos tecidos de poliéster (à esquerda).

- foram recortados pedaços de tecidos para confecção das amostras;
- foram utilizadas 6 cápsulas metálicas, três delas, preenchidas com água do poço artesiano da empresa (água industrial), e as outras três utilizando a água tratada a partir dos efluentes da empresa Ober. Durante o teste, cada amostra de tecido ficava alojada nas cápsulas junto com a água correspondente, produtos auxiliares e o corante;
- as cápsulas metálicas foram acondicionadas no equipamento, e mantidas em movimento giratório e em contato com líquido aquecido até a temperatura de 130 °C, durante um período de 1 h aproximadamente;
- após este período o equipamento era desligado, e deixado em repouso até o seu resfriamento;
- as amostras foram removidas das cápsulas e deixadas para secar em estufa;
- os tecidos foram tingidos nas cores preta, palha e branca.

O segundo teste foi realizado com amostras de tecidos de viscose, e os corantes utilizados foram os do tipo direto. Foi utilizado para o teste o equipamento denominado aparelho de tingimento de laboratório até 100°C, marca Asinco, ilustrado na FIG. 5.2. Foram adotados alguns procedimentos para a realização do mesmo:

- foram recortados pedaços de tecidos para confecção das amostras;
- foram utilizados 2 tubos de vidro, sendo um deles preenchido com água do poço artesiano da empresa, e o outro com a água em estudo. Os tubos foram acondicionados no equipamento, sendo aquecidos até a temperatura de 90 °C, durante 2 h aproximadamente. Em cada amostra de tecido foi colocada uma haste metálica que tinha um movimento de subir e descer, fazendo com que o tecido tivesse o mesmo movimento dentro do tubo, preenchido com a água, produtos auxiliares e o corante;
- após este período o equipamento era desligado, sendo retiradas as amostras e colocadas em estufa até secar;
- os tecidos de viscose foram tingidos nas cores preta, palha e branca.

Após passagem pelo setor de inspeção para verificação do resultado dos testes não

foram notadas diferenças entre os materiais dos testes que foram tingidos utilizando água industrial da empresa, e água obtida através do tratamento em estudo.

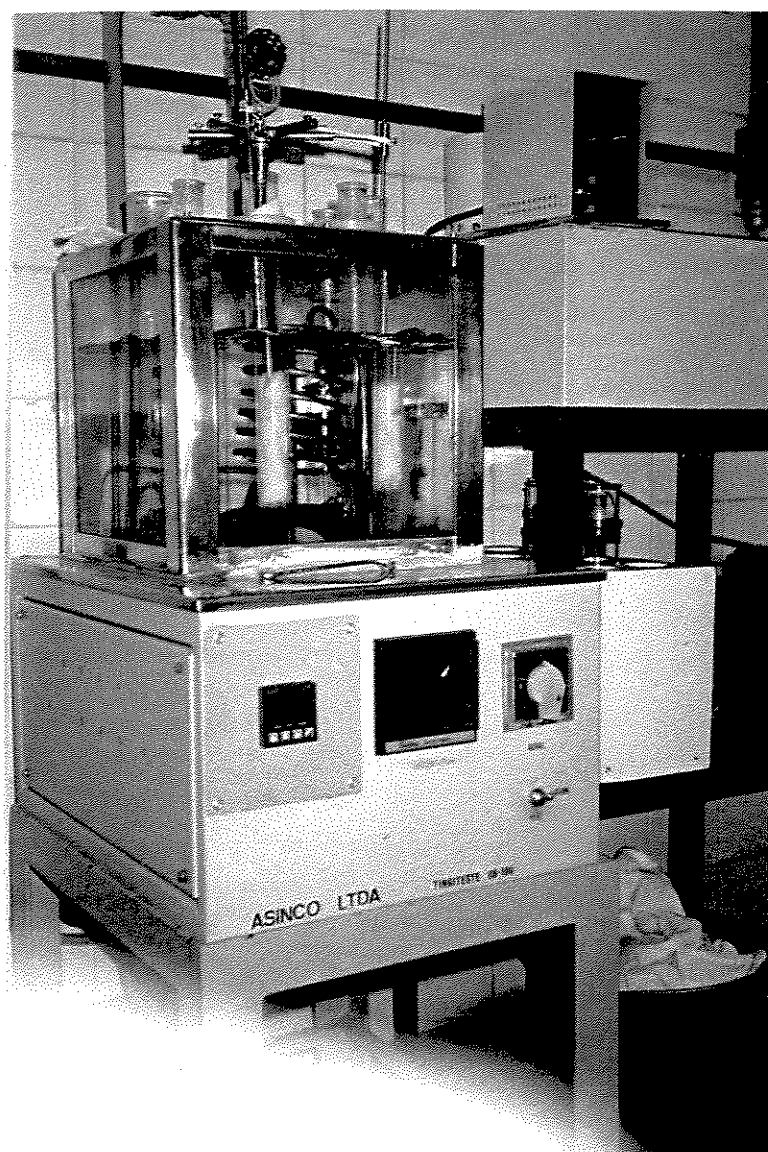


Figura 5.2 – Equipamento utilizado para os testes nos tecidos de viscose.

5.7. Custos operacionais do sistema de tratamento em estudo

Para um efeito comparativo, relativamente a custos, foi efetuado um ligeiro estudo para se ter a imagem da questão dos custos envolvidos no processo. Algumas hipóteses foram estabelecidas e usados alguns dados obtidos de folhas de pagamento, custos de energia elétrica, de transporte que constam de planilhas de custos não anexadas.

Os custos operacionais do sistema de tratamento foi estimado em R\$ 1,03, por m³ dos efluentes líquidos industriais tratados da empresa Ober S.A., através do sistema biológico, seguido do físico – químico em estudo, para uma vazão de 22 m³/h. As informações estão resumidos na TAB. 5.9 e podem ser subdivididos em:

a) despesas com mão de obra : para o funcionamento do referido tratamento foi considerado um operador por turno, com jornada de 8 h, e mais um profissional para cobrir as folgas, totalizando um número de 4 pessoas. Foi considerado um valor médio de R\$ 1.130,00, com os devidos encargos sociais para remuneração dos operadores, perfazendo um total de R\$ 4.520,00 por mês.

b) produtos químicos: os custos estimativos dos produtos utilizados na etapa experimental deste trabalho são:

- uréia e ácido fosfórico: esses produtos são utilizados como fonte de nitrogênio e fósforo, respectivamente. A proporção de DBO:N:P indicada no item 4.2.3 é de 100:5:1. A carga de DBO_{média} é de 1113 mg/L, resultando num consumo mensal de aproximadamente 1875 kg/mês de uréia (47% de nitrogênio), e 550 kg/mês de ácido fosfórico (32% de fósforo), totalizando valores de R\$ 112,50 e R\$ 995,50, respectivamente.
- sulfato de alumínio : o consumo de sulfato de alumínio ficou na faixa de 500 a 800 mg/L, para um volume mensal de efluente tratado de 15.840 m³

(22 m³/h durante 720 h por mês). O valor médio estimado mensalmente é de R\$ 1.339,00.

- polieletrólito : a dosagem de polieletrólito aniônico utilizada foi de 0,06 mg/L. O consumo previsto para o referido volume mensal é de, aproximadamente, 0,95 kg. O custo por kg de produto é de 9,50.

c) energia elétrica: a potência estimada para o funcionamento do sistema é de, aproximadamente, 55 cv, totalizando em 41 kWh a uma razão de R\$ 0,076 a unidade, resultando em um valor de R\$ 2.243,52.

d) manutenção dos equipamentos : foi adotado o valor de R\$ 0,082/m³ para as despesas de manutenção com equipamentos. Este é o valor médio gasto por uma empresa do ramo têxtil com atividades similares aos da empresa estudada, possuindo um sistema de tratamento biológico contínuo por lodos ativados. O valor estimado gasto é de R\$ 1.298,88.

e) desaguamento e disposição do lodo biológico: o custo para o desaguamento em prensa, utilizando produtos químicos e com disposição final do lodo no solo, também foi estimado a partir do valor praticado por empresa de atividade similar, que é de R\$ 0,13 por m³ de efluente tratado, resultando no valor de aproximadamente R\$ 2.060,00.

f) disposição do lodo químico: o volume de lodo produzido nos ensaios de coagulação-floculação para os efluentes estudados, foi de aproximadamente 0,10L/L, perfazendo um total de 52,8 m³/dia, para uma vazão de 528 m³/d. A massa de lodo para uma concentração de sólidos adotada de 1%, é de 528 kg/dia, resultando em 15,84 ton/mês. O valor cobrado pelos aterros industriais licenciados pelos órgãos ambientais para resíduos desse tipo (classe II), é de R\$ 240,00 por ton., perfazendo um total de R\$ 3.801,60.

Tabela 5.9 – Custos operacionais do sistema de tratamento por m³ dos efluentes líquidos industriais, estudados no presente trabalho.

1 – Mão de obra				
Salários		Encargos sociais		Total
R\$ 2.000,00		R\$ 2.520,00		R\$ 4.520,00
2- Produtos químicos				
Produtos	Quantidade	Unidade	Preço unitário	Total
Uréia	1875	kg/mês	0,06	112,50
Acido fosfórico	550	kg/mês	1,81	995,50
Sulfato de Al	10.300	kg/mês	0,13	1339,00
Polieletrólito	0,95	kg/mês	9,50	9,03
Total				2.456,03
3 – Energia elétrica				
Consumo mensal em kWh		Custo unitário (kWh)		Total
29.520		0,076		2.243,52
4 – Manutenção				
Volume mensal tratado (m³)		Custo por m³ tratado		Total
15840		0,082		1.298,88
5 – Desaguamento e Disposição do lodo				
5.1 -Lodo biológico				
Volume mensal tratado (m³)		Custo por m³ tratado		Total
15840		0,13		2.060,00
5.2- Lodo químico				
ton de lodo por mês		R\$ / ton		Total
15,84		240,00		3.801,60
Total geral				16.380,03
6 – Valor do m³ tratado				
$\text{R\$/m}^3 = \frac{16.380,03}{15.840,00} = 1,03$				

6. Conclusões

Pode-se concluir, com base nos resultados obtidos durante a realização deste trabalho, que:

- a) o modelo matemático desenvolvido por MENDES (1996), para reatores do tipo batelada, utilizado na primeira etapa deste trabalho, constituiu-se em um instrumento importante para estabelecer as condições operacionais, para obtenção da eficiência atingida e minimizar os custos de implantação.
- b) para o despejo líquido utilizado, o valor acima de 25%, como fração de lodo, resultou em eficiências acima de 86,4 %.
- c) para a primeira etapa do trabalho experimental (tratamento biológico), as porcentagens de remoção de DBO e DQO ficaram na faixa de 81,6% e 98,4% e 67,2% e 89,4%, respectivamente.
- d) durante o período de adaptação do lodo foram obtidas as porcentagens de remoção de 81,5 e 73,4% para a DBO e 65,1 e 47,5% para a DQO.
- e) o reator biológico não apresentou mudanças de eficiência de tratabilidade, operando com efluentes com valores de pH próximos de 11, bem como próximos de 5,5, proporcionando durante o período de reação, valores de pH variáveis na faixa de 7,1 a 8,1.
- f) as remoções de turbidez e cor, para o reator biológico, ficaram em média com os valores de 65,2% e 66,4%, respectivamente.
- g) mesmo nos dias em que o valor de RS_{RR} ficou abaixo dos 300 mL/L, o reator obteve eficiência de remoção de DBO, variando na faixa de 73,4% e 97,7%, e para DQO, variando na faixa de 47,5% e 81,8 %.
- h) o processo de lodos ativados por batelada é uma boa opção de tratamento, para os despejos líquidos industriais têxteis.
- i) a utilização do sulfato de alumínio como coagulante, e polímero aniônico como auxiliar de floculação para a segunda etapa do trabalho experimental (tratamento físico-químico), proporcionou valores de eficiência de remoção, de turbidez e de cor, entre 98,5% e 99,7 % e 90,6% e 99,1%, respectivamente.

Esses valores levam em conta as porcentagens de remoção ocorridas entre o efluente clarificado do tratamento biológico, e o sobrenadante do tratamento físico-químico.

- j) as dosagens de sulfato de alumínio que promoveram os melhores resultados em termos de remoção de turbidez, ficaram na faixa de 500 a 800 mg/L.
- k) o uso de polímero aniônico como auxiliar de floculação resultou em redução de turbidez e cor, ou redução na dosagem de coagulante, para a maioria dos ensaios realizados.
- l) as porcentagens de remoção de DBO e DQO, durante a segunda etapa do trabalho experimental, para as amostras selecionadas em termos de remoção de turbidez, estiveram na faixa de 63,0 a 89,5 % e 36,2 a 79,4%, respectivamente. Essas porcentagens de remoção levam em conta as remoções ocorridas entre o efluente clarificado do tratamento biológico, e o sobrenadante do tratamento físico químico.
- m) a eficiência do processo de tratamento contemplando as duas etapas (tratamento biológico, seguido do físico-químico), resultou em 99,8 e 98,9%, em média, para remoção de turbidez e cor, respectivamente.
- n) para a DBO e DQO os valores médios de porcentagem de remoção, também contemplando as duas etapas de tratamento, ficaram em 97,6 e 92,6%, respectivamente.
- o) a redução para a dureza foi, em média, de 58%.
- p) os valores de cor, turbidez, dureza, Fe e Mn, ficaram dentro dos limites estabelecidos pela EPA (1974), sendo estes limites os menos restritivos.
- q) através de testes com os efluentes líquidos tratados, utilizando-os como água de processo, pôde ser constatado, segundo o parecer da empresa onde foi realizada a simulação dos processos de tingimento, e através do departamento de controle de qualidade, que não houve qualquer alteração da qualidade do produto final.
- r) os efluentes líquidos tratados podem também ser reusados como água de lavagem de piso, ou como descargas de banheiro.

7. Recomendações

Levando-se em consideração as duas etapas do trabalho experimental, e os resultados obtidos, pode-se recomendar que:

- a) seja estudado o uso dos efluentes líquidos tratados como água de caldeira, após uma nova etapa de tratamento em um sistema de desmineralização.
- b) sejam estudados e investigados possíveis problemas de incrustações, depósitos e corrosão, nas tubulações e equipamentos, que podem ocorrer devido à reciclagem dos efluentes líquidos têxteis tratados.
- c) sejam viabilizados estudos de outros tipos de tratamento, como a osmose reversa, para efluentes líquidos tratados.
- d) seja estudado, para a segunda etapa do trabalho experimental, a substituição do processo de sedimentação, por flotação, com o objetivo de melhorar a qualidade dos efluentes líquidos tratados.
- e) sejam realizados testes com os efluentes líquidos tratados, em máquinas do processo produtivo, em escala real, para se confirmar as suas possibilidades de reciclagem.

Anexos

Anexo A – Tabelas com os parâmetros de qualidade e características do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação.

Tabela A1 - Parâmetros e características das amostras de efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº1, coletadas em 04/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	clarificado	do Reator / reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	390	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2.400	2.100	*
Cor	uH	820	296	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	934	15	*
DQO	mg/L O_2	1880	455	*
Dureza	CaCO_3	28	40	*
Óleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	*
pH		11,2	8	*
RS	mL/L	<0,1	<0,1	400
SST	mg/L	169	50	*
SSF	mg/L	72	15	*
SSV	mg/L	97	35	*
Turbidez	uT	153	59	*
Eficiência de rem. DBO		98 %		

* valores não determinados.

Tabela A2 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 2, coletadas em 06/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	644	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1.700	2.100	*
Cor	uH	1550	532	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1370	72	*
DQO	mg/L O_2	2440	467	*
Dureza	CaCO_3	30	38	*
Óleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	*
pH		10,3	7,9	*
RS	mL/L	<0,1	<0,1	340
SST	mg/L	180	76	*
SSF	mg/L	54	23	*
SSV	mg/L	126	53	*
Turbidez	uT	276	96	*
Eficiência de rem. DBO		95 %		

* valores não determinados.

Tabela A3 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 3, coletadas em 10/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	700	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1623	1729	*
Cor	uH	1620	760	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1460	101	*
DQO	mg/L O_2	2730	706	*
Dureza	CaCO_3	32	42	*
Óleos e Graxas	mg/L	35	16	*
IVL	mL/g	*	*	93
pH		6,2	8,1	8,1
RS	mL/L	*	2,5	370
SST	mg/L	*	*	3960
SSF	mg/L	*	*	1190
SSV	mg/L	*	*	2770
Turbidez	uT	287	160	*
Eficiência de rem. DBO		93 %		

* valores não determinados.

Tabela A4 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº4, coletadas em 11/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	690	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1789	1692	*
Cor	uH	1643	780	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1280	82	*
DQO	mg/L O_2	2720	480	*
Dureza	CaCO_3	32	45	*
Óleos e Graxas	mg/L	464	360	*
IVL	mL/g	*	*	107
pH		9,6	7,8	7,8
RS	mL/L	*	1,0	380
SST	mg/L	*	*	3540
SSF	mg/L	*	*	890
SSV	mg/L	*	*	2650
Turbidez	uT	295	167	*
Eficiência de rem. DBO		94 %		

* valores não determinados.

Tabela A5 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 5, coletadas em 12/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	620	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	2.250	2.110	*
Cor	uH	2690	700	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	1260	36	*
DQO	mg/L O ₂	3.060	560	*
Dureza	CaCO ₃	75	40	*
Óleos e Graxas	mg/L	178	334	*
IVL	mL/g	*	*	103
pH		7,0	7,7	7,7
RS	mL/L	*	0,3	400
SST	mg/L	*	*	3870
SSF	mg/L	*	*	968
SSV	mg/L	*	*	2902
Turbidez	uT	500	125	*
Eficiência de rem. DBO		97 %		

* valores não determinados.

Tabela A6 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 6, coletadas em 13/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	372	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	2590	2260	*
Cor	uH	1950	750	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	860	37	*
DQO	mg/L O ₂	2270	612	*
Dureza	CaCO ₃	74	56	*
Óleos e Graxas	mg/L	298	223	*
IVL	mL/g	*	*	102
pH		7,2	7,6	7,6
RS	mL/L	*	0,2	380
SST	mg/L	*	*	3715
SSF	mg/L	*	*	1146
SSV	mg/L	*	*	2569
Turbidez	uT	350	140	*
Eficiência de rem. DBO		96 %		

* valores não determinados.

Tabela A7 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 7, coletadas em 17/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	575	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1026	2160	*
Cor	uH	1575	370	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1080	64	*
DQO	mg/L O_2	1860	344	*
Dureza	CaCO_3	58	42	*
Óleos e Graxas	mg/L	105	69	*
IVL	mL/g	*	*	97
pH		6,2	7,6	7,6
RS	mL/L	*	0,1	370
SST	mg/L	*	*	3820
SSF	mg/L	*	*	1150
SSV	mg/L	*	*	2670
Turbidez	uT	300	65	*
Eficiência de rem. DBO		94 %		

* valores não determinados.

Tabela A8 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 8, coletadas em 18/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	685	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1450	1750	*
Cor	uH	1440	190	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1450	51	*
DQO	mg/L O_2	1850	300	*
Dureza	CaCO_3	72	44	*
Óleos e Graxas	mg/L	105	69	*
IVL	mL/g	*	*	115
pH		9,4	7,7	7,7
RS	mL/L	*	*	430
SST	mg/L	*	*	3750
SSF	mg/L	*	*	636
SSV	mg/L	*	*	3114
Turbidez	uT	260	34	*
Eficiência de rem. DBO		96%		

* valores não determinados.

Tabela A9 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 9, coletadas em 19/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	605	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2.500	2.080	*
Cor	uH	5.600	500	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1018	138	*
DQO	mg/L O_2	4080	435	*
Dureza	CaCO_3	96	48	*
Óleos e Graxas	mg/L	80	65	*
IVL	mL/g	*	*	100
pH		5,9	7,4	7,4
RS	mL/L	*	*	470
SST	mg/L	*	*	4680
SSF	mg/L	*	*	830
SSV	mg/L	*	*	3850
Turbidez	uT	305	92	*
Eficiência de rem. DBO		86 %		

* valores não determinados.

Tabela A10 Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 10, coletadas em 24/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	479	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1520	1762	*
Cor	uH	2950	550	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	785	100	*
DQO	mg/L O_2	2570	583	*
Dureza	CaCO_3	80	60	*
Óleos e Graxas	mg/L	122	72	*
IVL	mL/g	*	*	98
pH		6,2	7,1	7,1
RS	mL/L	*	<0,1	350
SST	mg/L	*	*	3580
SSF	mg/L	*	*	594
SSV	mg/L	*	*	2986
Turbidez	uT	255	100	*
Eficiência de rem. DBO		87 %		

* valores não determinados.

Tabela A11 - Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 11, coletadas em 25/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	482	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	3.100	470	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	768	71	*
DQO	mg/L O_2	2180	407	*
Dureza	CaCO_3	82	63	*
Óleos e Graxas	mg/L	26	12	*
IVL	mL/g	*	*	100
pH		10,4	7,5	7,5
RS	mL/L	*	*	460
SST	mg/L	*	*	4610
SSF	mg/L	*	*	830
SSV	mg/L	*	*	3780
Turbidez	uT	297	88	*
Eficiência de rem. DBO		91 %		

* valores não determinados.

Tabela A12- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 12, coletadas em 27/11/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	210	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	8.475	740	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	830	90	*
DQO	mg/L O_2	4330	465	*
Dureza	CaCO_3	160	50	*
Óleos e Graxas	mg/L	37	25	*
IVL	mL/g	*	*	76
pH		5,9	7,5	7,5
RS	mL/L	*	0,5	380
SST	mg/L	*	*	5.000
SSF	mg/L	*	*	900
SSV	mg/L	*	*	4100
Turbidez	uT	1600	140	*
Eficiência de rem. DBO		89 %		

* valores não determinados.

Tabela A13- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 13, coletadas em 02/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	650	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	2.800	1200	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	812	216	*
DQO	mg/L O_2	2350	820	*
Dureza	CaCO_3	170	44	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	76
pH		9,5	7,9	7,9
RS	mL/L	*	3,0	180
SST	mg/L	*	*	2350
SSF	mg/L	*	*	470
SSV	mg/L	*	*	1880
Turbidez	uT	500	210	*
Eficiência de rem. DBO		73 %		

* valores não determinados.

Tabela A14 -Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 14, coletadas em 03/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	548	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	2100	640	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1170	216	*
DQO	mg/L O_2	2230	1170	*
Dureza	CaCO_3	190	44	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	86
pH		9,3	7,8	7,8
RS	mL/L	*	0,2	190
SST	mg/L	*	*	2210
SSF	mg/L	*	*	420
SSV	mg/L	*	*	1790
Turbidez	uT	360	120	*
Eficiência de rem. DBO		82 %		

* valores não determinados.

Tabela A15 -Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 15, coletadas em 04/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	428	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2050	2410	*
Cor	uH	2100	350	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1160	21	*
DQO	mg/L O_2	1840	346	*
Dureza	CaCO_3	73	58	*
Óleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	99
pH		5,5	7,5	7,5
RS	mL/L	*	*	310
SST	mg/L	*	*	3140
SSF	mg/L	*	*	565
SSV	mg/L	*	*	2575
Turbidez	uT	493	89	*
Eficiência de rem. DBO		98 %		

* valores não determinados.

Tabela A16- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 16, coletadas em 08/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	480	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1816	1454	*
Cor	uH	5150	1220	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	957	71	*
DQO	mg/L O_2	2860	670	*
Dureza	CaCO_3	360	46	*
Óleos e Graxas	mg/L	147	124	*
IVL	mL/g	*	*	88
pH		6,2	7,7	7,7
RS	mL/L	*	1,5	440
SST	mg/L	*	*	4.990
SSF	mg/L	*	*	1.000
SSV	mg/L	*	*	3.990
Turbidez	uT	950	228	*
Eficiência de rem. DBO		93 %		

* valores não determinados.

Tabela A17- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 17, coletadas em 10/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	510	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	1983	1871	*
Cor	uH	5235	3287	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	1060	91	*
DQO	mg/L O ₂	5750	1460	*
Dureza	CaCO ₃	170	60	*
Oleos e Graxas	mg/L	279	253	*
IVL	mL/g	*	*	76
pH		6,8	7,2	7,2
RS	mL/L	*	*	350
SST	mg/L	*	*	4620
SSF	mg/L	*	*	920
SSV	mg/L	*	*	3700
Turbidez	uT	983	582	*
Eficiência de rem. DBO		91 %		

* valores não determinados.

Tabela A18- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 18, coletadas em 11/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	493	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	1874	1721	*
Cor	uH	4327	2891	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	882	26	*
DQO	mg/L O ₂	2340	410	*
Dureza	CaCO ₃	115	53	*
Oleos e Graxas	mg/L	237	195	*
IVL	mL/g	*	*	101
pH		8,5	7,5	7,5
RS	mL/L	*	*	590
SST	mg/L	*	*	5800
SSF	mg/L	*	*	1040
SSV	mg/L	*	*	4760
Turbidez	uT	769	373	*
Eficiência de rem. DBO		97 %		

* valores não determinados.

Tabela A19- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 19, coletadas em 14/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	490	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1937	1825	*
Cor	uH	4200	2003	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1150	88	*
DQO	mg/L O_2	2960	420	*
Dureza	CaCO_3	100	55	*
Óleos e Graxas	mg/L	65	36	*
IVL	mL/g	*	*	108
pH		6,1	7,2	7,2
RS	mL/L	*	*	570
SST	mg/L	*	*	4830
SSF	mg/L	*	*	920
SSV	mg/L	*	*	3910
Turbidez	uT	703	297	*
Eficiência de rem. DBO		92 %		

* valores não determinados.

Tabela A20- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 20, coletadas em 15/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	510	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1937	1918	*
Cor	uH	4367	1997	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1250	27	*
DQO	mg/L O_2	2210	235	*
Dureza	CaCO_3	120	60	*
Óleos e Graxas	mg/L	36	12	*
IVL	mL/g	*	*	92
pH		8,5	7,5	7,5
RS	mL/L	*	*	460
SST	mg/L	*	*	4990
SSF	mg/L	*	*	1040
SSV	mg/L	*	*	3950
Turbidez	uT	726	238	*
Eficiência de rem. DBO		98 %		

* valores não determinados.

Tabela A21- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 21, coletadas em 16/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	520	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	2003	1997	*
Cor	uH	5002	2367	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	1180	76	*
DQO	mg/L O ₂	3220	425	*
Dureza	CaCO ₃	115	45	*
Oleos e Graxas	mg/L	7	5	*
IVL	mL/g	*	*	90
pH		8,8	7,5	7,5
RS	mL/L	*	*	450
SST	mg/L	*	*	4980
SSF	mg/L	*	*	950
SSV	mg/L	*	*	4030
Turbidez	uT	823	309	*
Eficiência de rem. DBO		94 %		

* valores não determinados.

Tabela A22- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 22, coletadas em 17/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	*	510	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	*	zero	*
Condutividade	µs/cm	1983	1825	*
Cor	uH	4368	2013	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O ₂	924	69	*
DQO	mg/L O ₂	2020	298	*
Dureza	CaCO ₃	100	50	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	68
pH		6,9	7,6	7,6
RS	mL/L	*	*	320
SST	mg/L	*	*	4730
SSF	mg/L	*	*	900
SSV	mg/L	*	*	3.830
Turbidez	uT	714	304	*
Eficiência de rem. DBO		93 %		

* valores não determinados.

Tabela A23- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 23, coletadas em 18/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	490	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1851	1904	*
Cor	uH	2.390	940	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1990	367	*
DQO	mg/L O_2	2680	880	*
Dureza	CaCO_3	110	48	*
Oleos e Graxas	mg/L	26	17	*
IVL	mL/g	*	*	215
pH		5,8	7,3	7,3
RS	mL/L	*	*	200
SST	mg/L	*	*	930
SSF	mg/L	*	*	168
SSV	mg/L	*	*	762
Turbidez	uT	440	172	*
Eficiência de rem. DBO		82 %		

* valores não determinados.

Tabela A24- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras n° 24, coletadas em 19/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	500	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1370	1547	*
Cor	uH	1110	320	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	856	38	*
DQO	mg/L O_2	1070	195	*
Dureza	CaCO_3	79	52	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	31	*
IVL	mL/g	*	*	107
pH		6,4	8,0	8,0
RS	mL/L	*	*	260
SST	mg/L	*	*	2420
SSF	mg/L	*	*	510
SSV	mg/L	*	*	1910
Turbidez	uT	200	60	*
Eficiência de rem. DBO		96 %		

* valores não determinados.

Tabela A25- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 25, coletadas em 22/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	520	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1483	1588	*
Cor	uH	1525	387	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1330	30	*
DQO	mg/L O_2	1820	340	*
Dureza	CaCO_3	75	54	*
Óleos e Graxas	mg/L	23	16	*
IVL	mL/g	*	*	82
pH		6,9	8,1	8,1
RS	mL/L	*	*	180
SST	mg/L	*	*	2200
SSF	mg/L	*	*	440
SSV	mg/L	*	*	1760
Turbidez	uT	247	67	*
Eficiência de rem. DBO	98 %			

* valores não determinados.

Anexo B – Tabelas com os dados dos ensaios de coagulação – floculação - filtração, realizadas na segunda etapa do trabalho experimental (tratamento Físico – Químico).

Tabela B1 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 01	Características do ensaio						
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s		
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min		
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min				
Amostra clarificada		Turbidez: 238 uT		pH: 7,5		Temperatura: 27 ° C	
Data da coleta: 15/12/98							
Jarro	1	2	3	4	5	6	
Sulfato de alumínio (mg/L)	200	300	400	500	600	700	
Polieletrólito (mg/L)	zero	zero	zero	zero	zero	zero	
Características dos efluentes							
pH do sobrenadante	6,6	6,5	6,4	6,2	6,0	5,6	
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	15,10	7,42	2,01	3,32	4,99	5,95	
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	12,50	5,79	1,38	1,20	1,12	2,95	

Tabela B2 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 02	Características do ensaio						
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s		
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min		
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min				
Amostra clarificada		Turbidez: 238 uT		pH: 7,5		Temperatura: 27 °C	
Data da coleta: 15/12/98							
Jarro	1	2	3	4	5	6	
Sulfato de alumínio (mg/L)	300	300	400	400	500	500	
Polieletrólito (mg/L)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
Características dos efluentes							
pH do sobrenadante	6,4	6,5	6,4	6,3	6,1	6,1	
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	4,84	8,24	2,83	3,41	1,79	1,80	
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	3,96	*	1,40	*	0,86	*	

* valores não determinados.

Tabela B3 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 03	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 238 uT		pH: 7,5		Temperatura: 28 °C	
Data da coleta: 15/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio (mg/L)	500	500	500	500	500	500
Polieletrólito (mg/L)	0,12	0,25	0,38	0,50	1,00	0,06
Características dos efluentes						
pH do sobrenadante	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	1,06	1,72	1,29	1,43	1,11	1,10
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	*	0,73

* valores não determinados.

Tabela B4 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 04	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 238 uT		pH: 7,5		Temperatura: 28 °C	
Data da coleta: 15/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	200	300	400	500	600	700
Polieletrólito	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Características dos efluentes						
pH do sobrenadante	6,8	6,7	6,5	6,2	6,0	5,7
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	17,10	6,05	2,55	1,60	1,80	3,20
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	1,51	*	*

* valores não determinados.

Tabela B5 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 05		Características do ensaio					
Data: 28/12/98		Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹	T: 60 s		
		Floculação:		G: 30 s ⁻¹	T: 30 min		
		Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada		Turbidez: 309 uT		pH: 7,5		Temperatura: 29 °C	
Data da coleta: 16/12/98							
Jarro	1	2	3	4	5	6	
Sulfato de alumínio (mg/L)	200	300	400	500	600	700	
Polieletrólito (mg/L)	zero	zero	zero	zero	zero	zero	

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	7,0	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	20,90	15,90	13,50	7,70	3,97	2,52
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	*	1,50
Altura de lodo (cm)	0,4	0,7	1,0	1,4	1,7	1,9

* valores não determinados.

Tabela B6 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 06	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 309 uT		pH: 7,5		Temperatura: 29,5 °C	
Data da coleta: 16/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	500	550	600	650	700	750
Polieletrólito	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	11,12	3,99	3,74	2,68	1,32	1,52
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	0,89	*
Altura de lodo (cm)	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7

* valores não determinados.

Tabela B7 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 07	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 304 uT		pH: 7,6		Temperatura: 30 °C	
Data da coleta: 17/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	200	300	400	500	600	700
Polieletrólito	zero	zero	zero	zero	zero	zero
Características dos efluentes						
pH do sobrenadante	7,1	6,9	6,8	6,7	6,5	6,4
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	32,10	24,70	15,50	9,49	2,68	2,37
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	1,93	1,52
Altura de lodo (cm)	0,4	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5

* valores não determinados.

Tabela B8 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 08	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 304 uT		pH: 7,6		Temperatura: 30 °C	
Data da coleta: 17/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	500	550	600	650	700	750
Polieletrólito	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Características dos efluentes						
pH do sobrenadante	6,7	6,6	6,5	6,4	6,4	6,3
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	20,60	7,12	3,89	3,39	3,46	4,04
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	2,03	*	*
Altura de lodo (cm)	0,7	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6

* valores não determinados.

Tabela B9 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 09	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
Data: 30/12/98	Tempo de sedimentação :				T: 30 min	
Amostra Clarificada	Turbidez: 304 uT		pH: 7,6		Temperatura: 28 °C	
Data da coleta: 17/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	650	650	650	650	650	650
Polieletrólito	0,06	0,12	0,18	0,25	0,37	0,43

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	2,14	3,29	2,85	2,99	4,82	3,22
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	1,51	*	*	*	*	*
Altura de lodo (cm)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

* valores não determinados.

Tabela B10 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 10	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Amostra clarificada	Turbidez: 172 uT		pH: 7,3		Temperatura: 30 C°	
Data da coleta: 18/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	200	300	400	500	600	700
Polieletrólito	zero	zero	zero	zero	zero	zero

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	188	108	57,60	23,20	6,89	2,56
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	*	2,03
Altura de lodo (cm)	0,1	0,9	1,4	1,9	2,1	2,3

* valores não determinados.

Tabela B11 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 11	Características do ensaio						
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s		
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min		
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min				
Amostra clarificada		Turbidez: 172 uT		pH: 7,3		Temperatura: 28 °C	
Data da coleta: 18/12/98							
Jarro	1	2	3	4	5	6	
Sulfato de alumínio	800	900	1000	600	700	800	
Polieletrólito	zero	zero	zero	0,06	0,06	0,06	

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	6,2	6,1	6,0	6,4	6,3	6,2
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	2,86	3,19	4,46	5,17	3,23	2,93
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	2,29	*	*	*	*	2,10
Altura de lodo (cm)	2,6	2,7	2,9	1,9	2,0	2,2

* valores não determinados.

Tabela B12 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 12	Características do ensaio					
Data: 31/12/98	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :				T: 30 min	
Amostra clarificada	Turbidez: 60 uT		pH: 8,0		Temperatura: 29 °C	
Data da coleta: 19/12/98						
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	200	300	400	500	600	700
Polieletrólito	zero	zero	zero	zero	zero	zero

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	7,0	6,7	6,3	6,0	5,8	5,4
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	17,80	4,41	3,82	1,58	4,24	5,18
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	0,59	*	*
Altura de lodo (cm)	0,4	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8

* valores não determinados.

Tabela B13 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 13 Data: 31/12/98	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :				T: 30 min	
Amostra Clarificada Data da coleta: 19/12/98	Turbidez: 60 uT		pH: 8,0		Temperatura: 30 °C	
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	300	350	400	450	500	550
Polieletrólito	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	6,6	6,4	6,3	6,2	6,0	5,9
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	6,64	3,51	2,19	1,60	1,25	2,91
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	0,70	*
Altura de lodo (cm)	0,9	1,1	1,2	1,2	1,4	1,6

* valores não determinados.

Tabela B14- Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 14 Data: 31/12/98	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :				T: 30 min	
Amostra clarificada Data da coleta: 22/12/98	Turbidez: 67		pH: 8,1		Temperatura: 30 °C	
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	200	300	400	500	600	700
Polieletrólito	zero	zero	zero	zero	zero	zero

Características dos efluentes

pH do sobrenadante	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	43,60	24,20	8,42	4,89	1,45	1,37
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	*	*	*	*	1,00
Altura de lodo (cm)	0,5	1,0	1,4	1,4	1,6	1,7

* valores não determinados.

Tabela B15 - Características dos ensaios de coagulação-floculação- filtração

Ensaio nº 15 Data: 31/12/98	Características do ensaio					
	Mistura rápida:		G: 100 s ⁻¹		T: 60 s	
	Floculação:		G: 30 s ⁻¹		T: 30 min	
	Tempo de sedimentação :		T: 30 min			
Data da coleta: 22/12/98	Turbidez: 67 uT		pH: 8,1		Temperatura: 30 °C	
Jarro	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio	600	700	800	450	500	550
Polieletrólito	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Características dos efluentes						
pH do sobrenadante	6,3	6,2	6,1	6,6	6,5	6,4
Turbidez rem. amostra decantada (uT)	2,06	1,51	2,37	7,65	5,96	3,52
Turbidez rem. da amostra filtrada (uT)	*	0,99	*	*	*	*
Altura de lodo (cm)	1,7	1,9	1,8	1,2	1,3	1,4

* valores não determinados.

Anexo C – Tabelas com os parâmetros de qualidade e características, do efluente clarificado do tratamento biológico e do filtrado do tratamento físico-químico.

Tabela C1 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente filtrado do tratamento físico-químico.

Ensaio 1 - Jarro N° 3 - Data da coleta: 15/12/98 - Data do ensaio: 23/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	127
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	Zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	Zero	zero
Condutividade	ms/cm	1918	1647
Cor	uH	1997	42
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	27	5
DQO	mg/L O_2	235	175
Dureza	CaCO_3	60	67
Fe	mg/L	*	0,02
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	12	*
pH		7,5	6,4
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	20
SSF	mg/L	*	10
SSV	mg/L	*	10
Turbidez	uT	238	1,38

* valores não determinados.

Tabela C2 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 1 - Jarro N° 5 - Data da coleta: 15/12/98 – Data do ensaio 23/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	70
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	Zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	Zero	zero
Condutividade	ms/cm	1918	1693
Cor	uH	1997	28
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	27	6
DQO	mg/L O_2	235	120
Dureza	CaCO_3	60	47
Fe	mg/L	*	0,02
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	12	*
pH		7,5	6,0
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	16
SSF	mg/L	*	8
SSV	mg/L	*	8
Turbidez	uT	238	1,12

* valores não determinados.

Tabela C3 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 2 - Jarro N° 5 - Data da coleta: 15/12/98 – Data do ensaio 23/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	120
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1918	1638
Cor	uH	1997	22
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	27	8
DQO	mg/L O_2	235	146
Dureza	CaCO_3	60	45
Fe	mg/L	*	0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Óleos e Graxas	mg/L	12	*
pH		7,5	6,1
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	18
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	11
Turbidez	uT	238	0,86

* valores não determinados.

Tabela C4 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 3 - Jarro N° 6 - Data da coleta: 15/12/98 – Data do ensaio: 28/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	98
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1918	1679
Cor	uH	1997	27
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	27	10
DQO	mg/L O_2	235	150
Dureza	CaCO_3	60	37
Fe	mg/L	*	<0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Óleos e Graxas	mg/L	12	*
pH		7,5	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	19
SSF	mg/L	*	5
SSV	mg/L	*	14
Turbidez	uT	238	0,73

* valores não determinados.

Tabela C5 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 4 - Jarro N° 4 - Data da coleta: 15/12/98 – Data do ensaio: 28/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	93
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1918	1667
Cor	uH	1997	20
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	27	17
DQO	mg/L O_2	235	169
Dureza	CaCO_3	60	50
Fe	mg/L	*	<0,01
Mn	mg/L	*	< 0,1
Óleos e Graxas	mg/L	12	*
pH		7,5	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	18
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	12
Turbidez	uT	238	1,51

* valores não determinados.

Tabela C6 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 5 - Jarro N° 6 - Data da coleta: 16/12/98 – Data do ensaio: 28/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	520	145
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1997	1859
Cor	uH	2367	29
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	76	6
DQO	mg/L O_2	425	113
Dureza	CaCO_3	45	38
Fe	mg/L	*	0,02
Mn	mg/L	*	< 0,1
Óleos e Graxas	mg/L	5	*
pH		7,5	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	21
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	15
Turbidez	uT	309	1,50

* valores não determinados.

Tabela C7 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 6 - Jarro Nº 5 - Data da coleta: 16/12/98 – Data do ensaio: 29/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	520	143
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1997	1825
Cor	uH	2367	21
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	76	8
DQO	mg/L O_2	425	115
Dureza	CaCO_3	45	40
Fe	mg/L	*	0,02
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	5	*
pH		7,5	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	19
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	12
Turbidez	uT	309	0,89

* valores não determinados.

Tabela C8 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 7 - Jarro Nº 6 - Data da coleta: 17/12/98 – Data do ensaio: 29/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	225
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1825	2070
Cor	uH	2013	32
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	69	16
DQO	mg/L O_2	298	185
Dureza	CaCO_3	50	50
Fe	mg/L	*	<0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	*	*
pH		7,6	6,4
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	19
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	12
Turbidez	uT	304	1,52

* valores não determinados.

Tabela C9 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 8 - Jarro N° 4 - Data da coleta: 17/12/98 - Data do ensaio: 29/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	220
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1825	2060
Cor	uH	2013	52
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	69	14
DQO	mg/L O_2	298	155
Dureza	CaCO_3	50	45
Fe	mg/L	*	0,01
Mn	mg/L	*	< 0,1
Oleos e Graxas	mg/L	*	*
pH		7,6	6,4
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	16
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	9
Turbidez	uT	304	2,03

* valores não determinados.

Tabela C10 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 9 - Jarro N° 1 - Data da coleta: 17/12/98 - Data do ensaio: 30/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	510	230
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1825	2070
Cor	uH	2013	55
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	69	17
DQO	mg/L O_2	298	165
Dureza	CaCO_3	50	43
Fe	mg/L	*	0,02
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	*	*
pH		7,6	6,5
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	15
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	9
Turbidez	uT	304	1,51

* valores não determinados.

Tabela C11 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 10 - Jarro N° 6 - Data da coleta: 18/12/98 - Data do ensaio: 30/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	490	287
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1904	2030
Cor	uH	940	55
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	367	134
DQO	mg/L O_2	880	386
Dureza	CaCO_3	48	43
Fe	mg/L	*	0,07
Mn	mg/L	*	0,1
Óleos e Graxas	mg/L	17	*
pH		7,3	6,4
RS	mL/L	*	0,2
SST	mg/L	*	19
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	13
Turbidez	uT	172	2,03

* valores não determinados.

Tabela C12 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 11 - Jarro N° 1 - Data da coleta: 18/12/98 - Data do ensaio: 30/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	490	260
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1904	2020
Cor	uH	940	42
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	367	150
DQO	mg/L O_2	880	370
Dureza	CaCO_3	48	40
Fe	mg/L	*	0,04
Mn	mg/L	*	< 0,1
Óleos e Graxas	mg/L	17	*
pH		7,3	6,2
RS	mL/L	*	0,2
SST	mg/L	*	22
SSF	mg/L	*	5
SSV	mg/L	*	17
Turbidez	uT	172	2,29

* valores não determinados.

Tabela C13 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 11 - Jarro N° 6 - Data da coleta: 18/12/98 - Data do ensaio: 30/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	490	270
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1904	2030
Cor	uH	940	43
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	367	125
DQO	mg/L O_2	880	377
Dureza	CaCO_3	48	46
Fe	mg/L	*	0,03
Mn	mg/L	*	< 0,1
Oleos e Graxas	mg/L	17	*
pH		7,3	6,2
RS	mL/L	*	0,1
SST	mg/L	*	20
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	14
Turbidez	uT	172	2,10

* valores não determinados.

Tabela C14 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 12 - Jarro N° 4 - Data da coleta: 19/12/98 - Data do ensaio: 31/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	500	95
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1547	1632
Cor	uH	320	30
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	38	5
DQO	mg/L O_2	195	76
Dureza	CaCO_3	52	38
Fe	mg/L	*	<0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	31	*
pH		8,0	6,0
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	14
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	7
Turbidez	uT	60	0,59

* valores não determinados.

Tabela C15– Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 13 - Jarro Nº 5 - Data da coleta: 19/12/98 - Data do ensaio: 31/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	500	120
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1547	1613
Cor	uH	320	20
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	38	7
DQO	mg/L O_2	195	96
Dureza	CaCO_3	52	23
Fe	mg/L	*	0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	31	*
pH		8,0	6,0
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	14
SSF	mg/L	*	7
SSV	mg/L	*	7
Turbidez	uT	60	0,70

* valores não determinados.

Tabela C16 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 14 - Jarro Nº 6 - Data da coleta: 22/12/98 - Data do ensaio: 31/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	520	142
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1588	2160
Cor	uH	387	19
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	30	12
DQO	mg/L O_2	340	130
Dureza	CaCO_3	54	57
Fe	mg/L	*	0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	16	*
pH		8,1	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	16
SSF	mg/L	*	6
SSV	mg/L	*	10
Turbidez	uT	67	1,00

* valores não determinados.

Tabela C17 – Resultados comparativos entre o efluente clarificado do tratamento biológico e o efluente clarificado do tratamento físico-químico.

Ensaio 15 - Jarro Nº 2 - Data da coleta: 22/12/98 - Data do ensaio: 31/12/98

Parâmetros	Unidade	Efluentes	
		Clarificado/biológico	Filtrado/Físico - químico
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	520	162
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	zero	zero
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	zero	zero
Condutividade	ms/cm	1588	2140
Cor	uH	387	22
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	30	7
DQO	mg/L O_2	340	70
Dureza	CaCO_3	54	50
Fe	mg/L	*	0,01
Mn	mg/L	*	0,1
Oleos e Graxas	mg/L	16	*
pH		8,1	6,2
RS	mL/L	*	< 0,1
SST	mg/L	*	19
SSF	mg/L	*	8
SSV	mg/L	*	11
Turbidez	uT	67	0,99

* valores não determinados.

Referências Bibliográficas

- ADRIA, K. Poliéster importado fragiliza fiações. **Jornal o Liberal**. Americana, 19 Nov. 1997, n. 9181, p. 4.
- ALTINBAS, U., DOEKMECI, S., BARISTIRAN, A. Treatbilty Study of Wastewater from Textile Industry. **Environmental Technology**. v. 16, n. 4, p. 389-394, 1995.
- AMIRTHARAJAH, A., TRUSLER, S. L. Destabilization of Particles by Turbulent Rapid Mixing. **Journal of Environmental Engineering**. vol. 112, nº 6, p. 1085-1187, Dec. 1986.
- ANDRADE FILHO, J. F., SANTOS, L. F. **Introdução à Tecnologia Têxtil**. Rio de Janeiro: Cetiqt / Senai, v. 3, 1987. p. 46-110.
- ANDREU-VILLAGAS, R., LETTERMAN, R. D. Optimizing Flocculator Power Input. **Journal of the Environmental Engineering Division**. v. 102, nº EE2, p. 251-253, Apr. 1976.
- ARAÚJO, M., CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986. Cap. 3: A tecelagem. v. 1, p. 148-170, 283-376.
- ARAÚJO, M., CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987. Cap. 6: Tecnologia da ultimação. v. 2, p. 695-829.
- ARGAMAN, Y., KAUFMAN, W. J. Turbulence and Flocculation. **Journal of the Sanitary Engineering Division**. v. 96, n. SA2, p. 223-225, Apr. 1970.

- ARORA, M. L., BARTH, E. F., UMPHRES, M. B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 57, n. 8, p. 867-875, Aug. 1985.
- BOTELHO, M. H. C. **Tecnologia de tratamento de águas residuárias industriais – tecnologia e gerência**, São Paulo , 1983. 187p.
- BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: Cetesb, 1993. p. 319-344.
- BRANCO, S. M. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. São Paulo: Cetesb / ASCetesb, 1986. p. 420- 451.
- BRESAOLA Jr., R. **Tratamento físico - químico de despejos líquidos de uma indústria têxtil**. São Carlos: EESC, USP, 1983. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1983. 81 p.
- CETESB. **Tratamento de águas residuárias de indústrias têxteis**. São Paulo: CETESB, 1991. p. 76.
- CETESB. **Nota técnica sobre tecnologia de controle indústria têxtil**. São Paulo: CETESB, 1991. p. 31.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993. v. 1, 481 p.
- EPA. **In-Plant Control of Pollution Upgrading Textile Operations to Reduce Pollution**. Charlottesville: Environmental Protection Agency, 1974. v.1, 118 p.
- EPA. **Wastewater-treatment Systems Upgrading Textile Operations to Reduce Pollution**. Boston: Environmental Protection Agency, 1974. v. 2, 45 p.

- EPA. **Guidelines for water reuse**. Boston: Environmental Protection Agency, 1992. p. 72-77.
- GASI, T. M. T., et al. **Opções de tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. p. 14-18.
- GORONSZI, M. C. Intermittent Operation of the Extended Aeration Process for Small Systems. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 51, n. 2, p. 274-287, Feb. 1979.
- GRAU, P. Textile Industry Wastewater's Treatment. **Water Science Technology**. v. 24, n. 1, p. 97-103, 1991.
- HART, E. Reciclagem de água, um programa economicamente viável e tecnicamente inovativo. **Química Têxtil**. São Paulo, n. 36, p. 07-10, Set. /Out. /Nov. 1994.
- HERZBRUN, P. A., et al. Treatment of Hazardous Wastes in a Sequencing Batch Reactor. In: WISE, Donald L.(Ed.). **Biotreatment System**. Boca Raton: CRC Press, 1988. v. 1, p. 157-167.
- HUDSON Jr., H. E., WOLFNER, J. P. Design of mixing and flocculating Basins. **J.A.W.W.A.**, v. 59, n. 10, p. 1257-1259, Oct. 1967.
- IMHOFF, K., IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1986. Cap.2: Dimensionamento e planejamento das estações de tratamento de esgotos. p. 71-87.
- IRVINE, R. L., BUSH, A. W. Sequencing Bath Biological Reactors - an Overview. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 51, n. 2, p. 235-243, Feb. 1979.
- IRVINE, R. L., MILLER, G., BHAMRAH, A. S. Sequencing Batch Treatment of Wastewater's in Rural Areas. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 51, n. 2, p. 244-254, Feb. 1979.

- KAMIYAMA, H. Lodo Ativado por Batelada (LAB): suas Vantagens no Tratamento de Esgotos das Comunidades de Médio e Pequeno Porte (parte 1). **Revista DAE**. v. 49, n. 157, p. 218-221, out. / dez. 1989.
- KAMIYAMA, H. Lodo Ativado por Batelada (LAB), suas Vantagens no Tratamento de Esgotos das Comunidades de Médio e Pequeno Porte. **Revista DAE**. v. 50, n. 159, p. 1 - 4, set. / out. 1990.
- KAMIYAMA, H., TSUTIYA, N. T. Lodo ativado por batelada: um processo econômico para o tratamento de esgotos em estações de grande porte. **Revista DAE**. v.52, n.165, p.1-7, Mai./Jun. 1992.
- KAWAI, H., et al. **Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgoto**. São Paulo: CETESB, 1991, 38 p.
- KETCHUM, Jr., L. H., IRVINE, R. L., LIAO, P. C. First Cost Analysis of Sequencing Batch Biological Reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 51, n. 2, p.288-297, Feb. 1979.
- MACYNTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. Cap 8: Tratamento de água. p. 492-507.
- MENDES, C. G. N. **Metodologia para determinação de parâmetros ótimos de tratabilidade de águas para abastecimento com o uso de aparelho de floculação (JAR-TEST)**. [19--]. (apostila de técnicas experimentais em saneamento ambiental).EESC, USP.
- MENDES, C. G. N. **Estudo da coagulação floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. São Carlos: EESC, USP, 1989. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989. p. 6-69, 233-236.

Tabela A13- Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 13, coletadas em 02/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	650	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	2.800	1200	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	812	216	*
DQO	mg/L O_2	2350	820	*
Dureza	CaCO_3	170	44	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	76
pH		9,5	7,9	7,9
RS	mL/L	*	3,0	180
SST	mg/L	*	*	2350
SSF	mg/L	*	*	470
SSV	mg/L	*	*	1880
Turbidez	uT	500	210	*
Eficiência de rem. DBO		73 %		

* valores não determinados.

Tabela A14 -Parâmetros e características das amostras do efluente industrial (bruto), do efluente clarificado do tratamento biológico e do efluente do reator biológico durante o período de reação. Amostras nº 14, coletadas em 03/12/98.

Parâmetros	Unidade	Efluente		
		Bruto	Clarificado	do Reator /Reação
Alc. Bicarbonato	mg/L CaCO_3	*	548	*
Alc. Carbonato	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Alc. Hidróxido	mg/L CaCO_3	*	zero	*
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	*	*	*
Cor	uH	2100	640	*
DBO (5d, 20 °C)	mg/L O_2	1170	216	*
DQO	mg/L O_2	2230	1170	*
Dureza	CaCO_3	190	44	*
Oleos e Graxas	mg/L	*	*	*
IVL	mL/g	*	*	86
pH		9,3	7,8	7,8
RS	mL/L	*	0,2	190
SST	mg/L	*	*	2210
SSF	mg/L	*	*	420
SSV	mg/L	*	*	1790
Turbidez	uT	360	120	*
Eficiência de rem. DBO		82 %		

* valores não determinados.

MENDES, C. G. N. Modelagem Matemática para projeto e operação de reatores intermitentes de lodos ativados. **XXV Interamerican Congress of Sanitary Engineering and Environmental Sciences**. México, D.F., Nov., 1996.

METCALF e EDDY. Ingeniería Sanitaria: **Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales**. Editorial Labor: Barcelona, 1985. p. 281-293, 389-390, 507, 530-541, 585-599, 823-829.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991. p. 614 – 625, 645.

NICOLAO, M., HADJIVASSILIS I. Treatment of wastewater from the textile industry. **Water Science Technology**. v. 25, n.1, p. 31- 35, 1992.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-químico de Águas Residuárias Industriais**. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 1996. 277 p.

PACHECO, L. A. M. Estudo comparativo de coagulação para esgotos secundários de filtro biológico e lodos ativados. **Revista DAE**. São Paulo, n. 98, p. 51-62, Ago. 1974.

PACHECO, L. A. M. Polieletrólitos como auxiliares de coagulação. **Revista DAE**. São Paulo, n.102, p. 46-60, 1975.

PACULDINO, J., SMITH, G. W. Minimizando problemas quando produzindo tingimento e/ou acabamento de tecidos planos. **Revista Têxtil**. São Paulo, n. 2, p. 78, Abr. / Mai. 1997.

PAGANINI, G. A. **Estudo sobre tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil**. São Carlos: EESC, USP, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 1993. p.165.

- PEREIRA, R. U. H. **Proposição de metodologia para determinação de parâmetros de projeto e operação de reatores biológicos de lodos ativados por batelada.** Campinas: FEC, UNICAMP 1996. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 1996. p.121.
- PIRES, M. R., FIGUEIREDO, R. Effect of fill time duration on the sequencing batch reactor. In: **Word-wide Symposium: Pollution in Large Cities.** Pádua, Itália. 22 a 25 de Fevereiro de 1995.
- REALI, M. A. P. **Avaliação de um sistema original compacto para clarificação de águas de águas de abastecimento utilizando o processo de flotação por ar dissolvido e filtração com taxa declinante.** São Carlos: EESC, USP 1991. Tese (Doutorado) – EESC, USP 1991. p. 45-52.
- RIBEIRO, L. G. **Introdução à Tecnologia Têxtil.** Rio de Janeiro: Cetiqt / Senai, v. 1, 1984. p. 23-35, 69-75, 107-113.
- RIBEIRO, L. G. **Introdução à Tecnologia Têxtil.** Rio de Janeiro: Cetiqt / Senai, v. 2, 1984. p. 1-77.
- RICHTER, C. A. **Sistemas Simplificados de Floculação.** Paraná: SANEPAR, [19--]. 43 p.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS. **Legislação Estadual sobre Recursos Hídricos.** Estado de São Paulo, Lei nº 7.663 de 30/12/91, art.14, p. 9 e 10, 1994.
- SENAI. **Orientações básicas para tratamento de efluentes industriais.** Porto Alegre: SENAI, 1991, 63 p.
- SILVA, S. A., MARA, D. D. **Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização.** Rio de Janeiro: Abes, 1979. p. 45 – 49, 80.

SILVA, H. S. Princípios de tratamento de efluentes líquidos. **Química Têxtil**. São Paulo, n.39, p. 56-65, Jun. 1995.

SILVA FILHO, M. N. Produtos Químicos Utilizados na Indústria Têxtil e a Questão Ecológica. **Química Têxtil**. São Paulo, n.36, p.11-16, Set. /Out. /Nov. 1994.

SPERLING, M.V. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. v.4, 416p.

TEXTILE industry technology and costs of wastewater control. New York: Lockwood Greene, 1975. p. II.4, II.19-II.21, II.41-II.46, IV.1-IV.3, IV.20-IV.29.

UEHARA, M. Y., VIDAL W. L. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989. p. 13-58.

VAZOLLÉR, R. F. et al. **Microbiologia de lodos ativados**. São Paulo: CETESB, 1989. 23 p.

VILLEGAS, A., LETTERMAN, R. D. Optimizing Flocculator Power Input. **Journal of the Environmental Engineering Division**. v EE2, p.251-263, Apr. 1976.

WONG, S. H., CHOI, C. C. Pilot Scale Aerobic Sequencing Batch Reactor for Pig Waste Treatment. **Journal of the Institution of Water and Environmental Management**. v. 3, n.1, p. 75 – 81, Feb. 1989.

YAMASSAKI, C. M. **Estudo sobre a aplicabilidade da cinética do tratamento biológico a reatores de lodos ativados por batelada**. Campinas: FEC, UNICAMP, 1996. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 1996. p.184.

Abstract

The present work describes several sections of a textile industry, seeking to give better understanding of as they are generated its wastewater. It presents results of biological treatment followed by physical-chemist system, of that industry type, with the indication of the quality obtained for the partial and final effluents. The biological system for the sequencing bath reactors is used as first part of the treatment of the wastewater, developed by the biological reactor in pilot scale, having been obtained results of the order of 98% of removal of DBO. The physical-chemical system, for the coagulation- flocculation process, was used to treat the clarified effluent of the biological treatment. The results obtained through the samples submitted to that procedure, for the parameters Color, Turbidity, Hardness, Fe and Mn, showed to be possible to obtain an effluent within the limits of having established for EPA (1974), for process water. Dyeing tests were accomplished with the samples of the clarified of the chemical-physical treatment, after filtration in paper whatman 40 and it could be verified that the final quality of the dyeing material, didn't have any distinction in relation to the other material dyeing, using process water normally used. Those data indicate the reuse and / or recycling possibility, after filtration adding to the studied process. Also, the results of this work can indicate for this industry type, that referred them limits can be even having reviewed.