

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

CIRA MARICRUZ MEJIA MEZA

**“PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
ESTAMPARIAS EM BRUSQUE E GUABIRUBA”**

FLORINÓPOLIS, 2010

cira.maricruz@yahoo.com

CIRA MARICRUZ MEJIA MEZA

**“PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
ESTAMPARIAS EM BRUSQUE E GUABIRUBA”**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant’Anna.

FLORIANÓPOLIS
Junho de 2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da
Universidade Federal de Santa Catarina

M617p Meza, Cira Maricruz Mejia
Produção mais limpa e otimização do tratamento de
efluentes líquidos de estamparias em Brusque e Guabiruba
[dissertação] / Cira Maricruz Mejia Meza ; orientador,
Fernando Soares Pinto Sant'Anna. - Florianópolis, SC, 2010.
136 p.: grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia ambiental. 2. Tecidos - Estampa - Brusque
(SC) - Guabiruba (SC). 3. Floculação. 4. Produção mais
limpa. 5. Efluentes. I. Santanna, Fernando Soares Pinto.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

CDU 628.4



TERMO DE APROVAÇÃO

“Produção mais limpa e otimização do tratamento de efluentes líquidos de estamparias em Brusque e Guabiruba”

Cira Maricruz Mejia Meza

A dissertação foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de:

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Aprovada por:

Prof. Fernando Soares Pinto
Sant´Anna, Dr.
(Orientador)

Profa. Maria Angeles Lobo
Recio, Dr^a.

Prof. Flávio Rubens Lapolli,
Dr. (Coordenador)

Profa. Rosângela
Bergamasco, Dr^a.

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
Junho - 2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela grandiosa oportunidade do mestrado no Brasil e as pessoas maravilhosas que me permitiu conhecer nesta trajetória.

A meus pais Jorge e Norma, meus irmãos Mariella e Jorge, minhas tias Carola e Lily e minha avó Cira por seu imenso carinho, apoio e motivação.

A Danny Wong por seu amor, compreensão, apoio e sacrifício.

Ao professor Fernando Soares Pinto Sant'Anna por sua constante orientação e acompanhamento da pesquisa.

A Ângela e Delmo por seu carinho e acolhida durante estes 2 anos de mestrado fora de meu país.

A meus amigos e/ou colegas do mestrado João Paulo, Suhita, Maria Cecília, Luis, Álvaro, Bruno e Clarisse por sua grande amizade e motivação.

Aos estagiários Juliana Mariano de Lima e Eduardo Oréface por seu apoio na elaboração desta dissertação.

A Arlete e Dona Eliane por seu apoio e recomendações no uso das instalações do LIMA

Ao laboratório LABTOX, em especial a Cristina Costa pelo apoio nas análises toxicológicas.

A empresa FAXOM QUIMICA e QUIMISA por fornecer os produtos químicos para a presente pesquisa

A Fabiano Chitona da empresa FAXOM QUIMICA pela paciência e recomendações no uso dos produtos químicos.

As estamparias parceiras: SILK MAIS e CORES E TONS; em especial a Arceu e sua esposa Inês e a Carlos, pela constante colaboração e fornecimento de todas as informações necessárias para a presente pesquisa.

A todas as estamparias que gentilmente colaboraram com a pesquisa.

Ao programa PEC-PG - Programa de Estudantes Convênio de Pós-graduação da embaixada do Brasil no Peru pela oportunidade do mestrado no Brasil.

A CNPQ pelo fornecimento da bolsa de estudos de mestrado.

Todas as demais pessoas que colaboraram com o desenvolvimento da presente pesquisa.

*A mis padre: a ellos,
por ellos y para ellos,
siempre.
Con mucho cariño
para Coquita (q.e.p.d)*

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO | 23 |
| ABSTRACT | 25 |
| 1. INTRODUÇÃO | 21 |
| 2. OBJETIVOS | 23 |
| 3. REVISÃO BIBLOGRAFICA | 24 |
| 3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL..... | 24 |
| 3.2 PROCESSO DE ESTAMPAGEM..... | 25 |
| 3.2.1. Etapas da estampagem..... | 26 |
| 3.2.2. Modos de estampa..... | 34 |
| 3.3 EFLUENTES DE ESTAMPARIA..... | 35 |
| 3.4 TOXICOLOGIA DOS EFLUENTES TÊXTEIS | 36 |
| 3.5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA | 37 |
| Produção mais limpa nas estamparias | 37 |
| 3.6 TRATAMENTO DE EFLUENTES BASEADO NO MÉTODO COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO | 45 |
| Tratamento de Efluentes de Estamparias por Coagulação–Floculação | 46 |
| 4. METODOLOGIA | 49 |
| 4.1. METODOLOGIA PARA INVENTARIAR E CARACTERIZAR AS ESTAMPARIAS DE BRUSQUE E GUABIRUBA | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR AS MEDIDAS DE P + L DAS ESTAMPARIAS PARCEIRAS..... | 52 |
| 4.3. METODOLOGIA PARA OTIMIZAR O TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS ESTAMPARIAS PARCEIRAS | 53 |
| 4.3.1. Coleta e caracterização dos efluentes..... | 53 |
| 4.3.2. Otimização do Tratamento - Teste de Jarros..... | 54 |
| 4.3.3. Calculo de Custo de Tratamento de Efluentes | 59 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 62 |
| 5.1. RESULTADOS DO INVENTÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAMPARIAS EM BRUSQUE E GUABIRUBA..... | 62 |
| 5.1.1. Inventário e caracterização das Estamparias em Brusque. | 62 |
| 5.1.2. Inventário e caracterização das Estamparias em Guabiruba | 67 |
| 5.1.3. Contextualização ambiental das estamparias em Brusque e Guabiruba..... | 70 |
| 5.1.4. Rio Itajaí Mirim e Rio Guabiruba | 72 |
| 5.2. RESULTADOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ESTAMPARIA SILK MAIS..... | 74 |
| 5.2.1. Dados Gerais da Empresa | 74 |
| 5.2.2. Processo Produtivo..... | 74 |
| 5.2.3. Produção mais limpa | 77 |
| 5.2.4. Produção e Tratamento de efluentes | 81 |
| 5.2.5. Situação ambiental da Empresa | 83 |
| 5.2.6. Otimização do Tratamento..... | 84 |
| 5.2.7. Cálculo dos Custos de Tratamento..... | 89 |
| 5.3. RESULTADOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ESTAMPARIA CORES E TONS. | 90 |
| 5.3.1. Dados Gerais da Empresa | 90 |
| 5.3.2. Processo Produtivo..... | 90 |
| 5.3.3. Produção mais Limpa..... | 93 |
| 5.3.4. Produção e Tratamento de Efluentes..... | 97 |
| 5.3.5. Otimização do Tratamento..... | 101 |
| 5.3.6. Cálculo dos Custos de Tratamento..... | 107 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6. | CONCLUSÕES | 110 |
| 7. | RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 113 |
| 8. | BIBLIOGRAFIA | 114 |
| 9. | APÊNDICE | 123 |
| 10. | ANEXOS | 133 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Parâmetros de emissão para efluentes líquidos de estamparias, segundo a Resolução CONAMA nº357, Decreto Estadual nº14250 e a Lei Estadual nº14675..... | 24 |
| Tabela 2: Concentrações de sulfato de alumínio, floculante FX AS6 e hidróxido de sódio usados nos ensaios de jarros..... | 58 |
| Tabela 3: Concentrações de PAC, floculante FX AS6 e hidróxido de sódio usados nos ensaios de jarros..... | 58 |
| Tabela 4: Custos de cal e sulfato de alumínio da empresa Silk Mais.... | 59 |
| Tabela 5: Custos dos produtos químicos e custo de transporte e disposição de lodo da empresa Cores e Tons..... | 60 |
| Tabela 6: Parâmetros de qualidade do Rio Itajaí Mirim..... | 73 |
| Tabela 7: Caracterização do efluente bruto da Estamparia Silk Mais ... | 84 |
| Tabela 8: Concentrações de cal e sulfato de alumínio usadas na estamparia Silk Mais e otimizadas em laboratório na presente pesquisa..... | 87 |
| Tabela 9: Efluente tratado na estação de tratamento e em laboratório.. | 87 |
| Tabela 10: Toxicidade aguda com Daphnia Magna depois de 48 horas de exposição..... | 88 |
| Tabela 11: Custos do tratamento para 1 m ³ de efluente com as concentrações de reagentes utilizadas na Silk Mais..... | 89 |
| Tabela 12: Custos de tratamento para 1 m ³ de efluente com as concentrações ótimas de reagentes encontradas em laboratório..... | 89 |
| Tabela 13: Caracterização do efluente bruto da Estamparia Cores e Tons..... | 101 |
| Tabela 14: Cálculo dos custos de tratamento usando 700 mg/L de sulfato de alumínio e 400 mg/L de PAC para 1 m ³ de efluente tratado..... | 107 |
| Tabela 15: Custos totais do tratamento de efluentes Cores e Tons..... | 108 |
| Tabela 16: Resultados das dosagens ótimas encontradas, eficiências de remoção e custos de tratamento, das estamparias Silk Mais e Cores e Tons..... | 109 |
| Tabela 17: Resultados de cor, turbidez e DQO usando diferentes concentrações de cal (0-450 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio..... | 128 |
| Tabela 18: Resultados de cor, turbidez e DQO usando-se diferentes concentrações de cal (200-400mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio..... | 128 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 19: Resultados de cor, turbidez e DQO usando diferentes concentrações de sulfato de alumínio (300-800 mg/L) e 300 mg/L de cal | 129 |
| Tabela 20: Resultados de cor, turbidez e DQO dos ensaios descritos na Tabela 2..... | 130 |
| Tabela 21: Resultados de cor, turbidez e DQO dos ensaios descritos na Tabela 3..... | 130 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1: Aplicação dos corantes às diferentes fibras..... | 28 |
| Quadro 2: Produtos auxiliares utilizados no processo de estampagem . | 30 |
| Quadro 3: Medidas para a minimização do consumo de matérias primas e água no processo de estampagem..... | 39 |
| Quadro 4: Alternativas de substituição dos produtos químicos no processo de estampagem | 40 |
| Quadro 5: Medidas de recuperação ou reciclagem da pasta de estampar, solvente e água | 42 |
| Quadro 6: Limites de compostos químicos aplicado à estamperia estabelecidos para a concessão do selo verde ECOTEX..... | 44 |
| Quadro 7: Alternativas de solventes para lavagem de telas nas estamperias | 45 |
| Quadro 8: Listagem das análises realizadas | 53 |
| Quadro 9: Lista de produtos químicos usados nos ensaios de otimização do tratamento dos efluentes de estamperias | 55 |
| Quadro 10: Estamperias cadastradas na Prefeitura de Brusque | 63 |
| Quadro 11: Informações das estamperias contatadas em Brusque..... | 66 |
| Quadro 12: Estamperias cadastradas na Prefeitura de Guabiruba | 67 |
| Quadro 13: Informações das estamperias contatadas em Guabiruba | 69 |
| Quadro 14: Levantamento de entradas e saídas da Estamperia Silk Mais | 78 |
| Quadro 15: Identificação de medidas de P + L para a Estamperia Silk Mais (microporte)..... | 80 |
| Quadro 16: Levantamento de entradas e saídas do processo produtivo da Estamperia Cores e Tons..... | 93 |
| Quadro 17: Identificação de medidas de P + L para a Estamperia Cores e Tons (médio porte)..... | 96 |
| Quadro 18: Lista de Estamperias identificadas em Brusque | 125 |
| Quadro 19: Lista de Estamperias identificadas em Guabiruba..... | 127 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Fluxograma do Processo de Estampagem. Fonte: Adaptado de Araújo; Castro, 1984. | 26 |
| Figura 2: Estampagem a quadro plano | 31 |
| Figura 3: Estampagem por cilindros rotativos..... | 33 |
| Figura 4: Localização dos municípios de Brusque e Guabiruba | 49 |
| Figura 5: Teste de Jarros - Marca Milan Modelo JT-103 utilizado nos experimentos no LIMA. | 54 |
| Figura 6: Teste de jarros para o efluente da estamparia Silk Mais | 56 |
| Figura 7: Teste de jarros para o efluente da Estamparia Cores e Tons.. | 59 |
| Figura 8: Algumas estamparias identificadas em Brusque..... | 64 |
| Figura 9: Fluxograma do Processo de Estampagem da Empresa Silk Mais..... | 75 |
| Figura 10: Diferentes tipos de estampagem da Empresa Silk Mais | 76 |
| Figura 11: Lavagem dos materiais usados no processo de estampagem | 81 |
| Figura 12: Fluxograma do Tratamento de Efluentes Industriais da Estamparia Silk Mais | 82 |
| Figura 13: Estação de tratamento em fase de implantação da Estamparia Silk Mais | 83 |
| Figura 14: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de cal (0-450 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio | 85 |
| Figura 15: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de cal (200-400 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio | 85 |
| Figura 16: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de sulfato de alumínio (300-800mg/L) e 300 mg/L de cal | 86 |
| Figura 17: Fluxograma do Processo de Estampagem da Empresa Cores e Tons..... | 91 |
| Figura 18: Recuperação e armazenamento de pastas de estampagem na Estamparia Cores e Tons..... | 94 |
| Figura 19: Lavagem dos cilindros de estampagem na Estamparia Cores e Tons..... | 95 |
| Figura 20: Grade inclinada de limpeza manual da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons. | 97 |
| Figura 21: Peneira automática da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons..... | 98 |
| Figura 22: Tanque sedimentador da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons..... | 98 |
| Figura 24: Resultados de cor e turbidez para diferentes concentrações de sulfato de alumínio | 102 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25: Resultados de cor e turbidez para diferentes concentrações de PAC..... | 103 |
| Figura 26: Efluente tratado com a) 700 mg/L de sulfato de alumínio e b) 400 mg/L de PAC | 104 |
| Figura 27: Comparativo de eficiências de remoção de cor usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC. | 105 |
| Figura 28: Comparativo de eficiências de remoção de turbidez usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC | 105 |
| Figura 29: Comparativo de eficiências de remoção de DQO usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC | 106 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| AWWA | American Water Works Association |
| BAT | Best Available Techniques |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CNTL | Centro Nacional de Tecnologias Limpas |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CONSEMA | Conselho Estadual de Meio Ambiente |
| COT | Carbono orgânico total |
| COV | Compostos orgânicos voláteis |
| DBO | Demanda bioquímica de oxigênio |
| DQO | Demanda química de oxigênio |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| FATMA | Fundação de Meio Ambiente |
| FIEC | Federação das Indústrias do Estado de Ceara |
| FIESC | Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina |
| FUNDEMA | Fundação Municipal de Meio Ambiente de Brusque |
| IRTA | Institute for Research and Technical Assistance |
| P + L | Produção mais Limpa |
| PAC | Policloreto de alumínio |
| S.A. | Sulfato de alumínio |
| SAMAE | Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto da Prefeitura de Brusque |
| SEMASA | Serviço de Água, Saneamento Básico e Infra-estrutura da cidade de Itajaí |
| SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas |
| SENAI | Serviço Nacional de Aprendizado |

RESUMO

O presente trabalho investigou alternativas para minimizar a poluição produzida em duas estamparias de Brusque e Guabiruba, inicialmente através de medidas de Produção mais Limpa (P+L) e posteriormente otimizando o tratamento de efluentes por coagulação-floculação. A pesquisa foi desenvolvida nas estamparias Silk Mais (Brusque), de microporte, que usa a técnica de estampado a quadro plano e Cores e Tons (Guabiruba), de médio porte, que usa a técnica de rolo contínuo.

Uma análise dos processos produtivos e dos insumos usados pelas empresas parceiras permitiu identificar as oportunidades de P+L. Após esta etapa foram realizados ensaios de teste de jarros para a otimização do tratamento.

Para o tratamento de efluentes da estamparia Silk Mais foi avaliado o uso de cal e sulfato de alumínio nas faixas de 0 – 450 mg/L e 300 – 800 mg/L, respectivamente. As melhores dosagens encontradas foram 300 mg/L de cal e 700 mg/L de sulfato de alumínio, obtendo-se um efluente com 15 Pt-Co de cor, 3,7 NTU de turbidez, 285 mg/L de DQO e 42 mg/L de DBO. Os ensaios de toxicidade aguda foram negativos, confirmando a boa qualidade do efluente tratado. A melhora do tratamento representa uma economia mensal de R\$ 228 para a empresa.

Para o tratamento de efluentes da estamparia Cores e Tons testou-se dois coagulantes: policloreto de alumínio (PAC) e sulfato de alumínio. Em ambos os ensaios foi utilizado como floculante um polímero aniônico. As faixas de concentração avaliadas para o PAC e o sulfato foram: 0 – 400 mg/L e 200 – 700 mg/L, respectivamente. Os melhores resultados foram encontrados utilizando-se 400 mg/L de PAC, que resultou em um efluente com 61 Pt-Co de cor, 8,42 NTU de turbidez, 354,7 mg/L de DQO e 11 mg/L de DBO. Os ensaios de toxicidade aguda para este efluente foram negativos.

O custo de tratamento do efluente com 400 mg/L de PAC é de R\$ 1,9 /m³, sendo que 79,5% deste, é devido aos gastos com transporte e disposição de lodo.

Por tanto, conclui-se que através do processo de coagulação-floculação é possível tratar os efluentes de estamparias com eficiência acima daquela exigida pela legislação ambiental.

Palavras Chaves: *Estamparias, produção mais limpa, otimização, coagulação-floculação, efluentes.*

ABSTRACT

This study focuses on alternatives to minimize the pollution produced in two printing in Brusque and Guabiruba, initially through measures of Cleaner Production (P +L) and subsequently optimizing the treatment of effluents by coagulation-flocculation. The research was conducted in 2 printing companies Silk Mais (Brusque) of micro size, which uses the technique of screen printing and Colors and Tones (Guabiruba), medium size, which uses the rotary screen printing technique.

An analysis of production processes and inputs used by the companies, identified the opportunities for P + L. After this stage, jar testers were used for the optimization of treatments.

For the treatment of effluent from *Silk Mais*, it was evaluated the use of lime and aluminum sulfate in the ranges 0-450 mg/L and 300-800 mg/L, respectively. The best concentrations were 300 mg / L of lime and 700 mg/L of aluminum sulfate, getting an effluent with 15 Pt-Co color, 3.7 NTU turbidity, 285 mg /L COD 42 mg /L BOD. The acute toxicity tests were negative, confirming the good quality of treated effluent. The optimization of treatment represents a monthly savings of \$ 228 for the company.

For the treatment of effluent from *Cores e Tons* were tested two coagulants: poly aluminum (PAC) and aluminum sulfate. In both tests was used as flocculant one anionic polymer The concentration ranges evaluated for PAC and sulphate were: 000-400 mg/L and 200-700 mg/L, respectively. The best results were using 400 mg / L of PAC, getting an effluent with 61 Pt-Co color, 8.42 NTU turbidity, 354.7 mg/L COD and 11 mg/L BOD. The acute toxicity tests were negative for this effluent. The cost of treating the wastewater with 400 mg/L of PAC was R \$ 1.9 / m³, of which 79.5% of this is due to costs on transportation and disposal of sludge.

Therefore, we conclude that by using coagulation-flocculation treatment is possible to treat the printing effluents with quality above those required by environmental laws.

Keywords: *Printing, cleaner production, optimization, coagulation-flocculation, effluents.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil exerce um papel importante no cenário têxtil mundial, posicionando-se em 6º lugar em produção de fios, filamentos e tecidos planos, em 2º lugar no que se refere a tecidos de malha e em 5º em confeccionados (FIEC, 2008).

Atualmente a cadeia produtiva têxtil do Brasil é formada por 30.000 empresas com atividades que abrangem fiações, tecelagens, malharias, estamparias, tinturarias e confecções. Este setor gera 1,6 milhões de empregos formais e informais (A INDÚSTRIA, 2008), sendo que cerca de 75% das indústrias têxteis estão localizadas na região sul (Santa Catarina), sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e nordeste (Pernambuco, Bahia e Ceará) (GUARATINI; ZANONI, 1999).

No Estado de Santa Catarina, os municípios de Brusque e Guabiruba merecem especial destaque; só em Brusque concentram-se 290 indústrias têxteis e 800 dedicadas ao vestuário. Em conjunto, elas empregam cerca de 18.400 pessoas, representando 43,3% de faturamento da cidade (BRUSQUE, 2008).

Na prefeitura de Brusque encontram-se cadastradas 20 estamparias, mas, segundo empresários do setor, o número de estabelecimentos pode chegar a 200, a maioria clandestina, com tratamento de efluentes líquido deficiente ou desprovido de qualquer tratamento.

As estamparias representam uma das últimas etapas de confecção dos artigos têxteis; aqui são colocados desenhos localizados a fim de dar um diferencial à peça.

Em Brusque e Guabiruba, a maioria das estamparias caracteriza-se por fornecer um serviço terceirizado, ser de micro e pequeno porte e usar a técnica de estampado de quadro plano e rolo contínuo.

Estas estamparias apresentam baixo consumo de água, quando comparadas aos demais processos têxteis (tinturaria, lavagem, etc.). No entanto, os efluentes do processo de estampagem possuem uma alta carga tóxica por conter metais pesados provenientes dos pigmentos e corantes e dos diversos produtos não biodegradáveis usados. Os efluentes gerados, produtos da lavagem das telas ou cilindros e dos

utensílios usados na preparação das pastas, estão caracterizados por seu alto teor de DQO, sólidos totais e intensa coloração. Se os efluentes não foram tratados adequadamente, podem conferir cor ao corpo receptor, tornando aparente a sua degradação.

As estamparias da região lançam seus efluentes ao rio Itajaí Mirim, usado como manancial de abastecimento pelas cidades vizinhas. Segundo informações da SEMASA (SEMASA, 2008), empresa municipal encarregada do abastecimento de água da cidade de Itajaí, o tratamento para a potabilização da água do rio consiste nos processos de coagulação-floculação, decantação, filtração com areia e carvão ativado e posterior desinfecção com cloro, sendo algumas vezes ineficiente para a remoção de cor.

Muitos trabalhos vêm se desenvolvendo para a otimização do tratamento de efluentes têxteis, mas há uma grande lacuna com relação ao tratamento dos efluentes de estamparias. Neste contexto, este trabalho propõe medidas que minimizem o impacto dos efluentes de estamparias lançados nos corpos hídricos, em dois municípios do estado de Santa Catarina, Brusque e Guabiruba.

Assim, avaliou-se o processo produtivo das empresas, a fim de propor medidas de produção mais limpa e posteriormente otimizar o tratamento físico-químico de coagulação-floculação. A otimização de tratamento de efluentes foi realizada mediante o teste de jarros, testando-se o uso de produtos químicos (coagulantes e corretores de pH) assim como a dosagem ótima dos mesmos. Também foram calculados os custos de tratamento envolvidos.

O levantamento da situação atual das estamparias nestas cidades visa gerar subsídios aos órgãos ambientais municipais e estaduais, tendo em vista a melhoria da gestão dos efluentes destas indústrias, bem como a atualização da legislação vigente. Neste estudo, utilizou-se para o tratamento dos efluentes de estamparias o processo de coagulação-floculação, indicado por pesquisas bibliográficas por trazer vantagens como boa eficiência de remoção de cor, ocupar pouca área e ser economicamente acessível às empresas em estudo.

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Gestão Ambiental na Indústria (LAGA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), dando continuidade as pesquisas de Gestão Ambiental e Tratamento de Efluentes Industriais desenvolvidas neste laboratório.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral foi:

Propor alternativas para reduzir a carga poluidora das estamparias de Brusque e Guabiruba, através de medidas de produção mais limpa e otimização do tratamento de coagulação - floculação.

De acordo com o objetivo geral, pretendeu-se:

- Inventariar e caracterizar as estamparias de Brusque e Guabiruba;
- Propor medidas de produção mais limpa para os processos produtivos das duas estamparias parceiras: Silk Mais e Cores e Tons;
- Otimizar o tratamento físico-químico de coagulação-floculação das estamparias Silk Mais e Cores e Tons.

A seguir é apresentada a revisão bibliográfica em que foi baseada a presente pesquisa.

3. REVISÃO BIBLOGRAFICA

3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação ambiental brasileira apresenta várias leis que enquadram o lançamento de efluentes. Em nível federal existe a Resolução nº 357 (17/03/2005) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Já a resolução N°397 da CONAMA (3/04/2008), modifica valores máximos de lançamento para alguns padrões orgânicos e inorgânicos da anterior resolução.

Em nível estadual, o Decreto nº14250 (05/06/1981) regulamenta os padrões de emissão de efluentes líquidos. Recentemente a Lei Estadual de Santa Catarina nº14675 (13/04/2009) instituiu o “Código Estadual do Meio Ambiente” e apresenta novos limites para lançamento de efluentes domésticos e industriais em corpos hídricos. Um quadro comparativo com os valores limites para o lançamento de efluentes segundo a Resolução CONAMA nº357, Decreto Estadual nº14250 e a Lei Estadual nº14675 é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de emissão para efluentes líquidos de estamparias, segundo a Resolução CONAMA nº357, Decreto Estadual nº14250 e a Lei Estadual nº14675

| Parâmetros | Resolução nº 357 | Decreto nº 14250 | Lei nº 4675 |
|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| pH | 5,0-9,0 | 6,0 – 9,0 | 6,0 – 9,0 |
| Temperatura (°C) | < 40 | < 40 | N.E. |
| Cor (Pt-Co) | N.E. | N.E. | N.E. |
| Turbidez (NTU) | N.E. | N.E. | N.E. |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Até 1,0 | Até 1,0 | N.E. |
| DBO _{5, 20°C} (mg/L) ou | N.E. | 60 | 60 |
| % de remoção de DBO | N.E. | 80 | 80 |
| Nitrogênio total (mg N ₂ /L) | N.E. | N.E. | N.E. |
| Chumbo (mg/L) | 0,5 | 0,5 | N.E. |
| Cobre (mg/L) | 1,0 | 0,5 | 0,5 |
| Zinco (mg/L) | 5,0 | 1,0 | 1,0 |

N.E.: Não especificado

Ainda no que tange às leis específicas para disposição de efluentes domésticos e industriais no Estado de Santa Catarina, a Portaria N° 017 (18/04/2002) da FATMA estabelece os “Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens”. Os limites máximos de toxicidade desta portaria são expressos em fator de diluição (FD). O fator de diluição representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra na qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos sobre os organismos-teste. Assim, o fator de diluição para as indústrias têxteis com microcrustáceos–*Daphnia magna* e com bactérias bioluminescentes–*Vibrio fixheri* são $FD_d = 2$ e $FD_{bl} = 2$, respectivamente.

Ainda em nível estadual, a resolução CONSEMA N° 003/2008 (CONSEMA, 2008) apresenta a “Listagem das Atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento”. Nesta resolução, os serviços de estamparia são considerados como um potencial poluidor/degradador de ar e solo de nível médio e um grande poluidor de água. De modo geral, estes serviços são qualificados como grandes poluidores. Neste mesmo subitem fica estabelecido que as empresas de pequeno porte (área útil entre 200 m² e 3.000 m²), médio porte (área útil entre 3.000 m² e 30.000 m²) e grande porte (acima de 30.000 m²) devem realizar estudo ambiental simplificado (EAS).

A portaria n°024/79 (17/09/1977) enquadra os cursos d’água do Estado de Santa Catarina, considerando ao Rio Itajaí Mirim e ao Rio Guabiruba como classe II.

3.2 PROCESSO DE ESTAMPAGEM

O Estado de Santa Catarina é o segundo pólo têxtil e do vestuário do Brasil, sendo que o maior numero de empresas têxteis encontram-se na mesorregião do Vale do Itajaí (FIESC, 2009). No vale distinguem-se as cidades de Blumenau, Brusque e Guabiruba. No caso específico das estamparias, destacam-se as cidades de Brusque, Gaspar e Indaial.

A técnica de estamparia começou no século XVIII, em que eram usadas técnicas de gravura em alto relevo, inicialmente em superfícies planas e depois em rolos (ARAUJO; CASTRO, 1984).

As estamparias imprimem no material têxtil, cores ou desenhos localizados e representa uma das mais exigentes técnicas têxteis e a que mais se aproxima da arte. Normalmente os motivos estampados repetem-se regularmente em intervalos, sendo que cada cor deve ser estampada separadamente. Podem ser utilizadas de 1 a 6 cores, chegando até 20 cores em artigos de luxo. Em muitos casos as estamparias correspondem à última etapa do processo de acabamento da peça.

3.2.1. Etapas da estampagem

As etapas de estampagem são apresentadas na Figura 1 a seguir:

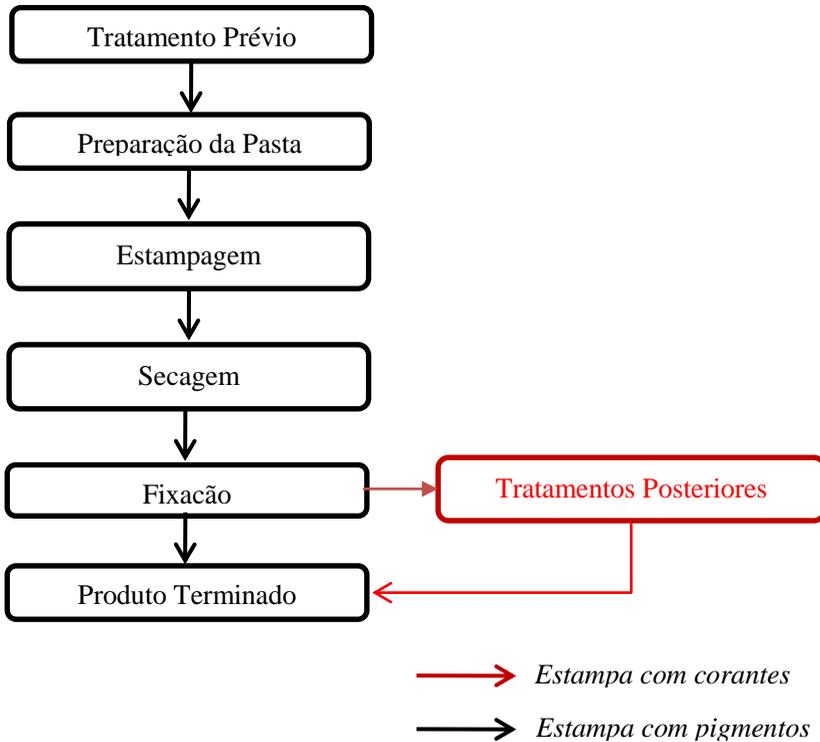


Figura 1: Fluxograma do Processo de Estampagem. Fonte: Adaptado de Araújo; Castro, 1984.

As etapas da estampagem de acordo com Araújo e Castro (1984) são:

- a) **Tratamento prévio do tecido:** O tecido é submetido a operações de tratamento como gasagem, descolagem, desensimagem, fervura, mercerização, branqueamento e termofixação.
- b) **Preparação da pasta de estampar:** A pasta de estampar deve ter uma grande viscosidade, de forma que os desenhos não alastrem. Contém por isso obrigatoriamente um espessante, bem como o corante e uma série de produtos auxiliares necessários à sua fixação. A preparação da pasta de estampar depende da qualidade e tipo da estampa que se deseja obter.

A preparação da pasta de estampagem é uma das etapas mais importantes do processo. Uma análise na formulação da pasta, permite ter uma idéia dos contaminantes presentes no efluente final. As bases fundamentais da preparação da pasta são as seguintes:

Espessante: A presença do espessante na pasta é essencial para evitar que os corantes migrem para as partes não estampadas ou estampadas com outra cor. O espessante atua desde a deposição da pasta sobre o tecido até a fixação do corante para depois ser eliminado, normalmente por lavagem ou por evaporação.

Corante e pigmentos: Os corantes e pigmentos orgânicos podem ser definidos como substâncias intensamente coloridas que quando aplicadas sobre um material, lhe conferem cor.

Atualmente existem entre 8.000 e 10.000 tipos de corantes, dos quais a maior parte é destinada à indústria têxtil. Dos 10.000 corantes produzidos a escala industrial, estima-se que 2.000 são usados na indústria têxtil (FLORIÁNOPOLIS, 2008).

Os corantes são moléculas pequenas que possuem dois componentes principais: o cromóforo responsável pela cor e o grupo funcional que liga o corante com a fibra. Eles possuem como principais características: estabilidade à luz, distribuição uniforme, alto grau de fixação e resistência ao processo de lavagem e transpiração, tanto inicialmente

quanto após uso prolongado (CARREIRA, 2006; GUARATINI; ZANONI, 1999).

Estruturalmente, um dos únicos aspectos comuns a praticamente todos os corantes é a presença de um ou mais anéis benzênicos, por isso, estes compostos são também chamados de benzenóides. Existe uma diversidade de corantes, pois cada tipo de fibra requer corantes com características diferentes (GUARATINI; ZANONI, 1999), conforme mostra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Aplicação dos corantes às diferentes fibras

| Tipo de corante \ Tipo de fibra | Protéinica (lã, seda) | Celulósica (algodão, viscose modal) | Acetato e Triacetato | Poliamida | Poliéster | Acrílica |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|
| Ácido | XX | -- | -- | XX | -- | -- |
| Azóico | -- | XX | X | X | X | X |
| Básico (ou catiônico) | -- | -- | -- | -- | -- | XX |
| De Cuba | X | XX | -- | -- | -- | -- |
| De Cuba solubilizado | X | XX | -- | -- | X | -- |
| Direto | X | XX | -- | X | -- | -- |
| Disperso | -- | -- | XX | XX | XX | XX |
| Ftalocianina | -- | XX | -- | -- | -- | -- |
| Metalífero | XX | -- | -- | XX | -- | -- |
| A Mordente | XX | -- | --- | -- | X | -- |
| De Oxidação | -- | X | -- | -- | -- | -- |
| Pigmento (*) | X | X | X | X | X | X |
| Reativo | XX | XX | -- | X | -- | -- |
| Sulfuroso | -- | XX | -- | -- | -- | -- |

Fonte: Araujo; Castro, 1984

XX Muito adequado

X Adequado

(*) Não pode ser considerado um verdadeiro corante.

Os pigmentos são substâncias corantes insolúveis que são depositadas à superfície das fibras por “colagem” por isso podem ser aplicadas a todos os tipos de fibras.

Devido a não haver qualquer afinidade ou ligação direta com a fibra, os pigmentos não podem ser considerados corantes. Geralmente são usadas resinas ligantes (comumente chamado *plastisol*) para fixar os pigmentos no substrato. Também são usados solventes, os quais servem de veículo

de transporte da mistura resina-pigmento ao substrato. Depois os solventes evaporam deixando a estampa na tela (EPA, 1997).

Os processos com pigmento produzem toques rígidos e muitas vezes são rejeitados pelas empresas que estampam seus artigos com corantes. Devido a isso, os fabricantes, cada vez mais, empenham-se em desenvolver produtos capazes de atribuir aos artigos estampados com pigmentos, algumas características presentes nas estampas com corante reativo, como: brilho, cor, maciez, solidez entre outras. (SINTEQUÍMICA DO BRASIL LTDA, 2009).

As estamparias em sua maioria usam pigmentos por tanto não requerem lavagem das peças nem vaporização e geram poucos efluentes. Cerca de 75 ao 85% do total das operações de estampagem são utilizados pigmentos e as etapas de lavagem são desnecessárias (SENAI, 2008).

Produtos auxiliares: Um produto auxiliar pode ser definido como um composto químico cuja formulação ou preparação permite que o estampado seja conduzido de forma mais eficiente, preenchendo os requisitos pretendidos no produto final.

Os produtos auxiliares podem ser: produtos ácidos ou alcalinos, amaciantes, ligantes (substâncias que polimerizam sob a ação do calor, formando uma fina camada à superfície das fibras que retêm os pigmentos), produtos de corrosão, dispersantes, produtos higroscópicos, agente anti-espuma, agentes conservadores (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

Os produtos auxiliares e suas respectivas funções e composições químicas são apresentados no Quadro 2:

Quadro 2: Produtos auxiliares utilizados no processo de estampagem

| Produto | Função | Base Química mais usada |
|--------------------|--|---|
| Espessante | Concede características reológicas e viscosidade à pasta impedindo a migração para outras regiões | Alginato; Carboximetilcelulose; Polímeros acrílicos; Hidroxietilcelulose |
| Corante / Pigmento | Conferem cor ao tecido estampado | Várias |
| Dispersante | Dispersam pigmentos ou corantes insolúveis na pasta | Nonilfenol etoxilado |
| Resinas Ligantes | Proporciona a adesividade dos pigmentos (que não têm afinidade) | Polímeros estireno-butadieno / Acrilatos/ PVC com plastificantes |
| Agente Higroscópio | Permite à pasta ter um mínimo de umidade durante a termofixação para que o corante tenha um “ <i>carrier</i> ” da tinta para a fibra | Uréia |
| Ajustador de pH | Permite o pH ideal de reação do corante com a fibra ou para polimerização do ligante na estampagem com pigmentos. | Amoníaco |
| Antiespumante | Evita a formação de espuma e bolhas na preparação da tinta e na estampagem | Emulsões de silicones; Hidrocarbonetos alifáticos |
| Amaciantes | Melhora o toque final de estamparias feita com pigmentos | Emulsões de silicones. |

Fonte: Adaptado de Alcântara e Daltin, 1995

Além dos produtos auxiliares já referidos, no caso das estamparias a quadro e rolo contínuo é fundamental colar o tecido à mesa de estampar, podendo ser usado dois tipos de cola:

- colas não-permanentes: são colas solúveis que são eliminadas do tapete de estampar logo após a saída do tecido. São as mais utilizadas, pois são de fácil eliminação do tecido e da mesa, comumente são usados dextrinas, éteres de amido, goma arábica.
- colas permanentes: são colas que permanecem na mesa sendo mais usadas nos processos manuais.

As colas usadas devem ser compatíveis com os corantes e os produtos usados na pasta de estampar (ARAUJO; CASTRO, 1984).

c) Estampagem:

Os tecidos são frequentemente estampados com cores e desenhos usando uma variedade de técnicas e máquinas. Os processos mais comuns nas cidades em estudo (Brusque e Guabiruba) são quadro plano e rolo contínuo.

Estamparia a quadro plano (*Screen printing*)

Consiste na aplicação de um padrão ou desenho em um tecido por passagem da pasta através de orifícios de uma tela.



Figura 2: Estampagem a quadro plano

As telas dos quadros de estampar são produzidas com fios de monofilamento de *nylon* ou *poliéster* para facilitar a lavagem e reter a menor quantidade de pasta. Estas telas além do baixo custo proporcionam boa resistência e possibilidade de variar a espessura do fio. A tela é estendida em um bastidor de madeira e nas áreas em que a pasta não deve ser aplicada, veda-se o local com substâncias que fechem seus orifícios. A pasta de estampar deve ser viscosa e é espalhada sobre o quadro com um rolo. A pressão faz com que a pasta passe pela tela através dos orifícios desimpedidos, colorindo o tecido nas regiões desejadas. Como cada quadro só pode estampar a área de tecido de determinada cor, são necessários tantos quadros quantas cores forem às definidas no desenho (BELTRAME, 2000).

Este processo é utilizado principalmente para estampar pequenas peças, e tem uma dependência muito grande da forma como o operador realiza, pois estão envolvidas a velocidade da passagem do rolo, inclinação do rolo, pressão exercida, viscosidade da pasta, etc., dificultando a reprodutividade do processo.

No processo de evolução das indústrias de estamparia, utilizavam-se primeiramente os quadros fixos e o tecido corria por um tapete de borracha. Ao ser automatizado, este processo foi substituído posteriormente pela estamparia rotativa (BELTRAME, 2000).

Estamparia rotativa ou Rolo contínuo (*Roller printing*)

É o processo de estampagem mais usado para estampar tecido em grande quantidade, com rapidez e qualidade. Neste caso, o quadro é substituído por um cilindro formado por uma folha de cobre ou níquel microperfurada. O cilindro é gravado como uma tela normal e é fixado na mesa da estamparia sobre o tecido em movimento, proporcionando sua rotação. Também aqui são necessários tantos cilindros quanto às cores utilizadas na estampagem.

No interior do cilindro, em seu eixo, há um tubo perfurado, por onde a pasta de estampar é bombeada. A pasta é forçada a passar pelos orifícios por um sistema de rodos de pressão fixa.



Figura 3: Estampagem por cilindros rotativos

Existem muitas variáveis de processo que devem ser ajustadas para se obter uma estampagem com qualidade, como a velocidade de estampagem, a pressão do rodo/cilindro de metal, ângulo do rodo, diâmetro do cilindro de metal, diâmetro dos orifícios do cilindro de cobre, viscosidade da pasta, reologia da pasta, tipo de tecido, tipo de formulação da pasta, etc.

Quanto às pastas, suas características reológicas (viscosidade, escoamento, elasticidade e plasticidade) são fundamentais para o bom funcionamento da estampa. A penetração no tecido é fundamental para que a coloração não aconteça apenas nas fibras superficiais, pois quanto maior o contato da pasta com o tecido, maior a resistência da estampa (BELTRAME, 2000).

- d) **Secagem:** Logo após a deposição da pasta sobre o tecido, é necessário proceder a uma secagem para evitar o alastramento da pasta, pois a tinta ainda não se encontra fixada. As máquinas de estampar automáticas, normalmente incluem secadores.
- e) **Fixação:** A fixação pode ser feita por calor seco, vaporização ou tratamento molhado. É nessa fase que o corante vai penetrar no interior das fibras para aí se fixar (exceção feita aos pigmentos, os quais são colocados à superfície das fibras).

- f) **Tratamentos posteriores:** Excetuando o caso dos pigmentos, é necessário proceder a lavagens para eliminar os produtos utilizados na preparação da pasta, com especial relevo para o espessante, bem como o corante que não se fixa nas fibras.

3.2.2. Modos de estamparia

No processo de estampagem são usadas diversas técnicas e efeitos a fim de criar uma estampa diferenciada. Os modos de estamparia mais usados são:

Estamparia Direta:

Consiste em estampar motivos coloridos sobre um fundo branco.

Estamparia por Corrosão

Consiste em aplicar sobre o artigo tingido uma pasta que vai corroer (destruir) o corante nos locais a serem estampados. O tecido deverá ser previamente tingido com um corante especial, sensível a pasta. Os fabricantes de corantes indicam nos cartazes de amostras a maior ou menos facilidade de corrosão dos seus corantes.

Para corroer o corante no tecido é usado geralmente hidrossulfito sob sua forma estabilizada ou pode utilizar-se cloreto estanhoso.

Estamparia por Reserva

Consiste em aplicar sobre o tecido branco uma pasta que irá impedir que o tingimento posterior se desenvolva nos locais a serem estampados. O efeito obtido é parecido ao da estamparia por corrosão.

Hoje em dia é usada a técnica de reserva química, onde se estampa previamente o tecido com um agente redutor que impede a fixação do corante, em seguida o tecido é tingido mediante uma máquina de estampar.

Estamparia “Devore”

A técnica de estamparia “*devoré*” é aplicável às misturas poliéster-algodão. Consiste em eliminar lateralmente uma das fibras, obtendo um efeito de maior transferência do tecido. Para a mistura poliéster-algodão aplica-se uma pasta geradora de ácido sulfúrico, que corroe o algodão não atacando o poliéster (ARAUJO; CASTRO, 1984).

3.3 EFLUENTES DE ESTAMPARIA

Os efluentes gerados pelas estamparias são produtos da lavagem dos quadros e/ou cilindros e utensílios usados na preparação da pasta, assim, o efluente é composto por corantes, pigmentos, produtos auxiliares e restos de solvente. Segundo LU et al., 2008 os efluentes de estamparia e tinturaria se caracterizam por seu alto teor de DQO (na faixa de 150 mg/L – 2000 mg/L), sólidos suspensos, turbidez, cor, altas temperaturas, e eventualmente metais pesados proveniente dos corantes.

Os corantes, moléculas orgânicas altamente estruturadas, são fixados nas fibras em quantidades mínimas durante o processo de estampagem (menos de 25%) transferindo a cor aos corpos hídricos onde são lançados (HASSEMER, 2000). Estes poluentes podem permanecer em ambientes aquáticos até 50 anos (GUARATINI; ZANONI, 1999) e afetar os processos de fotossíntese e o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Assim, o corante reativo usado nos processos de estampagem, é um dos mais usados no Brasil por possuir grupos ativos capazes de reagir com a celulose do algodão, de modo que os resíduos deste corante na água poderiam ser altamente nocivos na presença de qualquer organismo vivo.

Os produtos intermediários e subprodutos dos efluentes têxteis podem apresentar compostos altamente perigosos, como no caso dos subprodutos dos corantes azo, muitos deles tóxicos e carcinogênicos de difícil degradação e alta solubilidade (FURLAN, 2008).

Guaratini e Zanoni (1999) indicam que os corantes em sua maioria são xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de microrganismos em rios e lagos não contém enzimas específicas para degradação deste tipo de compostos, e sob condições anaeróbicas, a degradação do corante se processa lentamente. Portanto estes podem permanecer nas fontes de água e depois serem transportados às estações de tratamento municipal integrando-se na cadeia alimentar.

3.4 TOXICOLOGIA DOS EFLUENTES TÊXTEIS

Os testes de toxicidade podem ser definidos como metodologias que utilizam respostas de organismos-teste para detectar ou avaliar os efeitos adversos, ou não, de uma ou mais substâncias sobre os sistemas biológicos. Estes testes constituem uma importante ferramenta para avaliação de efluentes na ausência de informações detalhadas sobre as substâncias que o mesmo contém.

Alguns parâmetros como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e carbono orgânico total (COT), entre outros, são importantes no processo de monitoramento de efluentes industriais, porém não são suficientes para descrever os impactos causados aos ecossistemas aquáticos (LAITANO; MATIAS, 2006).

Logo, a determinação dos efeitos tóxicos em organismos aquáticos causados pelo descarte de efluentes industriais, é um importante parâmetro na avaliação de impacto ambiental. Esta avaliação é possível através da realização de testes de toxicidade crônica, testes de toxicidade aguda além de outros estudos de efeitos subletais (CETESB, 1988; SANTOJANNI et al., 1995; PENG; ROBERTS, 2000).

A avaliação da toxicidade dos resíduos têxteis possui grande relevância no âmbito dos impactos ambientais, pois cada vez mais se faz uso de corantes baseados em metais pesados, enxofre e grupamentos azóicos, além evidentemente de outros compostos, como, espesantes, ligantes, amaciantes, solventes, etc.

Baptista (2001) avaliou a toxicidade em efluentes tratados de uma indústria têxtil de Santa Catarina. O tratamento usado para os efluentes industriais da empresa foi físico-químico e biológico (lagoa aerada). A toxicidade foi avaliada usando: *Vibrio fischeri* (bactéria bioluminescente), *Daphnia magna* (microcrustáceo), *Oreochromis niloticus* (peixe) e *Poecilia reticulata* (peixe). Os efluentes tratados não apresentaram toxicidade aguda, mas os resultados de espectrofotometria de absorção atômica realizada nos tecidos dos peixes (*Oreochromis niloticus*,) revelaram um acúmulo de metais (Al e Pb).

O estudo concluiu que o tratamento físico-químico e biológico não foi suficiente para a remoção dos metais, portanto o efluente tratado pode ocasionar danos aos peixes em seu meio natural, demonstrando assim que diferentes níveis tróficos do ecossistema aquático podem ser afetados.

3.5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A Produção mais Limpa (conhecida pela sigla P +L) é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (CNTL, 2009).

A abordagem tradicional do gerenciamento de efluentes, ações denominadas “fim-de-tubo”, se enfoca na disposição e tratamento de efluentes gerados, apresentando-se como uma solução simplista que envolve só algumas áreas da empresa. Ao contrário, a abordagem da P+L se enfoca na fonte geradora dos resíduos, eliminando a poluição durante o processo produtivo e não após dele. Para isso são usadas políticas de redução ou reciclagem interna e/ou externa, diminuindo os custos de tratamento e disposição de resíduos e os danos ambientais. A abordagem P + L tem um caráter multidisciplinar que envolve diretamente ou indiretamente a todas as áreas da empresa.

Prevenção à poluição (*pollution prevention*), melhores técnicas disponíveis (*best available techniques*) são outros nomes usados para definir técnicas similares à P + L, que também enfocam na prevenção e minimização de resíduos na fonte e no processo produtivo.

Produção mais limpa nas estamparias

Atualmente no Brasil não existem manuais de P + L orientados especificamente para a indústria de estampagem. Em países desenvolvidos como Estados Unidos, Irlanda, Suécia, Dinamarca, entre outros, desenvolveu-se documentos chamados “*Best Available Techniques*” (BAT), onde são apresentadas as melhores técnicas de produção para este setor a fim de alcançar os *standards* (padrões) de qualidade e proteção ao meio ambiente tomando em consideração as vantagens e custos envolvidos. Assim, para definir uma técnica como a

melhor para determinada estamperia, o processo deve ser analisado individualmente tomando em consideração o tipo de produto, as condições de operação, os custos, etc.

Um ponto importante tanto para a P + L quanto para o BAT, é o planejamento da produção. No planejamento é estabelecido desde o início alguns critérios importantes como: número de estampas, efeitos gráficos e cores, deste modo podem ser previsto o uso de matérias primas com um mínimo impacto ao meio ambiente e a reciclagem dos insumos (DINAMARCA, 2009).

A seguir apresentam-se quadros que contém um resumo das propostas dos manuais mencionados (BAT) elaborados pelos órgãos ambientais de cada país. O Quadro 3 detalha as medidas para minimizar o consumo de matérias-primas e água na fonte através de técnicas de prevenção geral, como: boas práticas de armazenamento, manipulação, dosagem, implementação de equipamentos, uso de químicos e melhor conhecimento destes, bem como de matérias primas.

Já o Quadro 4 apresenta alternativas de substituição de produtos químicos, com preferência ao uso de insumos químicos que se baseiam em parâmetros ambientais mais adequados (biodegradabilidade e baixa toxicidade). Finalmente, o Quadro 5 detalha medidas para a recuperação e reciclagem da pasta de estampar, da água e do solvente.

Quadro 3: Medidas para a minimização do consumo de matérias primas e água no processo de estampagem

| Item | Medidas | Referências |
|--|--|-------------------|
| Consumo de produtos químicos | Revisar regularmente as receitas para verificar o uso desnecessário de produtos químicos. | (IRLANDA, 2009) |
| | Evitar/minimizar o uso de químicos excedentes. | (IRLANDA, 2009) |
| | Melhorar parâmetros como controles de processos, tempos de lote. | (IRLANDA, 2009) |
| | Primeiro estampar cores claras. | (USA, 2009) |
| | Fazer trabalhos similares ao mesmo tempo para reduzir o resíduo. | (USA, 2009) |
| | Limpar os cilindros das tintas ou as telas, apenas quando se altera a cor ou quando há possibilidade de ressecamento da tinta. | (USA, 2009)) |
| Consumo de pasta de estampar em maquinas rotativas | Usar componentes (tubulações, bombas) de acordo com os requerimentos de estampagem. Componentes menores geram menores perdas de matéria prima. | (IRLANDA, 2009) |
| Consumo de água em operações de limpeza | Controle constante do <i>switch</i> de prendido/apagado da água de limpeza da correia de estampar. | (IRLANDA, 2009) |
| | Automatizar o sistema de lavagem, conectando o prendido/apagado da água com o prendido/apagado da correia de estampar. | (DINAMARCA, 2009) |
| | Antes da lavação, fazer uma remoção mecânica da pasta de estampagem | (USA, 2009) |
| | Limpar com panos a superfície das telas e baldes antes de lavação. | (USA, 2009) |
| | Tornar exclusivo determinadas prensas para tintas ou cores específicas, a fim de diminuir o número de limpezas requeridas. | (IRLANDA, 2009) |
| | Instalação de dispositivos de controle de fluxo e válvulas automáticas. | (IRLANDA, 2009) |
| | Estampagem primeiro de cores claras. | (IRLANDA, 2009) |

Quadro 4: Alternativas de substituição dos produtos químicos no processo de estampagem

| Produto Químico | Função | Impacto | Substituto / Alternativa | Referência |
|----------------------------|---|--|---|-------------------------------------|
| Pigmentos e corantes | Conferem cor ao tecido estampado. | Contêm metais pesados e grupo cromóforo azo, que provocam problemas na saúde e no meio ambiente. | Pigmentos e corantes orgânicos, isentos de metais pesados. | (TSDESIGNS, 2009) |
| Agente Higroscópico: Uréia | Estampagem com corante reativo. Permite à pasta ter um mínimo de umidade durante a termo-fixação. | Eutrofização dos rios pelas fontes de nitrogênio, amônio e nitrato. | Substituição ou redução por adição controlada de umidade. Aplicada como espuma ou por aspensão de uma quantidade definida de névoa de água. Alternativa: Óleo de bobinagem. | (IRLANDA, 2009) |
| Resina ligante | Proporciona a adesividade dos pigmentos. | Formação de formaldeído durante o processo de estampagem. Problemas na saúde. | Produtos com baixo nível ou isento de formaldeído. | (SINTEQUÍMICA DO BRASIL LTDA, 2010) |

Quadro 4: (continuação) Alternativas de substituição dos produtos químicos no processo de estampagem

| Produto Químico | Função | Impacto | Substituto / Alternativa | Referência |
|---|--|--|--|-------------------------------------|
| Solventes | Transportar a mistura pigmento – resina ligante. | Poluição do ar pelo alto conteúdo de compostos orgânicos voláteis (COV). | Água / Óleos vegetais. | (TSDESIGNS, 2009) |
| Espessantes | Características de viscosidade à pasta impedindo a migração para outras regiões. | Produto não biodegradável, tóxico ao meio ambiente e conteúdo de COV. | Espessantes à base de celulose | (TSDESIGNS, 2009) / (IRLANDA, 2009) |
| Solventes para limpeza das telas: querosene ou óleo diesel. | Limpeza dos quadros de estampagem. | Poluição do ar, contribui ao <i>smog</i> pelo alto conteúdo de COV. | Limpadores à base de água ou soja. Óleo branco ou acetona. | (USA, 2009) |

Quadro 5: Medidas de recuperação ou reciclagem da pasta de estampar, solvente e água

| Produto | Medidas | Referência |
|----------------------|--|---|
| Pasta de estampar | Reciclar as tintas excedentes para fazer tinta preta. | (USA, 2009) |
| | Antes da lavação, fazer uma remoção mecânica da pasta de estampagem para ser reutilizada. | (USA, 2009) |
| | Armazenar eletronicamente a formulação das pastas de estampar com a finalidade de garantir sua reprodutibilidade tendo em conta a quantidade, composição e durabilidade para após ser reutilizada. | (IRLANDA, 2009) / (DINAMARCA, 2009) |
| | Pasta de estampar remanescente pode ser recuperada inserindo uma bola nos cilindros de armazenamento, transportada até o final e pressionada em sentido contrario por ar pressurizado. | (USA, 2009) |
| Água de lavagem | Reutilização da água de lavação para a limpeza das telas, rodos ou correia de estampar. | (USA, 2009) |
| | Reúso da água de lavagem da correia de estampar. | (IRLANDA, 2009) |
| Solvente | Identificar um reúso legítimo para os solventes. | (USA, 2009) |
| | Procurar um fornecedor ou reciclador para recolher o solvente usado e substituí-lo. | (USA, 2009) |

Muitos países desenvolvidos já possuem uma legislação que regulamenta o uso de produtos químicos na indústria têxtil. Os chamados “selos verdes” podem ser considerados como parâmetros internacionais reguladores no uso de produtos químicos deste setor. Estes selos conferem ao produto têxtil a rotulagem de inócuo devido à isenção ou concentração em níveis aceitáveis de substâncias tóxicas. Os principais selos verdes são:

- *MST* e a *MUT*, de origem alemã;
- *ECO-TEX*, de origem ítalo-alemã; e
- *ÖKO-TEX* e *ÖKO-TEX Standard 100*, de origem austríaca.

Para a concessão do selo verde a determinada produção têxtil, esta proibido ou restrito o uso dos seguintes produtos químicos:

- Corantes cancerígenos e alergênicos;
- Metais pesados extraíveis;
- Retardantes de chamas;
- Compostos aromáticos clorados;
- Formaldeído;
- Compostos orgânicos voláteis (COV);
- Ftalatos (plastificantes);
- Compostos organo-estanho (com pelo menos uma ligação entre os átomos de estanho e de carbono).

Deste conjunto de produtos químicos, as estamparias usam: corantes com metais pesados, compostos com formaldeído, COV (presentes nos solventes) e ftalatos. Os ftalatos estão presentes nos ligantes a base de policloreto de vinila (PVC).

Em seguida, no Quadro 6, apresentam-se alguns limites de produtos químicos perigosos que as empresas de estampagem devem respeitar para receberem o selo verde ECOTEX:

Quadro 6: Limites de compostos químicos aplicado à estampa estabelecidos para a concessão do selo verde ECOTEX

| Parâmetros | Limite |
|--------------------------|---------------|
| pH | 4 – 7,5 |
| Formaldeído (ppm) | 75 |
| Chumbo (ppm) | 1,0 |
| Cádmio (ppm) | 0,1 |
| Cobre (ppm) | 50 |
| Niquel (ppm) | 4 |
| Ftalatos (w%) | 0,1 |
| COV (mg/m ³) | 0,5 |

Fonte: OEKO TEX, 2010

Todos os parâmetros mencionados são controlados para que se alcance um produto ambientalmente correto e viável à indústria de estampa.

Uma das preocupações crescentes de órgãos ambientais internacionais consiste no uso de solventes que produzem COV, ao serem utilizados como agentes de limpeza nas estamparias e em geral na maioria das indústrias de impressão. Os solventes mais usados na indústria de estampa são querosene, óleo diesel

A Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) define os COV como toda substância que contém carbono, participa de reações fotoquímicas da atmosfera e que contribui à poluição do ar, excluindo o monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, os carbeto ou carbonatos metálicos e o carbonato de amônio.

Diversos estudos comprovam que muitos COV são tóxicos, carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos (QUADROS et al., 2009). Países como Estados Unidos, Canadá e muitos países europeus possuem uma legislação específica sobre o uso destes compostos nas indústrias de impressão.

Os Estados Unidos contam com 16.431 indústrias de impressão (denominadas *screen printing*), só no estado de Califórnia estão concentradas 1.886. O órgão de Gerenciamento da Qualidade do Ar da Costa Sul dos Estados Unidos (SCAQMD) mediante a Norma 1171, regula o conteúdo de COV nos solventes a 100 g/L de solvente (USA, 2009).

Assim, com a finalidade de diminuir a emissão de COV por parte das indústrias de impressão, o Departamento de Controle de Substâncias Tóxicas da EPA e o Instituto de Investigação e Assistência Técnica (IRTA) dos Estados Unidos desenvolveram um estudo com a finalidade de testar e propor alternativas de solventes com baixa toxicidade e baixo nível de COV avaliando também a qualidade e o custo. O Quadro 7 apresenta as alternativas encontradas para as estamparias:

Quadro 7: Alternativas de solventes para lavagem de telas nas estamparias

| Estamparia | Base da Pasta | Alternativas de sucesso |
|-------------------|----------------------|---|
| Texollini | Água | Limpador base água |
| Hino Designs | Plastisol | Limpador base água ou soja |
| Quickdraw | Plastisol | Limpador base soja/ óleo/ Acetona/ mistura de solventes minerais |
| LCA Promotions | Plastisol | Limpador base água ou soja Óleo/ acetona/ mistura de solventes minerais |

Fonte: USA, 2009

Segundo o Quadro 7, atualmente há alternativas para o uso de solventes nas estamparias. Estas alternativas têm como base química produtos mais biodegradáveis como soja e acetona, os quais além de não produzir COV, são menos poluentes ao médio ambiente. Os solventes propostos apresentaram boa eficiência de remoção e custos similares aos solventes usados atualmente.

3.6 TRATAMENTO DE EFLUENTES BASEADO NO MÉTODO COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO

Os efluentes industriais apresentam impurezas que tem uma carga superficial negativa que impede à aproximação de uns as outras. Com a finalidade de desestabilizar esta suspensão coloidal são usados processos de coagulação–floculação (DI BERNARDO; DI BERNARDO, 2005).

A **coagulação** consiste em duas etapas: uma inicial, de natureza química, que é a reação do coagulante com o meio líquido e formação de espécies hidrolisadas. A segunda etapa é física, consistindo no transporte das espécies para interagir com outras espécies no meio.

Caracteriza-se por ser um processo muito rápido que depende das propriedades da água como pH, cor, turbidez, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos, etc., além das impurezas presentes (DI BERNARDO; DI BERNARDO, 2005).

A coagulação é realizada em uma unidade de mistura rápida, onde ocorre a dispersão uniforme do coagulante com a água bruta (AMIRTHARAJAH E MILLS, 1982).

A **floculação** é caracterizada por uma agitação lenta com o objetivo de proporcionar encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos.

Existem diferentes tipos de coagulação: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura e adsorção e formação de pontes.

A coagulação realizada por varredura é uma das mais usadas no tratamento de efluentes industriais que aquelas realizadas por adsorção e neutralização de carga, mas gera mais lodo, pois é utilizada maior dosagem de coagulante. Geralmente, nas unidades de tratamento, primeiro é realizada uma mistura rápida (coagulação) após agitação lenta (floculação) para permitir o choque entre as impurezas e formar partículas maiores denominados flocos. A floculação irá depender do desempenho da unidade de mistura rápida (DI BERNARDO; DI BERNARDO, 2005).

Tratamento de Efluentes de Estamparias por Coagulação–Floculação

O efluente de estamparias caracteriza-se por seu alto teor de DQO, sólidos totais, turbidez e forte coloração. A dificuldade de tratar estes efluentes ocorre devido às elevadas quantidades de compostos de baixa biodegradabilidade (corantes e produtos auxiliares), que possuem estruturas complexas (DANTAS, 2005).

Muitos métodos de tratamento têm sido pesquisados para o tratamento de efluentes têxteis. Assim, o tratamento biológico é comumente considerado como o melhor tratamento custo-benefício quando comparado com outras opções de tratamento (ZAMORA; MORAI,

2005). Tratamentos biológicos são geralmente mais econômicos e simples de aplicar, eles têm sido usados para a remoção de compostos orgânicos e de cor dos efluentes têxteis. (KIM; PARK, 2008). Não entanto, o tratamento biológico convencional de lodos ativados não elimina a cor completamente, devido a que a maioria de corantes usados, são tóxicos para os organismos utilizados no processo de tratamento (KIM; PARK, 2008, LU; 2008). Contudo os corantes podem ser removidos eficientemente mediante oxidação avançada (usando H_2O_2 , UV, O_3 , etc.) e adsorção com carvão ativado, embora os custos de tratamento sejam muito altos para tratar o efluente bruto.

A escolha do mais eficiente e econômico método de tratamento e suas combinações depende dos tipos de corantes usados e dos métodos de tingimento usados durante o acabamento final. Surfactantes e corantes com alto peso molecular são removidos satisfatoriamente pelo processo de coagulação-floculação seguido de sedimentação, flotação ou filtração

A principal vantagem da coagulação – floculação é a remoção completa dos corantes e não a decomposição parcial deles, que podem gerar produtos aromáticos intermediários potencialmente tóxicos ao meio ambiente (GOLOB; VINDER; SIMONIC, 2005).

A *American Water Works Association* sugere a coagulação como o melhor tratamento para remoção de cor de efluentes (AWWA, 1989). Furlan (2008) concorda, citando que o curto tempo de residência e o baixo custo tornam à coagulação química uns dos melhores tratamentos para remoção de cor.

Hassemer (2000) estudou a remoção de cor de um efluente têxtil, mediante um tratamento de coagulação-floculação usando sulfato de alumínio e cal, obtendo uma eficiência de 97% na remoção da cor e 93% na remoção de turbidez. A autora também testou o uso de polímeros, mas conclui que estes não aumentavam de modo significativo as taxas de remoção. De acordo com a autora, a concentração ótima de eficiência é 500 mg/L de sulfato de alumínio ($[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$, solução ao 5%) e 600 e 300 mg/L de cal.

Joo et al. (2005) também realizaram ensaios de coagulação- floculação para o tratamento de efluentes têxteis testando coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e sais de ferro) em combinação com polímero floculante. O melhor resultado se obteve usando 2.000 mg/L de sais de

alumínio e 0,5 mg/L de polímero floculante, com uma eficiência de remoção de 62% para cor, 90% para turbidez e 30% para DQO.

No tratamento físico-químico dos efluentes têxteis, os produtos químicos mais utilizados são:

Cal

É um composto químico de fórmula Ca(OH)_2 , comumente usado nas estações de tratamento de efluentes industriais para a correção do pH, devido a seu baixo custo e boa eficiência na correção de mesmo. Entretanto gera grande quantidade de lodo e quando se deseja evitar o manuseio de muito sólidos, pode ser substituído com vantagens pelo hidróxido de sódio (NaOH).

Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$)

Sais hidrolizantes de alumínio são amplamente usados como coagulantes primários para a remoção de cor e outros colóides dissolvidos (FURLAN, 2008). Assim, o sulfato de alumínio é o coagulante mais usado no tratamento de efluentes devido a seu baixo custo e boa eficiência de remoção.

Policloreto de Alumínio (PAC)

Ou hidroxipolicloreto de alumínio. É um coagulante inorgânico pré-polimerizado, estável e com degradabilidade comparado com coagulantes orgânicos. O PAC possui uma estrutura molecular condensada em pontes de oxigênios entre átomos de alumínio com grande quantidade de elemento ativo Al_2O_3 (entre 12 a 18%). A fórmula química é $\text{Al}_n(\text{OH})_m \text{Cl}_{3n-m}$.

Polímero floculante

São compostos orgânicos à base de poliacrilamidas que apresentam cadeia longa e linear. São responsáveis pelo agrupamento das partículas colóides desestabilizadas em tamanho suficiente grande para que ocorra sedimentação, induzindo a seu agrupamento.

Tendo em vista as bibliografias consultadas e os resultados alcançados pelos diferentes autores, a seguir são apresentadas as metodologias utilizadas para o cumprimento dos objetivos específicos.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa pode ser classificada como aplicada, segundo PIMENTA (2008), pois tem por objetivo gerar conhecimentos para uma aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. De acordo com Thiolent (2002), este estudo também pode ser caracterizado como uma pesquisa-ação ao basear-se em coleta de informações por meio de análise documental e de entrevistas orientada à resolução de problemas ou objetivos de transformação.

A presente pesquisa foi desenvolvida nos municípios de Brusque e Guabiruba, localizados no Estado de Santa Catarina –SC.

O **município de Brusque**, situado no Vale do Rio Itajaí Mirim no Estado de Santa Catarina, possui uma extensão territorial de 283,45 Km² e uma população de 95.000 habitantes (BRUSQUE, 2008).



Figura 4: Localização dos municípios de Brusque e Guabiruba

O **município de Guabiruba** localiza-se à 9 km de Brusque e possui uma extensão territorial de 174 Km² e uma população de 14.552 habitantes.

A metodologia da presente pesquisa foi desenvolvida de acordo com os objetivos específicos dividindo-se em 3 subitens:

- Inventariar e caracterizar as estamparias de Brusque e Guabiruba;
- Identificar as medidas de P + L das estamparias parceiras: Silk Mais e Cores e Tons;
- Otimizar o tratamento de efluentes das estamparias parceiras: Silk Mais e Cores e Tons;

4.1. METODOLOGIA PARA INVENTARIAR E CARACTERIZAR AS ESTAMPARIAS DE BRUSQUE E GUABIRUBA

Para a identificação das estamparias de Brusque e Guabiruba foi feito contato com as prefeituras correspondentes, que forneceram a lista das estamparias cadastradas nas duas cidades (Quadro 11 e Quadro 12). Além disso, para identificar as estamparias existentes atualmente nesta região e não estão cadastradas nas prefeituras, foram realizadas consultas às guias telefônicas *on line* e entrevistas com pessoas ligadas à atividade em Brusque e Guabiruba.

Finalmente, mediante contatos telefônicos a todas as estamparias identificadas, e visitas a algumas estamparias, foram coletadas informações sobre: dados das empresas, processos produtivos e tratamento de efluentes, mediante a aplicação de questionários (Apêndice 1), elaborando-se assim o Quadro 11 e o Quadro 13.

Depois de conhecer as características deste setor, foram selecionadas duas empresas para a identificação das medidas de P + L e otimização do tratamento de efluentes. Os critérios de escolha foram: tipo de processo, acessibilidade na empresa e interesse pela pesquisa. As estamparias selecionadas foram:

- ***Silk Mais***, com processo de produção a quadro plano, localizada em Brusque;
- ***Cores e Tons***, com processo de produção a rolo contínuo, localizada em Guabiruba.

Para fins de um melhor entendimento da problemática ambiental das estamparias nesta região, foram pesquisadas as relações dos principais órgãos ambientais, municipais e privados com este setor. Para isso foi feito contato com 5 deles: 1) Fundação do Meio Ambiente (FATMA), 2) Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto da Prefeitura de Brusque (SAMAE), 3) Serviço de Água, Saneamento Básico e Infraestrutura da cidade de Itajaí (SEMASA), 4) Fundação Municipal do Meio Ambiente de Brusque (FUNDEMA) e 5) Empresa Quimisa.

Mediante visitas, contatos telefônicos e/ou via email foram pesquisadas e/ou coletadas as seguintes informações:

- A **FATMA**, cuja sede encarregada da fiscalização ambiental nos municípios de Brusque e Guabiruba está localizada em Blumenau, forneceu informações sobre as fiscalizações realizadas nestas cidades.
- A **SAMAE**, Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto da Prefeitura de Brusque, proporcionou informações e análises da qualidade do Rio Itajaí - Mirim. (Tabela 6).
- A **SEMASA**, Serviço de Água, Saneamento Básico e Infraestrutura da cidade de Itajaí, proporcionou informações da qualidade do Rio Itajaí - Mirim a jusante da cidade de Brusque.
- O órgão ambiental municipal de Brusque, **FUNDEMA**, proporcionou informações sobre as fiscalizações ambientais realizadas pela prefeitura às estamparias da cidade.
- A empresa **Quimisa** forneceu informações sobre novos produtos ecológicos desenvolvidos, e suas vendas atuais, para este setor

4.2. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR AS MEDIDAS DE P + L DAS ESTAMPARIAS PARCEIRAS

Para a identificação das medidas P + L já em uso e aquelas que ainda poderiam ser utilizadas nas empresas parceiras, foram consultadas diversos manuais como “*Pollution Prevention studies in the textile wet processing industry*” elaborado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Virginia (HENDRICKX; BOARDMAN, 2009), “*Best Available Techniques for the textile processing sector*” elaborado pela EPA de Irlanda (IRLANDA, 2009), “*Best Available Techniques for the printing industry*” (SILFVERBERG et al., 1998), “*Resource conservation and recovery act in focus in printing*” e “*Alternative low – VOC, low toxicity cleanup solvent for the screen printing industry*” elaborados pela EPA de USA (USA, 2009).

Além da revisão bibliográfica, foram visitadas 7 empresas do setor identificando nelas as medidas de P+L já existentes.

Foi elaborado para as duas estamparias parceiras, o fluxograma do processo produtivo, identificando-se o fluxo qualitativo de matéria prima, água, energia e resíduos. De acordo com as experiências dos gerentes de fábrica e com a bibliografia consultada, foram identificados os aspectos ambientais mais importantes e propostas medidas de P + L para cada um delas.

Não se realizou o levantamento quantitativo das entradas e das saídas dos insumos e produtos, nem foram implementadas medidas de P + L nas empresas parceiras, pois elas solicitaram manter confidencialidade sobre seus processos.

4.3. METODOLOGIA PARA OTIMIZAR O TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS ESTAMPARIAS PARCEIRAS

4.3.1. Coleta e caracterização dos efluentes

Os efluentes brutos das duas estamparias parceiras foram coletados do tanque de equalização em cada estação de tratamento entre os meses de Junho de 2009 e Janeiro de 2010. Foram realizadas 3 coletas aleatórias para cada estamparia, sendo recolhido um volume de 20 litros por cada coleta. Os efluentes foram armazenados em um refrigerador a 4°C para preservar as características do mesmo. A caracterização do efluente foi realizada em até 48 horas após as coletas, analisando os parâmetros de: pH, DBO, DQO, ST, SS, turbidez, cor aparente e cor verdadeira.. As análises do efluente bruto e dos testes de jarros foram realizadas em duplicata.

As análises realizadas, tanto para caracterizar o efluente bruto quanto para avaliar a qualidade do efluente dos testes de jarros, são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8: Listagem das análises realizadas

| Análise | Unid. | Método | Equipamento | Referência |
|---------------------------|-------|--|---|-------------------------------|
| DQO | mg/L | Colorimétrico 508 | Espectrofotômetro HACH DR/2010 | USA-Standart Mehods, 2005 |
| DBO | mg/L | Manométrico | HACH BOD Trak | --- |
| Cor verdadeira e aparente | uH | Método Único de cumprimento de onda | Espectrofotômetro HACH DR/2010 | USA-Standart Mehods, 2005 |
| pH | -- | Potenciométrico | pH metro HACH | --- |
| Sólidos Totais | mg/L | Gravimétrico | Balança marca Shimadzu modelo AY220 | USA-Standart Mehods, 2005 |
| Sólidos em suspensão | mg/L | Gravimétrico | Balança marca Shimadzu modelo AY220 | USA-Standart Mehods, 2005 |
| Temperatura | °C | | Termômetro | -- |
| Turbidez | uT | Nefelométrico | Turbidímetro HACH 2100P | USA-Standart Mehods, 2005 |
| Toxicidade | *F.D. | Toxicidade Aguda – <i>Daphnia magna</i> | --- | Norma Técnica NBR 12713 |

*F. D.: Fator de diluição

Os estudos e análises físico-químicas foram realizados no Laboratório Integrado de Meio Ambiente- LIMA do ENS/CTC/UFSC e os ensaios toxicológicos foram realizados no Laboratório de Toxicologia Ambiental – LABTOX do mesmo departamento.

4.3.2. Otimização do Tratamento - Teste de Jarros

Os ensaios de coagulação-floculação foram realizados em um equipamento de reatores estáticos (teste de jarros) da *Marca Milan Modelo JT-103*, composto por 6 jarros de seção transversal quadrada, de capacidade de 2 litros cada jarro.

O teste de jarros foi realizado de acordo com a metodologia descrita por no livro “*Ensaio de Tratabilidade de Água dos Resíduos gerados em estações de tratamento de água*” (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002). As velocidades de mistura rápida (coagulação) e mistura lenta (floculação) foram realizadas conforme as recomendações do livro “*Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais*” (NUNES, 2008) e das indicações sugeridas pela empresa fornecedora dos produtos químicos *Faxon Química*. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente $20^{\circ}\text{C} \pm 1$.



Figura 5: Teste de Jarros - *Marca Milan Modelo JT-103* utilizado nos experimentos no LIMA.

Na otimização do tratamento das duas estamparias parceiras, foi avaliado o uso de alguns coagulantes, assim como as concentrações ótimas dos mesmos. Além disso, também foram calculados os custos de tratamento de efluente para cada empresa, a fim de avaliar o ganho econômico da otimização.

Os produtos químicos usados na otimização do tratamento de efluentes para as duas estamparias parceiras encontram-se detalhados no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9: Lista de produtos químicos usados nos ensaios de otimização do tratamento dos efluentes de estamparias

| Função | Prod. Químico | Forma | Concentração | Fornecedor |
|----------------|----------------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------|
| Correção de pH | Cal | Pó | -- | <i>Quimex</i> |
| | Na OH | Líquido | 0,6 N | <i>Quimex</i> |
| Coagulante | Sulfato de Alumínio | Líquido | 50% | <i>Quimisa</i> |
| | Policloreto de alumínio | Líquido | 18% de Al ₂ O ₃ | <i>Faxon Química</i> |
| Floculante | FX - AS6 Polímero aniônico | Pó | -- | <i>Faxon Química</i> |

As folhas técnicas dos produtos químicos usados encontram-se nos Anexos. A seguir é detalhada a metodologia usada para a otimização do tratamento de cada estamparia parceira.

4.3.2.1 Otimização do Tratamento da Estamparia Silk Mais

Durante o desenvolvimento da pesquisa, a estamparia Silk Mais implementou uma estação de tratamento de efluentes pelo método de coagulação-floculação. A empresa usava cal para a correção do pH (1.300 mg/L) e sulfato de alumínio como coagulante (4.500 mg/L).

Sob constante agitação inicialmente era adicionado a cal. Posteriormente era adicionado o sulfato de alumínio. Na etapa de floculação, não se usava nenhum produto químico. Por fim, procedia-se à etapa de sedimentação.

Para a otimização do tratamento desta empresa, procurou-se reproduzir em laboratório as condições da estação de tratamento, com a finalidade de minimizar as concentrações de cal e sulfato de alumínio.

A) Metodologia detalhada para determinação da dosagem ótima de cal (pH ótimo):

Utilizou-se 500 mL de efluente bruto nos jarros, onde se colocou diferentes concentrações de cal (0 até 450 mg/L), em intervalos de 50 mg/L. O efluente foi agitado por 5 minutos a 100 rpm (rotações por minuto) para a mistura da cal. Em seguida procedeu-se a coagulação, adicionando-se 500 mg/L de sulfato de alumínio, sob agitação de 105 rpm por 2 minutos. Para a floculação o efluente foi agitado por 15 minutos a 30 rpm. A sedimentação durou 30 minutos, sem a movimentação das paletas. As amostras foram retiradas junto à superfície para realização de análises de cor, turbidez e DQO.

A Figura 6 a seguir, apresenta o procedimento do teste de jarros usado na otimização do tratamento de efluentes da estamparia Silk Mais.

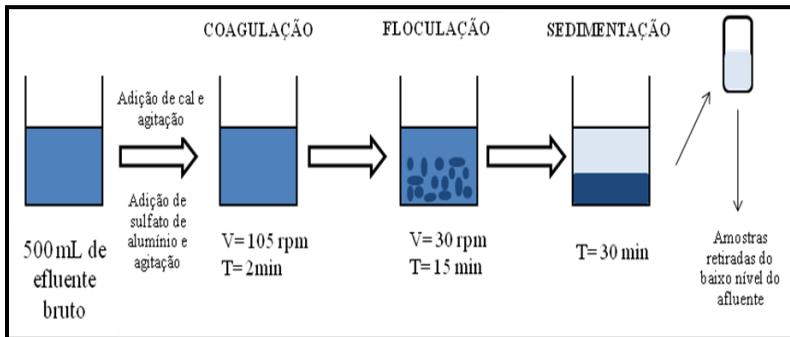


Figura 6: Teste de jarros para o efluente da estamparia Silk Mais

B) Metodologia detalhada para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio:

Para a determinação da melhor concentração de sulfato, 500 mL de efluente bruto foram colocados nos jarros e colocou-se a quantidade ótima de cal encontrada no ensaio anterior. Depois, adicionou-se em mistura rápida (105 rpm por 2 minutos) sulfato de alumínio, na faixa de 300 mg/L – 800 mg/L, em intervalos de 100 mg/L.

Após a etapa de coagulação, iniciou-se a etapa de floculação com agitação lenta (30 rpm por 15 minutos). Finalmente, o efluente sedimentou durante 30 minutos, sem a movimentação das paletas. As amostras foram retiradas junto à superfície do líquido para a realização das análises de cor, turbidez e DQO.

4.3.2.2 Otimização do Tratamento da Estamparia Cores e Tons

O tratamento atual da empresa Cores e Tons também consiste num tratamento de coagulação-floculação. Até o início desta pesquisa a empresa não tinha um procedimento de tratamento definido, e estava testando o policloreto de alumínio (PAC) como coagulante e polímero aniônico como floculante. A empresa pretende reusar o efluente tratado para a lavagem de pisos e tanques, exigindo como condição para o reúso que a água tratada seja límpida e cristalina.

O trabalho de otimização consistiu em avaliar o desempenho de 2 coagulantes: a) sulfato de alumínio e b) PAC, em diferentes concentrações. Como auxiliar de floculação foi utilizado o polímero aniônico FX AS6, que a partir de agora será chamado floculante FX AS6.

A otimização visou encontrar o melhor coagulante e sua concentração ótima. Verificou-se também se o efluente obtido atendia a legislação ambiental vigente e os requisitos para o seu reúso. Finalmente, foram calculados os custos de tratamento usando: a) a concentração ótima de sulfato de alumínio encontrada e b) a concentração ótima de PAC encontrada.

A) Metodologia detalhada para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio:

O ensaio iniciou-se com a etapa de coagulação. Foram adicionados 500 mL de efluente bruto nos jarros e agitou-se o efluente a 120 rpm durante 5 minutos (mistura rápida). Durante este período agregou-se sulfato de alumínio variando as concentrações na faixa 200 – 700 mg/L em intervalos de 100 mg/L. Após esta etapa ajustou-se o pH na faixa de 6,5 a 7,5 com NaOH 0,6 N para todos os jarros.

Em seguida, já na etapa de floculação, o efluente foi agitado a 60 rpm por 5 minutos (mistura lenta). Neste período se agregou 0,5 mL de uma solução do floculante FX AS6 a 0,01%. Finalmente, deixou-se o efluente sedimentar por 30 minutos sem agitação. As amostras foram retiradas junto à superfície do líquido para as análises de cor, turbidez e DQO.

A Tabela 2 resume o procedimento descrito anteriormente, apresentando a faixa de sulfato de alumínio avaliada, e as quantidades de floculante FX AS6 e de NaOH 0,6 N usadas.

Tabela 2: Concentrações de sulfato de alumínio, floculante FX AS6 e hidróxido de sódio usados nos ensaios de jarros.

| Ensaio | Sulfato (mg/L) | 0,01 % de Floculante FX AS6 (mL/L) | NaOH (mL/L) |
|--------|----------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | 200 | 1,0 | 0,0 |
| 2 | 300 | 1,0 | 2,0 |
| 3 | 400 | 1,0 | 3,0 |
| 4 | 500 | 1,0 | 3,4 |
| 5 | 600 | 1,0 | 3,8 |
| 6 | 700 | 1,0 | 4,2 |

B) Metodologia detalhada para determinação da dosagem ótima de policloreto de alumínio (PAC):

Realizou-se um ensaio similar ao descrito anteriormente trocando-se o sulfato de alumínio pelo PAC. As concentrações testadas de PAC foram de 100 a 400 mg/L, em intervalos de 100 mg/L. Também foram realizadas as análises de cor, turbidez e DQO.

A Tabela 3 apresenta a faixa de PAC avaliada e as quantidades de floculante e NaOH usadas.

Tabela 3: Concentrações de PAC, floculante FX AS6 e hidróxido de sódio usados nos ensaios de jarros.

| Ensaio | PAC (mg/L) | 0,01 % de Floculante FX AS6 (mL/L) | NaOH (mL/L) |
|--------|------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | 100 | 1,0 | 4,0 |
| 2 | 200 | 1,0 | 5,4 |
| 3 | 300 | 1,0 | 10,8 |
| 4 | 400 | 1,0 | 12,8 |

A Figura 7 a seguir, apresenta o procedimento do teste de jarros usado na otimização do tratamento de efluentes da estamparia Cores e Tons.

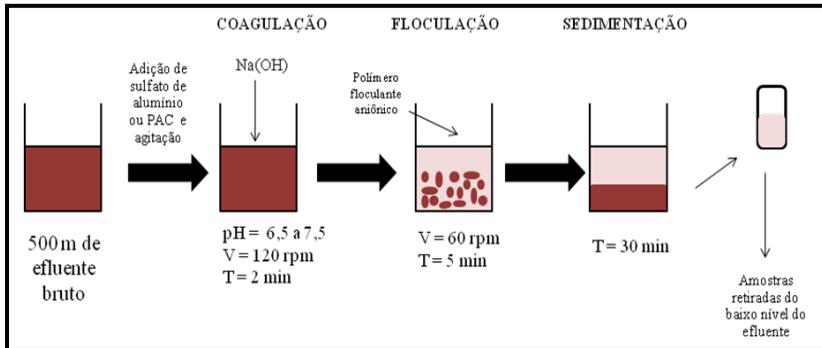


Figura 7: Teste de jarros para o efluente da Estamparia Cores e Tons

4.3.3. Cálculo de Custo de Tratamento de Efluentes

A seguir é detalhada as metodologias para o cálculo dos custos de tratamento das otimizações realizadas para cada estamparia parceira.

4.3.3.1 Cálculo dos custos de tratamento da Estamparia Silk Mais:

Foram calculados os custos de tratamento (R\$/m³ de efluente tratado) usando: a) as concentrações ótimas encontradas em laboratório e b) as concentrações atuais usadas na estação de tratamento da empresa Silk Mais. Para isto, foram calculadas as quantidades de sulfato de alumínio e cal usadas em ambos os casos, tomando como base de 1 m³ de efluente tratado.

Os custos dos produtos químicos foram fornecidos pelo proprietário da empresa e estão descritos na tabela a seguir.

Tabela 4: Custos de cal e sulfato de alumínio da empresa Silk Mais

| Produto Químico | Custo/ unidade |
|-----------------------------------|----------------|
| Cal hidratada | R\$ 0,33/kg |
| Sulfato de alumínio líquido a 50% | R\$ 1,44/L |

Nota - Foi desconsiderado o custo de transporte e disposição de lodo devido à baixa quantidade produzida diariamente.

O custo total foi calculado multiplicando-se as quantidades dos produtos químicos usados em cada caso (escala laboratório e escala real) pelos custos unitários dos mesmos, já apresentados na Tabela 4.

4.3.3.2 Cálculo dos custos de tratamento da Estamparia Cores e Tons:

O cálculo dos custos de tratamento (R\$ /m³ de efluente tratado) para a estamparia Cores e Tons envolveu o custo dos produtos químicos e da disposição de lodo produzido.

Cálculo dos custos dos produtos químicos.

Usando as condições ótimas encontradas de sulfato de alumínio e PAC foram calculadas as quantidades de cada produto químico (sulfato de alumínio ou PAC, NaOH e polímero aniônico FX AS6) no tratamento, isto tomando como base 1 m³ de efluente tratado.

O preço dos produtos químicos usados foi obtido da empresa fornecedora Faxon Química e estão descritos na tabela a seguir.

Tabela 5: Custos dos produtos químicos e custo de transporte e disposição de lodo da empresa Cores e Tons

| Produtos Químicos / Lodo | R\$ / kg |
|---------------------------------|-----------------|
| Sulfato de Alumínio líquido | 0,4 |
| PAC | 1,0 |
| Floculante FX AS6 | 10 |
| Hidróxido de Sódio (Na OH) | 0,21 |
| Lodo | 0,16 |

Fonte: *Faxon Química e Cores Tons*, 2010

Nota- O custo do sulfato de alumínio usado por Cores e Tons é menor (R\$ 0,4) em comparação ao custo usado por Silk Mais (R\$ 1,44). Ressalta-se que a empresa Cores e Tons gera uma vazão de efluente muito maior que Silk Mais e por isso o consumo mensal de sulfato de alumínio é maior, permitindo melhor negociação do produto.

Cálculo do custo do transporte e disposição de lodo.

Atualmente o lodo produzido na estamparia Cores e Tons, passa através de uma prensa onde é aumentado o teor de sólidos seco a 30%.

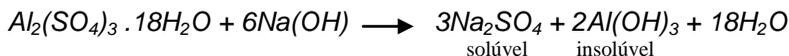
Foram calculados os custos de transporte e disposição usando as concentrações ótimas encontradas de sulfato de alumínio e PAC. A seguir é detalhado o cálculo dos mesmos.

Cálculo da quantidade de lodo úmido produzido usando sulfato de alumínio

Inicialmente foi calculada a quantidade de lodo seco.

O cálculo da quantidade de lodo seco produzido usando a concentração ótima de sulfato de alumínio foi realizado através de cálculos numéricos de balanço de massa e mediante a relação estequiométrica da reação do sulfato de alumínio com o hidróxido de sódio, conforme Metcalf e Eddy (2003). Assim, a quantidade de lodo seco produzida é a somatória de:

- A quantidade de sólidos totais removidos do efluente bruto. Na presente pesquisa foi assumido que a remoção de sólidos totais pelo tratamento físico-químico de coagulação-floculação conseguiu remover 90% dos sólidos totais do efluente bruto; os quais vão a formar parte do lodo.
- A quantidade de precipitado insolúvel formado ($Al(OH)_3$) segundo a seguinte reação:



* Foi desconsiderado os sólidos produzidos pelas reações entre o sulfato de alumínio e a alcalinidade ($Ca(HCO_3)_2$ ou $Ca(CO_3)$) devido a alcalinidade do efluente bruto ser muito baixa.

Finalmente, a quantidade de lodo úmido foi calculada levando em consideração que o 30% dos sólidos secos à saída da prensa representam os sólidos secos calculados, segundo o procedimento descrito linhas acima.

Cálculo da quantidade de lodo úmido produzido usando PAC

Segundo informações do fornecedor dos produtos químicos (*Faxon Química*), o PAC produz entre 10 a 20% menos de lodo que o sulfato de alumínio para condições de tratamento similares. Desta forma foi considerado que a quantidade de lodo úmido produzida usando a concentração ótima de PAC é o 90% da quantidade de lodo úmido produzida usando a concentração ótima de sulfato de alumínio.

A seguir são apresentados os resultados alcançados e comparados com as referências bibliográficas pesquisadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a seguir apresentados estão divididos em 3 sub-itens de acordo aos objetivos específicos e a metodologia apresentada:

- Resultados do inventário e caracterização das estamparias em Brusque e Guabiruba;
- Resultados da Produção mais Limpa e Otimização do Tratamento de Efluentes da Estamparia Silk Mais e;
- Resultados da Produção mais Limpa e Otimização do Tratamento de Efluentes da Estamparia Cores e Tons.

5.1. RESULTADOS DO INVENTÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAMPARIAS EM BRUSQUE E GUABIRUBA.

A seguir é descrito os resultados do levantamento e a caracterização das estamparias nas cidades em estudo. Com a finalidade de realizar uma caracterização mais completa do setor, também foi realizada uma contextualização ambiental, pesquisando as influencias e relações com os principais órgãos ambientais e municipais da região.

5.1.1. Inventário e caracterização das Estamparias em Brusque

Brusque apresenta a maior atividade econômica do vale de Rio Itajaí, devido ao seu forte setor industrial, destacando-se as indústrias têxteis e metal mecânico. Dentro do setor têxtil, as estamparias são uma das principais indústrias.

Na prefeitura de Brusque encontram-se cadastradas 20 estamparias, mas, segundo empresários do setor, o número de estabelecimentos pode chegar a 200, a maioria clandestina, pois não possuem alvará de funcionamento nem licenciamento ambiental. O Quadro 10 apresenta as estamparias cadastradas na prefeitura de Brusque.

Quadro 10: Estamparias cadastradas na Prefeitura de Brusque

| Nº | EMPRESA | ENDEREÇO | BAIRRO |
|-----------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1 | Estamparia Edvan | R. Fredrico Petrusky, 1427 | Guarani |
| 2 | Estamparia Hand Print | R. São Leopoldo, 541 | São Pedro |
| 3 | Estamparia Rosin | R. Primeriro de Maio, 643 | 1º de Maio |
| 4 | Estamparia Wesklann | R. Carlos Ristow, 504 | Azanbuja |
| 5 | Casa da Estamparia | R. Primeriro de Maio, 488 SL 02 | 1º de Maio |
| 6 | Cliff Estamparia | R. Gustavo Halfrap, 380 | Centro |
| 7 | Estamparia FC | Rod. Ivo Silveira, 3055 | Bateas |
| 8 | Estamparia Manrich | R. Imigrantes, 1540 | Centro |
| 9 | Estamparia Kikanel | R. Centenário, 105 | Centro |
| 10 | Estamp Mega Stamp Transfer | R. Bulcão Viana, 412 | Souza Cruz |
| 11 | Color Stamp Estamparia | R. Angelo Zucco, 245 | Santa Rita |
| 12 | Edite M Mazzini | R. Felipe Schmidt, 31 | Centro |
| 13 | Estamparia Elmir | R. Guilherme Steffen, 130 | Steffen |
| 14 | Estamparia Kikanei | R. Arno Rudolf, 377 | Aguas Claras |
| 15 | Estamparia Neuro | R. Luis G. Wernge, 300 | Sta Teresinha |
| 16 | Estamparia Ney | R. Orides Schwartz, 180 | Guarani |
| 17 | Estamparia Parana | R. Alberto Knop, 191 | JD Maluche |
| 18 | Foppa Designs | R. Pre Ger Schaeffer, 10 SL 2 | Centro |
| 19 | Guara Estamparia | R. Centenário, 186 | Centro |
| 20 | Mundial Cores | R. Max Kholer, 39 | Centro |

Segundo informações dadas pelos funcionários da Prefeitura de Brusque para a obtenção da licença de funcionamento de uma estamparia é necessário apresentar o CNPJ da empresa, contrato social, alvará de funcionamento e habilitação de construção. Neste conjunto de documentos não é solicitado o licenciamento ambiental emitido pela FATMA, assim, a prefeitura libera o funcionamento do empreendimento sem tomar em consideração a proteção ao meio ambiente.

Como a licença ambiental não é requisito para a habilitação da indústria, algumas vezes a mesma só é exigida depois de uma denúncia por parte da vizinhança em caso de algum problema ambiental. Ou no caso que algum cliente exigir o licenciamento ambiental como pré-requisito para a realização de um determinado trabalho.

Como foi mencionado na metodologia, mediante referências de terceiros e pesquisa nas listas telefônicas, foram identificadas 30 estamparias adicionais às cadastradas na **Prefeitura de Brusque**, todas elas são apresentadas no Apêndice 2.

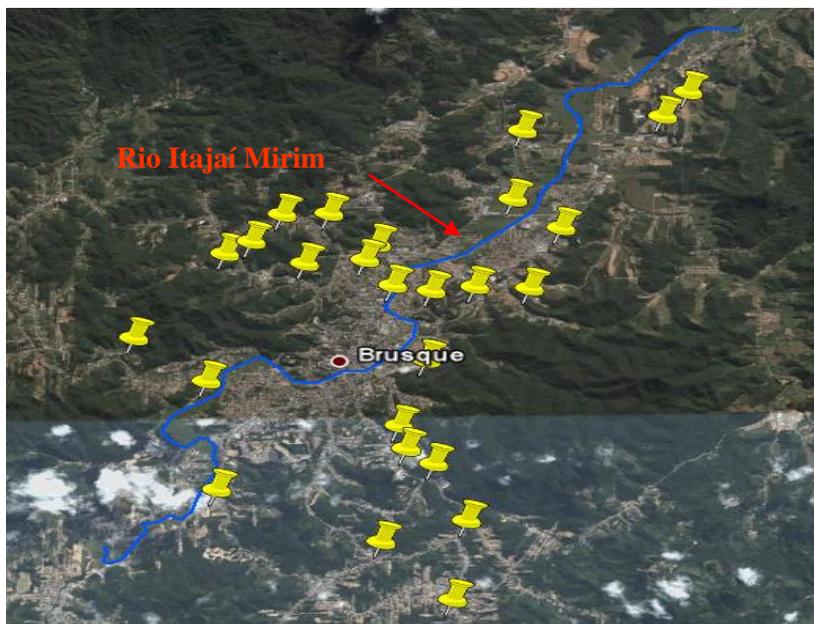


Figura 8: Algumas estamparias identificadas em Brusque

Das 50 estamparias identificadas, 32 não foram possíveis contatar por telefone, 1 não quis dar informação e as 17 restantes colaboraram com a pesquisa. Das 17 estamparias contatadas se obteve as informações resumidas no Quadro 11.

Dentre as características das estamparias contatadas em Brusque pode-se citar que:

- **Tipo de estampagem:** as 17 manifestaram que usam a técnica a quadro plano;
- **Porte da empresa:** 13 são de microporte, pois possuem até de 19 empregados (SEBRAE, 2009), 3 são de pequeno porte pois possuem entre 20 e 99 empregados e 1 manifestou não saber;
- **Área da empresa:** 4 possuem áreas menores que 200 m², 10 áreas maiores que 200 m² e menores que 3.000 m² e 3 manifestaram não saber a área útil do empreendimento.
- **Uso de tinta:** 7 usam tintas a base de água, 2 a base de plastisol, 3 usam ambas e 5 manifestaram não saber;
- **Tratamento de efluentes:** 4 não possuem tratamento, 10 possuem tratamento que pode ser considerado como deficiente (fossa séptica, tanques de armazenamento ou tanques de sedimentação) e apenas 3 (17,6%) possuem tratamento por coagulação-floculação; sendo que uma das três empresas que possuem tratamento, reusa o efluente tratado para a lavagem dos pisos da empresa.

Quadro 11: Informações das estamparias contatadas em Brusque

| Nº | ESTAMPARIA | ÁREA (m ²) | TIPO | Nº EMP. | TRATAMENTO | TINTA |
|----|------------------------------|---------------------------|--------|----------|-----------------------------------|------------------|
| 1 | 2L Estamparia Ltda. | não sabe | Quadro | não sabe | não possui | não sabe |
| 2 | Art e Cor Estamparia | 60 | Quadro | 2 | Decantação / Fossa séptica | Água |
| 3 | Atitude 435 Estamparia Ltda. | 70 | Quadro | 4 | Armazenamento em tanques | Plastisol |
| 4 | Celso Manrich | 216 | Quadro | 2 | Fossa séptica | Água |
| 5 | Cliff Estamparia | 2 250 | Quadro | 15 | Caixa de gordura - Fossa séptica | Plastisol |
| 6 | Color Stamp Estamparias | 400 | Quadro | 8 | não possui | não sabe |
| 7 | Estamparia Caini | 200 | Quadro | 5 | não possui | Água |
| 8 | Estamparia FC Ltda. | 750 | Quadro | 25 | Correção do pH | Água e Plastisol |
| 9 | Estamparia Kriakor | 1 000 | Quadro | 16 | Decantação | Água e Plastisol |
| 10 | Estamparia Pains | 80 | Quadro | 5 | Armazenamento em tanques | Água |
| 11 | Estamparia Silk Mais Ltda. | 500 | Quadro | 17 | Coagulação - Floculação | não sabe |
| 12 | Estamparia Wesklann | 200 | Quadro | 9 | Correção de pH | Água |
| 13 | F2 Estamparia | 400 | Quadro | 8 | Coagulação - floculação com reúso | Água |
| 14 | Hand Print Estamparias Ltda. | 900 | Quadro | 20 | Coagulação - Floculação | não sabe |
| 15 | Mundial Cores | não sabe | Quadro | 3 | Armazenamento em tanques | Água |
| 16 | Nelson Luiz Montibeller | 119 | Quadro | 10 | não possui | não sabe |
| 17 | Ney Estamparia Ltda. | não sabe | Quadro | 38 | Armazenamento em tanques | Água e Plastisol |

5.1.2. Inventário e caracterização das Estamparias em Guabiruba

Na prefeitura de Guabiruba se encontram cadastradas 13 estamparias. A lista de estamparias e suas características são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12: Estamparias cadastradas na Prefeitura de Guabiruba

| Nº | Empresa | Endereço | Bairro |
|----|--|---------------------------------|---------------|
| 1 | Aquarela Estamparia Ltda | Rua Lourenço Regis s/n | Lageado Baixo |
| 2 | Caros Maffezzolli | Rua CNT 053 (Faixa azul) 190 | Centro |
| 3 | Cia da Estampa e Confecções Ltda | Rua Prefeito Carlos Boos 2400 | Aimore |
| 4 | Designer Estamparia Ltda | Rua Guabirube 80 | Guabiruba Sul |
| 5 | Estamparia Imperatriz | Rua Paulo Manrich 136 | Centro |
| 6 | Estamparia JD Ltda | Rua Ver Wilson Antonio Gums 310 | Pomerania |
| 7 | Estamparia Parma Ltda | Rua Dionilda Kormann 106 | Centro |
| 8 | Estamparia Zimmermann Ltda | Rua Lourenço Regis 126 | Lageado Baixo |
| 9 | Ester Estamparia | Rua São Jose 223 | Lorena |
| 10 | Jean Pierre Dos Santos | Rua Adolfo Schaefer 153 | Centro |
| 11 | MT Estamparia e Industria do Vestuário | Rua Lourenço Regis 141 | Lageado Baixo |
| 12 | Natal Regis | Rua Vereador Silveiro Regis 230 | Lageado Baixo |
| 13 | Rodrigo Manrich | Rua Paulo Manrich 3336 | Centro |

Mediante referências de terceiros e pesquisas via internet, foram identificadas 7 estamparias adicionais às cadastradas na Prefeitura de Guabiruba (Apêndice 2). Do total de 20 estamparias, só foi possível coletar os dados de 6, pois os telefones das 14 estamparias restantes estavam desatualizados e, portanto, inviabilizaram a pesquisa. As informações relativas às estamparias estudadas são apresentadas no Quadro 13.

Estas informações podem ser sintetizadas na forma:

- **Tipo de estampagem:** 4 usam a técnica a quadro plano, 1 a rolo contínuo e 1 usa ambas as técnicas;
- **Porte da empresa:** 4 são de microporte segundo a classificação da SEBRAE (possui até de 19 empregados), 1 é de pequeno porte, pois possui entre 20 e 99 empregados e 1 é de médio porte, possuindo mais de 99 empregados;
- **Área do empreendimento:** 1 possui área menor a 200 m², 3 possuem áreas maiores a 200 m² e menores a 3.000 m², 1 possui área maior a 3.000 m² e 1 manifestou não saber a área;
- **Uso da tinta:** 4 usam tintas a base de água e 2 usam tintas feitas a base de água e plastisol;
- **Tratamento de Efluentes:** 2 estamparias possuem tratamentos deficientes e as 4 restantes possuem tratamento de efluentes por coagulação-floculação, sendo que uma delas reusa o efluente.

Quadro 13: Informações das estamparias contatadas em Guabiruba

| Nº | ESTAMPARIA | ÁREA (m ²) | TIPO | Nº EMPREG. | TRATAMENTO | TINTA |
|----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | Designer Estamparia Ltda. | 300 | Quadro | 3 | Coagulação - Flocculação | Água |
| 2 | Estamparia Aquarela Ltda. | 170 | Quadro | 4 | Sedimentação | Água e Plastisol |
| 3 | Estamparia Bósio | não sabe | Quadro | 12 | Tratamento deficiente | Água |
| 4 | Estamparia Cores e Tons | 10.000 | Rolo contínuo | 166 | Coagulação - Flocculação | Água |
| 5 | Estamparia Manrich | 1.200 | Rolo contínuo e Quadro | 22 | Coagulação - Flocculação | Água |
| 6 | Estamparia Parma Ltda. | 750 | Quadro | 14 | Coagulação - Flocculação | Água e Plastisol |

Verifica-se que as estamparias estudadas em sua maioria utilizam a técnica de quadro plano, tintas a base de água e são de micro e pequeno porte. Diferentemente de Brusque, em Guabiruba se encontrou 2 estamparias de rolo contínuo com alta geração de efluentes. Estas estamparias são *Cores e Tons*, parceira da presente pesquisa que gera 18 m³ de efluente/hora e *Manrich* que gera 24 m³/hora. As duas estamparias usam o mesmo processo de estampagem (rolo contínuo), mas apresentam grande diferença nas áreas úteis, *Manrich* possui uma área de 1.200 m² enquanto *Cores e Tons* possui uma área de 10.000 m². Esta última, além de realizar estampas com pigmentos, realiza também estampas com corantes, razão pela qual precisa de uma área maior para a produção de vapor e lavagem dos tecidos estampados.

Sugere-se que estas estamparias de maior porte se encontrem localizadas em Guabiruba devido aos custos menores do terreno, à proximidade ao rio Guabiruba tanto para a captação de água quanto para a descarga de efluentes, e a falta de fiscalização por parte da prefeitura.

Como pode ser verificado nos Quadro 11 e Quadro 13, de um total de 23 estamparias contatadas em Brusque e Guabiruba, 5 delas possuem áreas menores a 200 m². Segundo a resolução CONSEMA N° 003, as estamparias com áreas menores a 200 m² (0,2 hectares) ficam isentas do licenciamento ambiental da FATMA, sendo suficiente uma declaração com Anotação de Responsabilidade Técnica do Profissional responsável (ART).

5.1.3. Contextualização ambiental das estamparias em Brusque e Guabiruba

Para uma melhor contextualização do problema ambiental do setor nestas cidades, tentou-se quantificar as estamparias que possuem licenciamento ambiental, mas a FATMA se negou a disponibilizar esta informação, manifestando que atualmente não dispõe de listagem das estamparias com licenciamento ambiental.

Segundo empresários do setor, o órgão ambiental da Prefeitura de Brusque, a FUNDEMA, não realiza nenhum tipo de fiscalização ambiental neste setor. No caso de alguma denúncia, esta é direcionada à FATMA, sede de Blumenau, que só conta com 10 funcionários (5 da área técnica e 5 da área administrativa) para a supervisão de 12 municípios entre eles Brusque e Guabiruba (SANTA CATARINA, 2010). Trabalhadores da FUNDEMA afirmaram que não realizam nenhum tipo de monitoramento dos efluentes, pois não contam com pessoal qualificado para o exercício dessas atividades.

Como foi verificado nos estudos realizados em Brusque e Guabiruba, as características do setor e a falta de controle por parte das Prefeituras e da FATMA possibilita o crescimento de indústrias clandestinas (que não possuem alvará de funcionamento), as quais muitas vezes trabalham em condições precárias, não pagam impostos e não tratam seus efluentes.

As cidades de Brusque e Guabiruba não possuem rede de coleta nem sistema de tratamento de esgoto municipal, portanto seus efluentes industriais são jogados diretamente aos rios próximos, sendo estes o Rio Itajaí Mirim e o Rio Guabiruba.

Neste contexto, existe a necessidade premente de melhorarias no desempenho e gestão ambiental das estamparias. As mudanças no setor poderiam começar com a utilização de produtos químicos de menor impacto ambiental. A empresa Quimisa, importante fornecedor de produtos químicos na região, conta com um laboratório de desenvolvimento de insumos para estamparias. Atualmente eles vêm oferecendo novos produtos ecológicos, como fixadores isentos de formol, corantes sem metais pesados e produtos biodegradáveis para a lavagem dos quadros. Eles manifestaram que só duas estamparias da região adquirem regularmente estes produtos, apesar de os preços e a qualidade dos produtos serem praticamente iguais aos outros oferecidos no mercado. A procura por estes tipo de insumos pode auxiliar na implantação de Produção Mais Limpa das indústrias de estampagem.

Sendo os rios Itajaí Mirim e Guabiruba os mais afetados pelas estamparias, a seguir é feita uma análises dos mesmos.

5.1.4. Rio Itajaí Mirim e Rio Guabiruba

O rio **Itajaí-Mirim** é o principal rio da cidade de Brusque, tendo como seus afluentes mais representativos os rios Bateas, Águas Claras, Cedro, Peterstrasse, Guabiruba e Limeira. Este rio possui um comprimento de 170 km e uma área de drenagem de 1.487 km² (RIFFEL; BEAUMORD, 2003)

Segundo a Portaria n. 024/79 (SANTA CATARINA, 2009), que enquadra os cursos d'água do Estado de Santa Catarina, o Rio Itajaí-Mirim e seus afluentes são considerados classe II, a exceção do rio Águas Claras que é considerado classe I. De acordo com o monitoramento feito por Riffel e Beaumord (2003), o rio Itajaí Mirim enquadra-se fora dessa classificação, apresentando valores menores de 5 mg/L de oxigênio dissolvido e em alguns casos turbidez maior a 100 NTU.

Os mesmos autores identificaram as principais atividades antropogênicas potencialmente poluidoras da bacia do Itajaí Mirim e seus tributários no município de Brusque, concluindo que são 8 os setores industriais responsáveis pela degradação dos recursos hídricos: revelação fotográfica, posto de gasolina, lavanderia, têxtil, química, metalúrgico, metal mecânico e alimento. Num total de 62 empresas identificadas como potencialmente poluidoras, as indústrias ligadas ao setor têxteis apresentaram-se como as mais prejudiciais ao médio ambiente, tanto pelo número de indústrias localizadas na região quanto pelo seu potencial poluidor.

A SAMAE, empresa da Prefeitura encarregada do abastecimento de água potável na cidade de Brusque, conta com 6 sistemas pequenos isolados de captação de água e um sistema principal de captação do Itajaí Mirim. Os 6 sistemas abastecem 23% da população enquanto que a maior parte (77 %) é abastecida pela água proveniente do rio.

Segundo funcionários da SAMAE, a captação principal para abastecimento de água se encontra antes da maioria de descargas feitas pelas indústrias têxteis, por isso os problemas na potabilização da água não são muito significativos para a empresa. Entretanto, manifestaram que em algumas épocas a cidade ficou desabastecida de água potável por umas horas devido a descargas clandestinas de indústrias têxteis. A forte coloração na água afetou fortemente o tratamento nestas

oportunidades. Na opinião dos funcionários, o rio Itajaí Mirim ainda consegue assimilar a poluição que é despejada pelas indústrias da cidade. Um monitoramento feito pela SAMAE revelou os seguintes resultados na qualidade do rio:

Tabela 6: Parâmetros de qualidade do Rio Itajaí Mirim

| Data | Turbidez (NTU) | Cor (mg Pt/L) | pH |
|-------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 03/06/2009 | 16,4 | 26,7 | 7,7 |
| 04/06/2009 | 19,5 | 34,2 | 7,4 |
| 10/06/2009 | 139 | 215 | 7,4 |
| 11/06/2009 | 597 | 536 | 7,67 |
| 12/06/2009 | 593 | 339 | 7,36 |
| 13/06/2009 | 340 | 244 | 7,05 |
| 14/06/2009 | 135 | 198 | 7,46 |

Como é observado na Tabela 6, os parâmetros de cor e turbidez enquadram-se fora dos valores recomendados para a classificação do rio classe II que são: 75 mg Pt/L e 100 NTU respectivamente.

Minela (2005) estudou a qualidade d água do rio no trecho desde a divisa dos municípios de Brusque e Botuverá até a captação de água para abastecimento público feita pela SAMAE, concluindo que a qualidade neste trecho era boa. Para a avaliação da qualidade, o autor usou o índice de qualidade de água feito pela *National Sanitation Foundation* (NSF). No mesmo estudo, também foram identificadas as possíveis causas da poluição do rio, destacando-se a pastagem e os efluentes industriais e domésticos.

Como foi mencionado, Brusque não conta com sistema de tratamento municipal, lançando todos os efluentes domésticos e industriais diretamente ao Itajaí Mirim. Além disso, o rio esta sendo prejudicado pela pouca mata ciliar existente. Valores altos de turbidez em dias de alta pluviosidade sugerem a necessidade de uma maior proteção nas margens do rio.

O Itajaí Mirim, depois de passar por Brusque, serve como fonte de abastecimento para a cidade de Itajaí, assim a poluição despejada pelas indústrias têxteis em Brusque também representa prejuízo em Itajaí.

Funcionários da SEMASA, empresa municipal encarregada do abastecimento e saneamento da cidade de Itajaí, manifestaram que em algumas oportunidades a água do rio apresentou problemas levando a paralisar as operações de abastecimento. Presume-se que foram poluentes provenientes das indústrias têxteis.

Pouca informação foi encontrada sobre o **rio Guabiruba**, um afluente do rio Itajaí Mirim.

A seguir são descritos os resultados da proposição de medidas P +L e a otimização do tratamento de efluentes nas estamparias parceiras: *Silk Mais* e *Cores e Tons*. Para cada estamparia, inicialmente são apresentados os dados gerais da empresa e a descrição do processo produtivo, depois a identificação e proposição das medidas de P +L e, finalmente, a otimização do tratamento de coagulação- floculação junto com o cálculo dos custos de tratamento.

5.2. RESULTADOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ESTAMPARIA SILK MAIS.

5.2.1. Dados Gerais da Empresa

A estamparia Silk Mais localiza-se no município de Brusque, é uma estamparia de microporte segundo a classificação da SEBRAE/SC, pois possui 17 empregados. A empresa tem uma área total de 500 m² e está no mercado de trabalho há 7 anos.

A estamparia recebe do cliente o tecido e os quadros com os desenhos para sua estampagem. A produção mensal é em média de 40.000 estampas o que representa um faturamento na faixa de R\$ 20.000 a R\$ 35.000 mensal. No momento da pesquisa a empresa operava sem a devida licença ambiental e não contava com nenhum assessoramento na área ambiental.

5.2.2. Processo Produtivo

A estamparia empresa Silk Mais usa o processo de estampagem a quadro plano, realizado de maneira manual, sendo que as estampas são em sua maioria à base de água. Também são feitas estampas a base de plastisol, empregando uma diversidade de técnicas e produtos químicos que fornecem um diferencial na peça.

Os quadros com os desenhos prontos são fornecidas pelo cliente. A qualidade e a textura do quadro variam de acordo com as tintas e as técnicas de estampado usadas, por exemplo, para tintas a base de plastisol as aberturas do quadro são maiores que para as tintas a base de água, pois sua maior viscosidade exige telas com maiores aberturas.

O processo produtivo de estampado da empresa Silk Mais é detalhado na Figura 9.

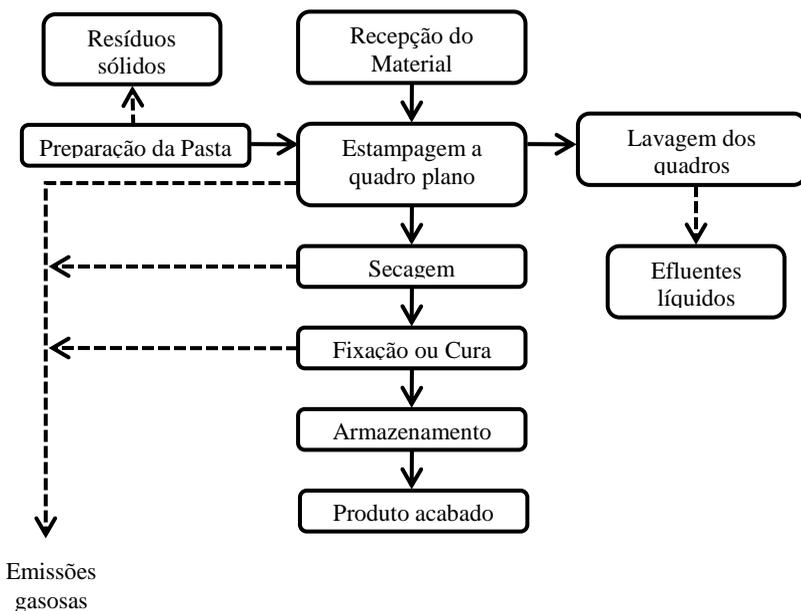


Figura 9: Fluxograma do Processo de Estampagem da Empresa Silk Mais

a) Preparação da Pasta

No caso específico desta estamparia, as pastas à **base de água** são preparadas misturando-se pastas prontas, que contém principalmente água, ligante, amaciante e espessante, com os pigmentos líquidos. Se a pasta tem uma consistência muito espessa, é adicionado amaciante, em caso contrário é adicionado espessante. Dependendo do tipo de estampa e da cor da tela a ser estampada, também pode ser adicionado ligante para dar maior cobertura de cor.

A pasta a base de água pode ser contaminada pela má manipulação. Um indicativo da contaminação é a mudança de cheiro. Para evitar a degradação microbiana da pasta é agregado bactericida.

As pastas a **base de plastisol** são preparadas misturando uma pasta pronta conhecida comumente como plastisol ou gel com os pigmentos líquidos. Também são usados espessantes e amaciantes para modificar a consistência da pasta. A pasta a base de plastisol também pode sofrer contaminação embora o tempo de duração seja muito maior que ao da pasta a base de água. As pastas são preparadas no momento da estampagem de acordo com as cores e os efeitos solicitados pelo cliente.

Existem diferentes tipos de estampas que dependem das técnicas de estampado usadas e as receitas de preparação de pasta. A empresa Silk Mais possui uma variedade de tipos de estampas, dentre as mais usadas estão gel brilho, gel fosco e emborrachado.



Figura 10: Diferentes tipos de estampagem da Empresa Silk Mais

b) Estampagem a quadro plano

A estampagem a quadro plano consiste na impressão da tinta no tecido pela pressão de um rolo através de uma tela de *nylon* esticada em uma moldura de madeira onde estão gravados os desenhos que serão colocados no tecido.

Os operadores submergem o rolo na pasta de estampar e aplicam pressão sobre o quadro. A passagem da pasta pelo quadro pode ser realizada várias vezes dependendo do número de cores, do desenho, usando um rolo para cada cor. Para começar a estampar a segunda cor, a primeira deve estar bem seca. A pasta que não foi utilizada é armazenada para um uso posterior.

c) Secagem

A secagem das estampas a base de água é feita sobre uma chapa de alumínio com aquecimento elétrico. As chapas de alumínio são denominadas berços. As temperaturas utilizadas variam de 45 a 80°C, dependendo do tipo de estampa. A secagem das estampas de plastisol é feita em um aparelho chamado “*flash cure*” que possui uma lâmpada infravermelha de 9.000 watts com alcance de 300 °C a 500°C de temperatura.

d) Fixação ou Cura

As estampas a base de água, podem ser fixadas pela técnica “cura ar” ou “cura estufa”. Nas estampas “cura ar”, a fixação acontece a temperatura ambiente, enquanto as outras devem passar pela estufa. Diferente das estampas de água, as estampas de plastisol obrigatoriamente precisam passar pela estufa durante 3 minutos, a uma temperatura de 150 – 180°C.

5.2.3. Produção mais limpa

Para a identificação das medidas de P + L, primeiro foi desenvolvido o fluxograma do processo identificando às entradas e saídas (Figura 9). Depois se realizou a identificação dos aspectos ambientais e finalmente se propôs as principais medidas de P + L.

Avaliação de entradas e saídas

Foram identificadas todas as entradas e saídas para cada etapa do processo, segundo o apresentado no Quadro 14.

Quadro 14: Levantamento de entradas e saídas da Estamparia Silk Mais

| Entradas | Etapa | Saída |
|----------------------------------|---------------------|--|
| Produtos Químicos diversos | Preparação da Pasta | Resíduos de tintas e COV* |
| Cola permanente | Estampagem | Resíduos de tinta e cola |
| Pasta de estampar a base de água | Estampagem | Pasta residual |
| Energia | Secagem e Fixação | Calor residual |
| Água / Óleo diesel | Lavagem dos quadros | Efluente / Mistura de óleo diesel, tintas e COV* |

* Os COV (compostos orgânicos voláteis) são produzidos somente nas estampas feitas a base de plastisol.

Identificação de Aspectos Ambientais

Segundo o apresentado no Quadro 14, os aspectos ambientais observados são: consumo de água, energia, produtos químicos e geração de poluentes.

A água para a lavagem dos quadros de estampagem é captada da rede pública. A empresa usa um lavador pressurizado o que potencializa a lavagem.

O consumo de energia elétrica ocorre devido às operações de secagem e fixação. Na etapa de secagem se verificou que cada mesa possui um total de 12 berços. O fornecimento de energia é feito por mesa, ou seja, ligando a mesa, todos os berços são ativados, o que pode gerar um desperdício de energia quando a mesa não é totalmente preenchida. O dono da empresa manifestou que nas operações diárias, se tenta minimizar o uso de energia usando todos os berços já para estampar ou para fazer amostras de estampas.

Em relação ao consumo de produtos químicos, como a tinta ou pasta de estampar, evidenciaram-se desperdícios devido às falhas na manipulação e armazenagem, bem como ao descuido por parte dos operadores. O empreendedor manifestou sua preocupação pela perda destes produtos, indicando que antigamente se dava maior atenção a esse problema

evitando a secagem ou contaminação dos mesmos. Devido a mudanças de funcionários essa prática deixou de ser realizada.

Verificou-se que durante o processo de estampagem, em várias oportunidades, o quadro com pasta descansa ao ar livre enquanto são realizadas outras atividades como secagem ou alterações na pasta. Durante épocas quentes, é muito comum que as pastas a base de água sequem e entupam o quadro, obrigando o operador a tirar a tinta seca, lavar o quadro e usar mais tinta para continuar o trabalho. Atualmente os resíduos sólidos de tintas e pastas são dispostos em lixo comum.

A lavagem dos quadros para estampas a base de plastisol é realizada usando óleo diesel, porém anteriormente se utilizava querosene. Atualmente a empresa usa um sistema de filtração para o óleo permitindo assim seu reaproveitamento. Finalmente, destaca-se que os empregados não usavam nenhum tipo de EPI (equipamento de proteção individual) para a manipulação de substâncias químicas sendo algumas irritantes à pele e outras emitem gases ao momento da secagem.

Proposição de Medidas de Produção mais Limpa

De acordo com os aspectos ambientais identificados e a revisão bibliográfica foram identificadas as medidas de P + L aplicáveis para esta estamperia, as que estão apresentadas no Quadro 15. Algumas das medidas apresentadas neste quadro já estão sendo aplicadas pela empresa Silk Mais e servem de referência para outras estamparias de porte e processo similar.

A seleção das medidas de P + L foi fundamentada na disponibilidade de produtos ecológicos e a boa qualidade do produto final.

Quadro 15: Identificação de medidas de P + L para a Estamparia Silk Mais (microporte)

| Aspecto Ambiental | Medida de P + L | Melhora Esperada |
|--|--|---|
| Consumo de energia nas mesas de estampagem | Instalação de um sistema de chaves de controle (interruptores), para ligar os berços segundo a demanda de estampagem. | Minimizar o uso de energia |
| Consumo de água | Instalação de lavador a pressão | Minimizar do uso de água |
| | Fazer remoção mecânica de pasta de utensílios para reúso | Reciclagem interna |
| | Usar sobras para fazer tintas pretas | Reciclagem interna |
| | Usar armários fechados para o repouso dos quadros de estampagem durante o processo. O armário deverá conter uréia ou algum material que impeça a secagem da pasta. | Minimizar os resíduos de pasta |
| | Armazenar e criar manual de procedimento para a preparação da pasta a fim de evitar que ela se estrague. | Minimizar os resíduos de pasta |
| Consumo de tintas e pastas de estampar | Substituição de plastisol atual por um plastisol isento de solventes e ftálicos | Minimizar a poluição dos efluentes, proteger a saúde dos trabalhadores, minimizar a emissão de COV. |
| | Limpar com panos a superfície das telas e baldes antes de lavar com solvente. | Minimizar o efluente |
| | Reciclagem do solvente através de um sistema de filtração do mesmo | Reciclagem interna |
| Uso de óleo diesel | Procurar um fornecedor ou reciclador para recolher o solvente usado e substituí-lo. | Reciclagem externa |
| | Substituir por limpadores a base de água | Minimizar a emissão de COV |

5.2.4. Produção e Tratamento de efluentes

Os efluentes produzidos são provenientes da lavagem dos utensílios e os quadros usados no processo. O volume de efluente gerado é de 2 m³/dia. A lavagem dos quadros usados na estampagem com tintas a base de água é feita com água e detergente comum, enquanto a lavagem dos quadros usados para realizar estampas feitas com plastisol é feita com óleo diesel (solvente). O óleo usado é filtrado para depois ser recirculado.



Figura 11: Lavagem dos materiais usados no processo de estampagem

Durante a presente pesquisa, a estação de tratamento de efluentes foi implementada e entrou em operação. O tratamento baseou-se no método físico-químico de coagulação- floculação e é realizado em bateladas, segundo o seguinte diagrama contido na Figura 12:

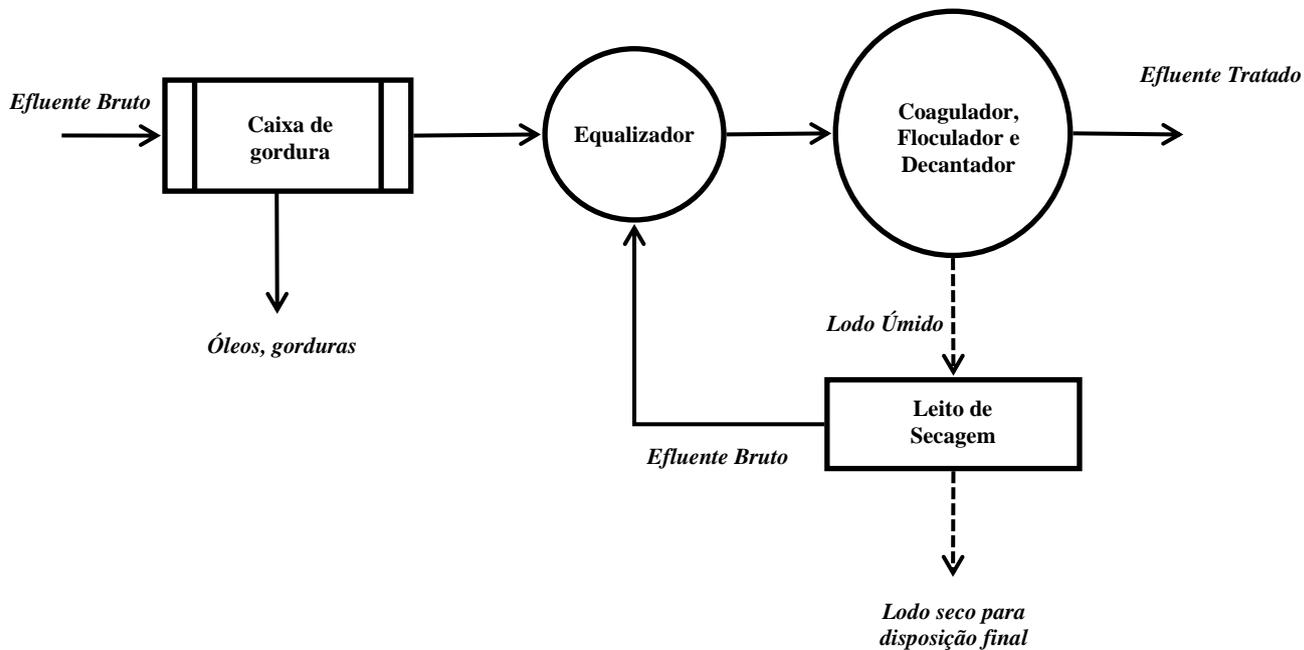


Figura 12: Fluxograma do Tratamento de Efluentes Industriais da Estamparia Silk Mais

5.2.5. Situação ambiental da Empresa

Durante a realização desta pesquisa, a empresa Silk Mais implantou o sistema de tratamento de efluentes. A empresa possui a licença ambiental preliminar (LAP) e a licença ambiental de implantação (LAI) emitidos pela FATMA. O passo seguinte consistirá na obtenção da licença de operação (LAO), que será concedida quando o sistema de tratamento de efluentes esteja funcionando com a eficiência exigida. O custo total do para a obtenção das 3 licenças é de R\$ 6.396,94.



Figura 13: Estação de tratamento em fase de implantação da Estamparia Silk Mais

O empreendedor manifestou seu descontentamento em relação ao trabalho da FATMA. O pagamento das licenças não incluiu nenhum tipo de apoio técnico sobre o tratamento que devia ser usado. Assim, ele teve que contratar um consultor ambiental para o desenvolvimento do projeto.

5.2.6. Otimização do Tratamento

Características da amostra

Todas as amostras apresentaram forte coloração e partículas suspensas. Os resultados da caracterização do efluente bruto são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Caracterização do efluente bruto da Estamparia Silk Mais

| Parâmetro | Amostra 1 07/08/2009 | Amostra 2 28/08/2009 | Amostra 3 24/10/2009 |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| pH | 6,16 | 7,15 | 7,12 |
| Turbidez (NTU) | 344 | 438 | 426 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 518 | 2.680 | 1.537 |
| Sólidos em suspensão (mg/L) | 70 | 2.020 | 1.075 |
| Cor aparente (Pt –Co) | 2.400 | 27.300 | 24.700 |
| Cor verdadeira (Pt –Co) | 1.120 | 840 | 268 |
| DQO (mg/L) | 960,6 | 7.370,5 | 1.426 |
| DBO (mg/L) | 110 | 110 | 95 |
| DBO / DQO | 0,11 | 0,01 | 0,06 |

Diferente dos efluentes de outros processos têxteis como tinturaria, engomagem, lavagem, mercerização, entre outros, o efluente de estamparia possui baixa biodegradabilidade, devido à variedade de produtos químicos usados. Isto é verificado na Tabela 7, onde as relações DBO/DQO apresentadas são muito baixas. Relações DBO/DQO dessa ordem indicam o tratamento físico-químico como o mais adequado.

Os valores altos de cor verdadeira ocorrem devido aos pigmentos usados no processo de estampagem. Também se verificou valores altos de sólidos suspensos devido à diversidade de pastas empregadas.

Concentração ótima de cal (pH ótimo)

O estudo iniciou-se usando 500 mL da amostra 1 do efluente bruto. Foi fixada a concentração de sulfato de alumínio em 500 mg/L, para esta quantidade de sulfato foram testadas diferentes concentrações de cal. Os resultados são apresentados na Figura 14 e na Tabela 17 (Apêndice 3).

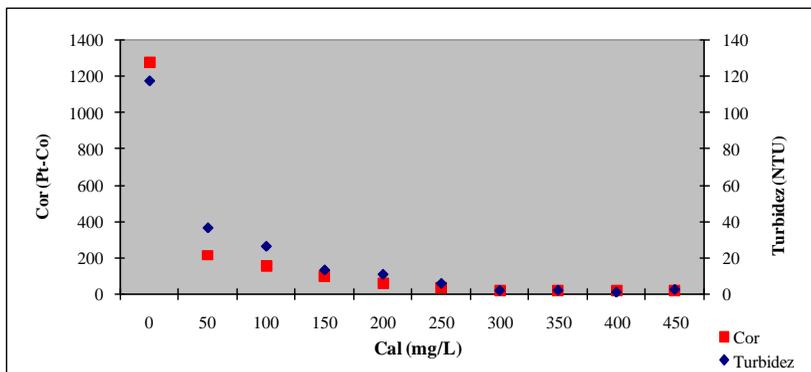


Figura 14: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de cal (0-450 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio

A partir da Figura 14, pode-se observar que os valores de cor e turbidez diminuíram com o aumento da concentração de cal. Como acima de 200 mg/L a eficiência do processo melhorou muito, se realizou outro ensaio com a cal na faixa de 200 – 400 mg/L usando a amostra 2 de efluente bruto. Os resultados são apresentados na Figura 15 e na Tabela 18 (Apêndice 3).

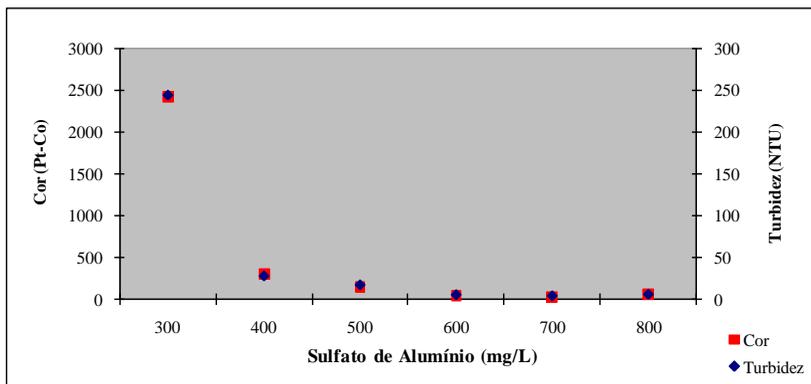


Figura 15: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de cal (200-400 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio

Os melhores resultados de turbidez, cor e DQO foram obtidos com uma concentração de 300 mg/L de cal. O pH ótimo de coagulação foi de 6,72. Segundo Di Bernardo (2002), para a ótima formação de flocos e

remoção de poluentes, é importante encontrar o pH ótimo de coagulação, que segundo os autores, esta na faixa de 5 – 7.

Os resultados encontrados por Kawamura (1996) coincidem, sugerindo que o pH ótimo para o sulfato esta em torno de 6 a 7, sendo esta uma faixa efetiva para a floculação.

Concentração ótima de sulfato de alumínio

Hassemer (2000) sugere que para as estações de tratamento de efluentes têxteis as dosagens de sulfato de alumínio podem variar de 500 a 2000 mg/L. Ensaio realizados por Moares e Sbardelott (2008) indicaram que uma concentração de 400 mg/L de sulfato de alumínio é suficiente para a remoção de turbidez em efluentes de estamparias.

Usando a amostra 3 de efluente bruto fixou-se a cal em 300 mg/L e variou-se o sulfato de alumínio na faixa de 300 a 800 mg/L. Os resultados de pH, turbidez, cor e DQO obtidos são apresentados na Tabela 19 (Apêndice 3), e na Figura 16 a seguir:

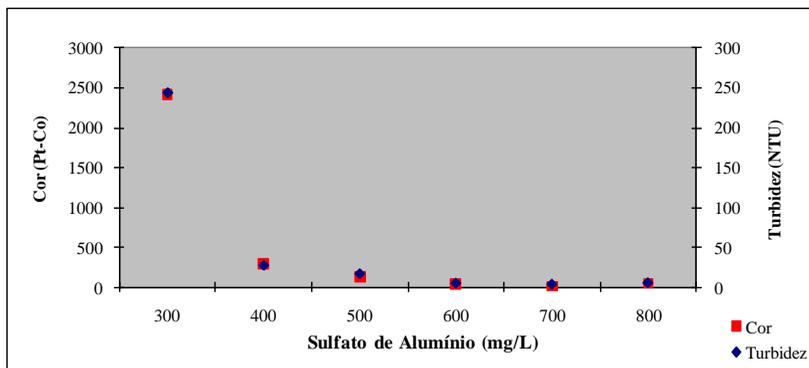


Figura 16: Resultados de cor e turbidez usando diferentes concentrações de sulfato de alumínio (300-800mg/L) e 300 mg/L de cal

Como pode ser verificado na Figura 16, o melhor resultado foi encontrado usando 700 mg/L de sulfato de alumínio e 300 mg/L de cal, o que corresponde a valores de 6,81 de pH, 3,70 de turbidez, 15 Pt-Co de cor, 285 mg/L de DQO e 42 mg/L de DBO. Estes parâmetros estão dentro dos limites solicitados pela legislação ambiental do Estado de Santa Catarina.

Estudos similares realizados por Hassemer (2000) investigaram o tratamento de efluentes têxteis por coagulação – floculação usando sulfato de alumínio, cal e polímero. As dosagens ótimas encontradas foram 500 mg/L de sulfato de alumínio, 600 e 300 mg/L de cal e 0,45 mg/L de polímero. Assim, os valores encontrados na presente pesquisa se encontram próximos aos mencionados por esta autora.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, a estamparia Silk Mais implantou a estação de tratamento, usando as seguintes concentrações de produtos, conforme demonstra a Tabela 8.

Tabela 8: Concentrações de cal e sulfato de alumínio usadas na estamparia Silk Mais e otimizadas em laboratório na presente pesquisa

| Amostra | Cal (mg/L) | Sulfato de alumínio (mg/L) |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Efluente da estação de tratamento | 1.300 | 2.292 |
| Concentração ótima - Laboratório | 300 | 700 |

Como pode ser observado na Tabela 8, as concentrações usadas de cal e sulfato pela empresa são mais que o triplo que as concentrações ótimas encontradas em laboratório.

O efluente à saída da estação de tratamento foi coletado e analisado. Os resultados das análises foram comparados com os resultados obtidos em laboratório usando a concentração ótima encontrada:

Tabela 9: Efluente tratado na estação de tratamento e em laboratório

| Parâmetro | Estação | Laboratório |
|------------------|----------------|--------------------|
| pH | 6,34 | 6,81 |
| Turbidez (NTU) | 4,46 | 3,70 |
| Cor (Co-Pt) | 9 | 15 |
| DQO (mg/L) | 314 | 285 |

Como pode ser observado na tabela anterior, a qualidade do efluente tratado pela empresa possui características similares ao efluente tratado em laboratório. Além da avaliação dos parâmetros mencionados, também foram realizados testes toxicológicos para as duas amostras. Os resultados encontram-se na Tabela 10:

Tabela 10: Toxicidade aguda com *Daphnia Magna* depois de 48 horas de exposição

| Amostra | FD* | FD (limite máximo, Portaria 017/02; FATMA, 2002) |
|--|------------|---|
| Efluente da estação de tratamento | 4 | 2 |
| Laboratório: 300 mg/L de cal e 700 mg/L de sulfato de alumínio | 1 | 2 |

**Fator de diluição sem efeito*

Os testes toxicológicos demonstraram que os efluentes da estação de tratamento apresentaram valores maiores ao limite máximo permissível e, portanto, quando lançados aos cursos d'água podem causar impactos aos organismos vivos. Como as amostras possuem características físico-químicas similares, a diferença nos efeitos tóxicos pode ser devido ao uso em excesso da cal e sulfato de alumínio na estação de tratamento, provocando um efeito tóxico pelo excedente de produto químico na água.

A amostra tratada no laboratório usando as concentrações ótimas não apresentou nenhum efeito tóxico sobre os organismos-testes. Portanto usando 300 mg/L de cal e 700 mg/L de sulfato de alumínio, o efluente de estamparias de microporte está de acordo com a legislação ambiental e pode ser lançado aos cursos d'água.

5.2.7. Cálculo dos Custos de Tratamento

Os custos de tratamento foram calculados usando os preços de compra atuais dos produtos químicos da empresa parceira. Os custos de tratamento para 1 m³ de efluente (1000 L) encontram-se descritos na Tabela 11 e na Tabela 12:

Tabela 11: Custos do tratamento para 1 m³ de efluente com as concentrações de reagentes utilizadas na *Silk Mais*

| Produto Químico | Consumo | Custo reagente (R\$) | Custo (R\$/m ³) |
|-------------------------|---------|----------------------|-----------------------------|
| Sulfato de Alumínio (L) | 3,5 | 1,44/L | 5,04 |
| Cal hidratada (kg) | 1,2 | 0,33/kg | 0,39 |
| Custo Total | | | 5,43 |

Tabela 12: Custos de tratamento para 1 m³ de efluente com as concentrações ótimas de reagentes encontradas em laboratório

| Produto Químico | Consumo | Custo reagente (R\$) | Custo (R\$/m ³) |
|-------------------------|---------|----------------------|-----------------------------|
| Sulfato de Alumínio (L) | 1,1 | 1,44/L | 1,52 |
| Cal hidratada (kg) | 0,3 | 0,33/kg | 0,09 |
| Custo Total | | | 1,62 |

Usando as dosagens ótimas encontradas (300 mg/L de cal e 700 mg/L de sulfato de alumínio) a empresa pouparia R\$ 3,81/m³, o que representaria R\$ 228 / mês.

5.3. RESULTADOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ESTAMPARIA CORES E TONS.

5.3.1. Dados Gerais da Empresa

Localizada no município de Guabiruba, a estamparia Cores e Tons, com 116 empregados, é uma empresa de porte médio segundo a classificação SEBRAE. A empresa tem uma área total de 10 000 m², está há 11 anos no mercado e é considerada a maior estamparia do Estado.

A empresa usa o estampado a rolo contínuo, contando com 4 máquinas rotativas em funcionamento e uma em processo de implementação. A empresa funciona 24 horas por dia, em 3 turnos, de segunda a sexta. A produção mensal aproximadas é de 750 toneladas de tela estampada/mês.

A empresa realiza um tipo de estamparia diferenciada, voltada às grandes indústrias nacionais e os produtos são geralmente de exportação. Devido a isso, os pigmentos e corantes usados são isentos de metais pesados e não possuem componentes azo. Cerca 90% das estampas são feitas usando pigmentos e somente 10% são feitas usando corantes. Entre os corantes usados tem-se: reativo, ácido, disperso e acrílico, sendo o primeiro o mais usado.

Os tecidos podem ser estampados até com 8 cores diferentes, dando ao cliente uma ampla gama de escolha quanto às cores e desenhos a usar.

Durante esta pesquisa a empresa se encontrava em ampliação tanto na capacidade de produção quanto na estação de tratamento de efluentes. A empresa conta com todas as licenças ambientais e recebe visitas mensais da FATMA.

5.3.2. Processo Produtivo

O processo produtivo está esquematizado na Figura 17.

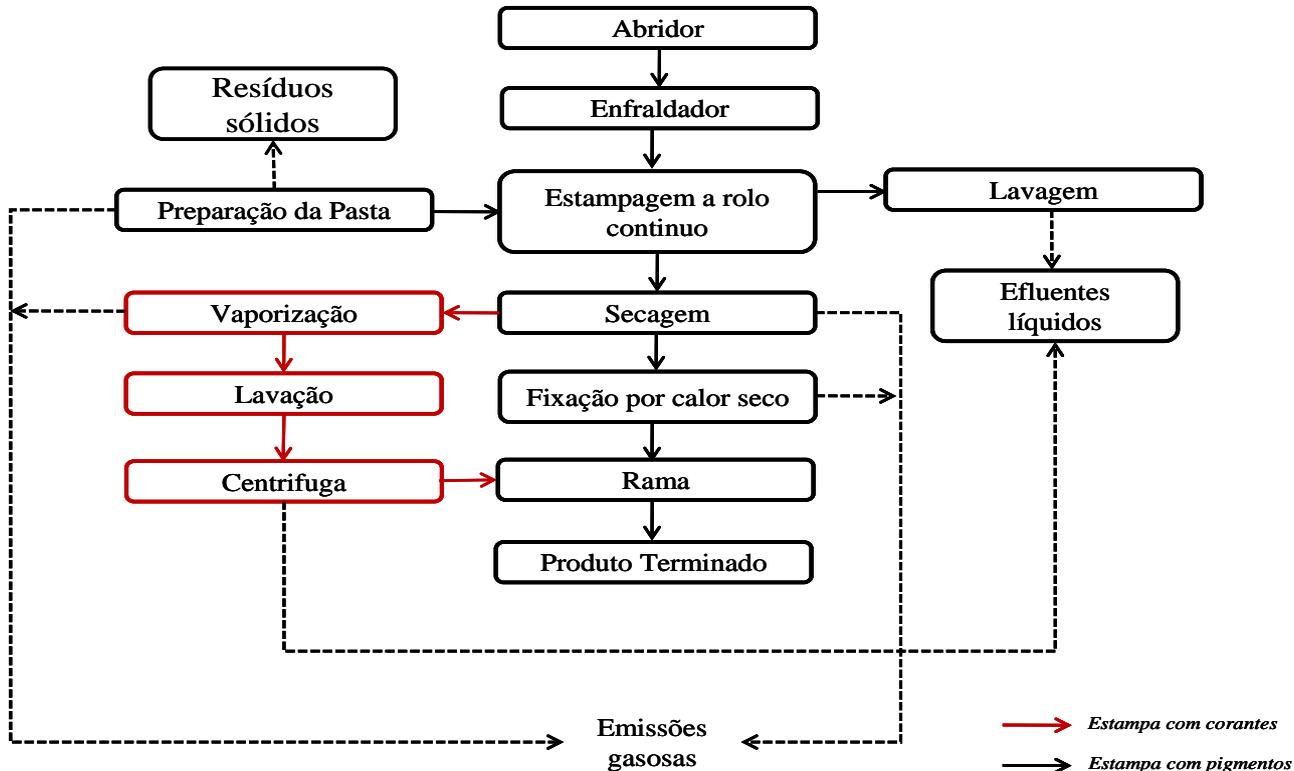


Figura 17: Fluxograma do Processo de Estampagem da Empresa Cores e Tons

As etapas consistem nas seguintes atividades:

a) Abridor:

Abre as malhas do tecido que vem em malhar tubulares.

b) Enfraldador

A tela fornecida pelo cliente é preparada para entrar nos cilindros de estampagens em forma de fraldas.

c) Preparação da Pasta

A empresa Cores e Tons possui uma área especial para a preparação da pasta de estampar. Diferente da estamparia Silk Mais, a *Cores e Tons* cria sua própria formulação adquirindo individualmente cada componente da pasta. Como são usadas muitas técnicas de estampagem a formulação da pasta varia de acordo com o tipo de estampa, sendo as mais usadas as estampas com pigmentos e corantes reativos.

d) Estampagem

O tecido sem estampar é colado na correia de estampar da máquina que passa através dos cilindros de estampar. A tinta contida nos cilindros é injetada sob pressão sobre o tecido, passando através da tela e imprimindo, assim, diferentes desenhos. Para cada cor é usado um cilindro. O produto químico usado para colar a tela na máquina é o álcool polivinílico dissolvido, o qual é retirado com água sob pressão uma vez que a tela foi estampada. Após a estampagem, o restante da pasta é retirada dos cilindros e armazenada. Dependendo do tipo da pasta usada, esta pode ser reusada ou disposta no aterro industrial.

Uma vez estampada a peça, vai para a etapa de secagem.

e) Secagem

Após a estampagem, a secagem previne o escorrimento da pasta. A secagem é feita numa estufa a gás, onde as temperaturas utilizadas variam em função do tipo de tinta (com pigmento ou corante).

f) Fixação em calor seco

Esta etapa tem por objetivo a fixação de pigmentos à alta temperatura. Os pigmentos são colados à superfície da fibra por meio do ligante. Após a secagem o tecido vai passar por uma câmara aquecida a alta temperatura (150 – 200°C)

g) Fixação por vaporização

É o processo mais usado na fixação de corantes na estamperia. É usado vapor saturado de 100 a 102°C. O corante e os produtos químicos vão dissolver-se, as fibras vão inchar e vai ocorrer a fixação dos corantes.

h) Lavação

Depois da fixação por vaporização, as telas são lavadas com a finalidade de eliminar o espessante, os produtos auxiliares e o corante não fixado.

i) Centrífuga

A água incorporada no processo de lavação é retirada neste processo.

j) Rama

Este processo consiste em impor à malha um tratamento que é vital para prevenir futuras deformações. Neste processo, a malha é compactada até ao seu limite natural, de modo a que fique estabelecida a sua capacidade de não-deformação. A empresa Cores e Tons terceiriza este processo.

Depois da rama, a malha esta pronta para ser entregue ao cliente.

5.3.3. Produção mais Limpa

Para a identificação das medidas de P + L, primeiro foi desenvolvido o fluxograma do processo identificando às entradas e saídas (Figura 17). Depois, realizou-se a identificação dos aspectos ambientais e, finalmente, se propôs as medidas de P + L.

Avaliação de entradas e saídas

Foram identificadas todas as entradas e saídas para cada etapa do processo, segundo o apresentado no Quadro 16.

Quadro 16: Levantamento de entradas e saídas do processo produtivo da Estamperia Cores e Tons

| Entradas | Etapa | Saída |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|
| Produtos Químicos diversos | Preparação da Pasta | Resíduos de tintas |
| Pasta de estampar | Estampagem | Pasta residual / Efluente |
| Energia, vapor de água | Secagem, Vaporização | Calor residual |
| Água | Lavagem | Efluente |

Identificação de Aspectos Ambientais

Segundo o empreendedor, os aspectos ambientais mais preocupantes são a geração de resíduos sólidos (pastas, tintas) e o consumo de água para lavagem.

Devido aos altos custos de tratamento dos efluentes gerados, a direção da empresa decidiu aplicar medidas para minimizar a carga poluente e a vazão do efluente. Os diretores em colaboração com os trabalhadores programaram procedimentos para a recuperação das pastas de estampar e para a minimização do consumo de água.

A recuperação da pasta foi feita através da retirada manual dos cilindros e das tubulações usando uma espátula adaptada a esses equipamentos. Assim, as pastas recuperadas feitas com pigmentos são armazenadas e depois reusadas para elaborar a pasta preta, sendo reaproveitadas em sua totalidade. Por outro lado, as pastas a base de corantes são enviadas à empresa Rio Vivo para o tratamento final, pois não podem ser recuperadas.

Mediante a implementação deste procedimento recuperou-se 2.400 kilos de pasta mensal, o que representa para a empresa uma poupança de R\$ 50.000,00 por mês.



Figura 18: Recuperação e armazenamento de pastas de estampagem na Estamparia Cores e Tons.

Devido à menor quantidade de pasta residual nos cilindros e nas tubulações, o consumo de água também tornou-se menor. Para minimizar o consumo de água foi redimensionamento o gasto por lavagem de cilindro ou tubulação, e também se utilizou lavadores

pressurizados. Desta maneira, a empresa conseguiu diminuir os efluentes de 30 m³/h a 18 m³/h, o que representa uma poupança mensal no consumo de água potável de R\$ 5.800,00 por mês. Nesta avaliação não foram considerados a economia no uso de produtos químicos no tratamento de efluentes industriais.



Figura 19: Lavagem dos cilindros de estampagem na Estamparia Cores e Tons.

Proposição de Medidas de Produção mais Limpa

De acordo com os aspectos ambientais identificados e a revisão bibliográfica, foram identificadas as medidas de P + L aplicáveis para esta estampa e, os que estão apresentados no Quadro 17. Como foi comentado, algumas das medidas apresentadas neste quadro já estão sendo aplicadas pela empresa Cores e Tons e servem de referência para outras estamparias de porte e processo similar.

Quadro 17: Identificação de medidas de P + L para a Estamparia Cores e Tons (médio porte)

| Aspecto Ambiental | Medida de P + L | Melhora Esperada |
|--------------------------|--|---|
| Pasta de estampar | Estampagem primeiro de cores claras e fazer trabalhos similares ao mesmo tempo | Minimizar o resíduo |
| | Limpar os cilindros das tintas apenas quando se altera a cor ou quando há possibilidade de ressecamento da tinta. | Minimizar o resíduo |
| | Usar componentes (tubulações, bombas) de acordo com os requerimentos de estampagem. | Minimizar o resíduo |
| | Retirar manualmente a pasta de estampar das tubulações e dos cilindros. | Minimizar o resíduo e o consumo de água |
| | Recuperação das pastas feitas com pigmentos para fazer pastas pretas. | Reciclagem interna |
| | Usar corantes isentos de metais pesados e componente azo. | Minimização de poluentes |
| Consumo de água | Controle constante do <i>switch</i> de prendido/apagado da água de limpeza da correia de estampar. | Minimizar o consumo de água |
| | Automatizar o sistema de lavagem, conectando o prendido/apagado da água com o prendido/apagado da correia de estampar. | Minimizar o consumo de água |
| | Limpar com panos a superfície dos tanques e baldes antes de lavação. | Minimizar o consumo de água |
| | Tornar exclusivo determinadas prensas para tintas ou cores específicas, a fim de diminuir o número de limpezas requeridas. | Minimizar o consumo de água |
| | Reúso da água de lavagem da correia de estampar. | Reciclagem interna |

5.3.4. Produção e Tratamento de Efluentes

O efluente gerado é produto da lavagem: da correia da máquina de estampar, dos cilindros, das tubulações e dos tanques usados na preparação da pasta de estampar. No caso da estampagem com corante, o efluente adicionalmente é composto pela água proveniente da lavagem do tecido estampado (Figura 17). O efluente caracteriza-se por seu alto valor de DQO e forte coloração predominando cores fortes como preto, vermelho e azul.

No momento da pesquisa, a empresa se encontrava em fase de implantação de uma nova estação de tratamento de efluentes devido à ampliação da capacidade de produção. A empresa planeja reusar o efluente tratado para a lavagem de pisos e tanques. Para o reúso deste efluente, a empresa solicita como características, que a água tratada seja límpida e cristalina. Ao término desta pesquisa, o efluente tratado na empresa ainda não podia ser reutilizado, pois possuía intensa cor residual.

A estação de tratamento foi projetada para tratar 30 m³/hora de efluente, mas devido à aplicação de medidas de P + L a vazão diminuiu a 18 m³/hora. O processo de tratamento é descrito com detalhes a seguir.

O efluente ingressa por uma grade onde são retidos sólidos maiores ou resíduos grossos de tela. Imediatamente depois passa através de uma peneira onde são retidos sólidos menores, que poderiam afetar o tratamento subsequente.



Figura 20: Grade inclinada de limpeza manual da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons.



Figura 21: Peneira automática da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons.

Após passar pela peneira, o efluente entra a um tanque equalizador com a finalidade de homogeneizar a carga e a vazão. Depois, passa através de um coagulador-floculador. Durante o percurso deste sistema é adicionado sulfato de alumínio líquido, soda caustica e finalmente polímero floculante. Posteriormente, o efluente entra num sedimentador onde os flocs formados decantam.



Figura 22: Tanque sedimentador da estação de tratamento da Estamparia Cores e Tons.

A água livre de sedimentos passa pelos filtros de areia e carvão, que têm a finalidade de reter sólidos menores e remover a cor residual.

Segundo a empresa que projetou a estação, a água da saída dos filtros deveria estar apta para reúso, mas na prática se verificou que os filtros se saturam rapidamente, razão pela qual não estavam sendo usados em forma contínua.

A água tratada vai para um córrego próximo afluente ao Rio Guabiruba. Por exigência da FATMA, a empresa Cores e Tons possui um plano para instalar 850 metros de tubulação que descarregará o efluente tratado diretamente no Rio Guabiruba.

O lodo úmido vai para uma prensa onde é adicionado floculante. Este processo aumenta a porcentagem de sólidos secos no lodo a aproximadamente 30%. O efluente desta unidade retorna ao tanque de equalização. O lodo com baixa umidade é armazenado para depois ser disposto em um aterro industrial. A quantidade de lodo produzido diariamente é de 7 toneladas métricas (t).

Durante a realização desta pesquisa, a empresa não possuía um procedimento de tratamento padrão e estava testando sulfato de alumínio e PAC como coagulantes e polímero aniônico como floculante. Também estava avaliando o uso de descolorante. A finalidade destes testes eram encontrar um equilíbrio entre eficiência e custos de tratamento. O fornecedor manifestou que os custos de tratamento do efluente são de aproximadamente R\$ 60.000 por mês, envolvendo mão-de-obra, custos com produtos químicos, transporte e disposição do lodo.

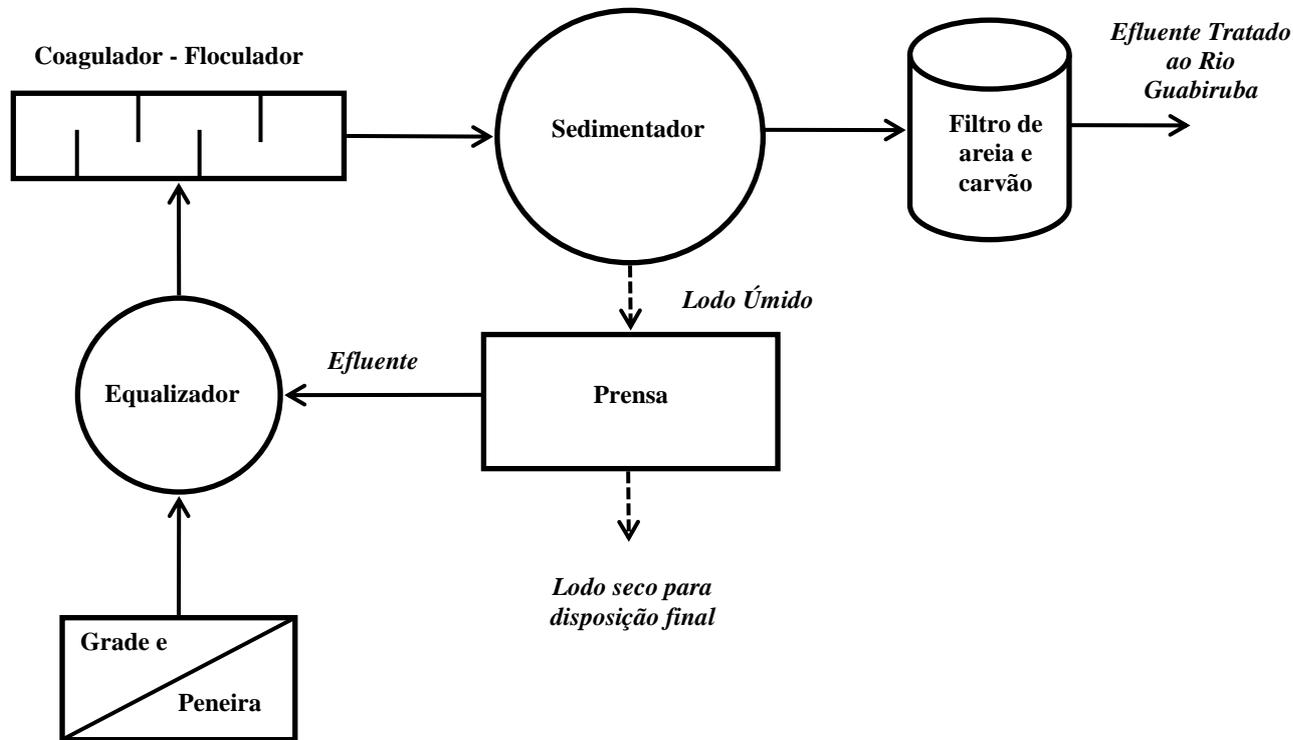


Figura 23: Tratamento de Efluentes da Estamparia Cores e Tons

5.3.5. Otimização do Tratamento

Características da amostra:

Todas as amostras apresentaram forte coloração e partículas suspensas. Os resultados alcançados podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13: Caracterização do efluente bruto da Estamparia Cores e Tons

| Parâmetro | Amostra 1 10/07/2009 | Amostra 2 29/10/2009 | Amostra 3 17/02/2010 |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Coloração | Avermelhada | Avermelhada | Avermelhada |
| pH | 7,15 | 8,84 | 7,29 |
| Turbidez (NTU) | 620 | 701 | 763 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 2.500 | 3.200 | 3.414 |
| Sólidos em suspensão (mg/L) | 986 | 1.057 | 1.860 |
| Cor aparente (Pt –Co) | 9.160 | 7.020 | 2.540 |
| Cor verdadeira (Pt –Co) | 1.216 | 860 | 22 |
| DQO (mg/L) | 1.319,8 | 570,7 | 1.744,4 |
| DBO (mg/L) | 130 | 110 | 80,5 |
| DBO / DQO | 0,09 | 0,21 | 0,046 |

Observa-se que os valores de pH se encontram numa faixa de 7 – 9, próximo à faixa neutra de pH. Os valores de DQO variam na faixa de 507, 7 mg/L a 1.744,4 mg/L devido ao tipo de estampas produzidas (pigmentos ou corantes).

Os valores de cor aparente são menores em comparação aos valores da estamparia Silk Mais, o que poderia ser explicado em razão do efluente da estamparia rotativa ser composto por água da lavagem de cilindros e utensílios e também por água da lavagem da correia de estampar, cujo componente principal é cola. Assim, esta água não apresenta cor, diluindo o efluente final. Os valores de DBO das duas estamparias são similares, confirmando assim a baixa degradabilidade do efluente de estamparias.

Concentração ótima de sulfato de alumínio

Todos os ensaios descritos a seguir foram realizados usando a amostra 3 de efluente bruto. A Tabela 20 (Apêndice 4) e a Figura 24 mostram os resultados de cor, turbidez e DQO do efluente tratado com diferentes concentrações de sulfato de alumínio.

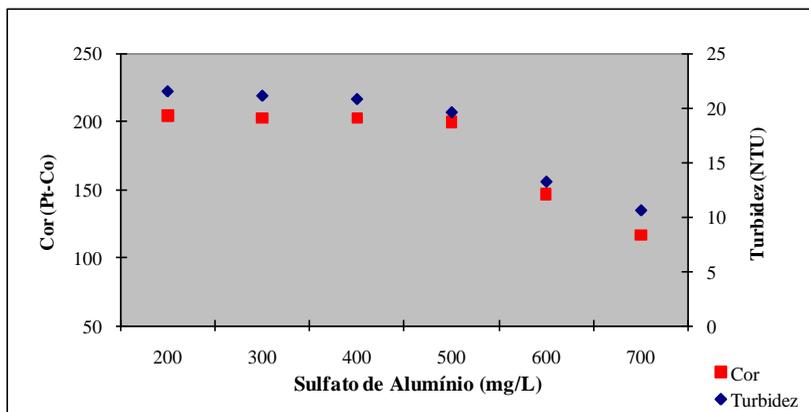


Figura 24: Resultados de cor e turbidez para diferentes concentrações de sulfato de alumínio

Na Figura 24, observa-se que os menores valores de cor (117 Pt-Co), turbidez (10,7 NTU) e DQO (376,6 mg/L) foram encontrados utilizando-se 700 mg/L de sulfato de alumínio. Esta dosagem ótima é igual à encontrada anteriormente para a estamperia Silk Mais (Figura 16).

A legislação ambiental brasileira representada pela Lei 14675 do Estado de Santa Catarina e pelas Resoluções CONAMA 357 e 397, não determinam limites em relação aos parâmetros de cor, turbidez e DQO. Embora esta legislação não apresente valores limites para a cor, segundo empregados de *Cores e Tons*, a FATMA de Blumenau exige que o efluente tenha valores menores 300 Pt-Co de cor (medição realizada num espectrofotômetro HACH usando 455 nm de comprimento de onda).

A DBO do efluente tratado com 700 mg/L de sulfato foi de 31 mg/L. Este valor atende a Lei Estadual 14675 que estipula um valor máximo de 60 mg/L ou 80% de eficiência de remoção. Este efluente também não apresentou nenhum efeito tóxico sobre os organismos-testes.

Conclui-se, portanto, que o efluente tratado com 700 mg/L de sulfato de alumínio cumpre a legislação ambiental vigente para seu lançamento no rio, no entanto como é verificado na Figura 26 , o efluente tratado ainda possui cor residual visível e não pode ser reusado.

Concentração ótima de policloreto de alumínio (PAC)

A Tabela 21 (Apêndice 4) e a Figura 25 apresentam os valores de cor, turbidez e DQO do efluente tratado com diferentes concentrações de PAC.

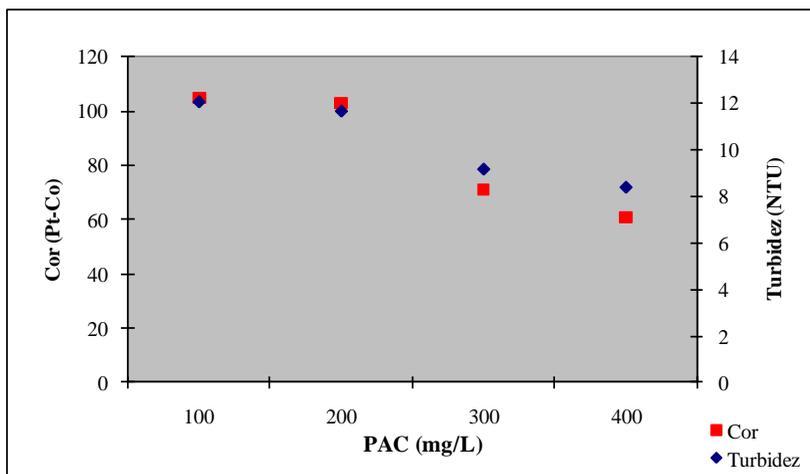


Figura 25: Resultados de cor e turbidez para diferentes concentrações de PAC

Na Figura 25 se observa que a melhor dosagem de PAC encontrada foi de 400 mg/L, obtendo-se um efluente com 61 Pt-Co de cor, 8,42 NTU de turbidez e 354,7 mg/L de DQO. Como é observado na Figura 26, o efluente tratado não possui cor visível e apresenta uma aparência límpida e cristalina, características ideais para seu reúso.

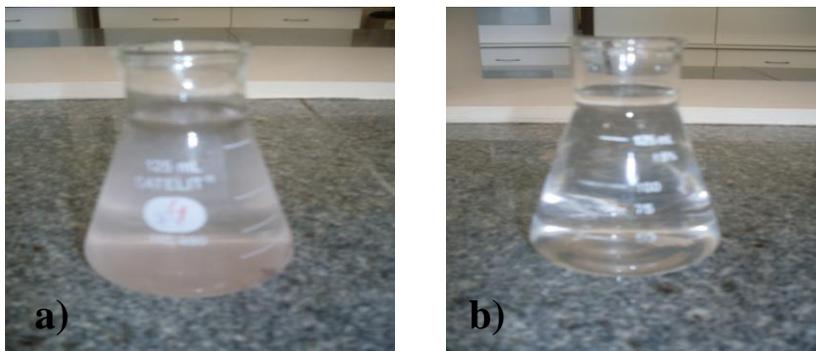


Figura 26: Efluente tratado com a) 700 mg/L de sulfato de alumínio e b) 400 mg/L de PAC

A DBO do efluente tratado com 400 mg/L de PAC foi de 11 mg/L. Este valor atende a Lei Estadual 14675 que estipula um valor máximo de 60 mg/L ou 80% de eficiência de remoção. O efluente tratado não apresentou nenhum efeito tóxico sobre os organismos-teste.

Conclui-se que com a utilização de 400 mg/L de PAC, obtêm-se um efluente apto para seu lançamento no rio e por apresentar valores baixos de cor (61 Pt-Co) e turbidez (8,42 NTU), ele possui características para reúso.

Comparativo das eficiências de remoção entre o sulfato de alumínio e o PAC

Dos resultados obtidos anteriormente, foram comparadas as eficiências de remoção do sulfato de alumínio e PAC, obtendo-se os seguintes gráficos:

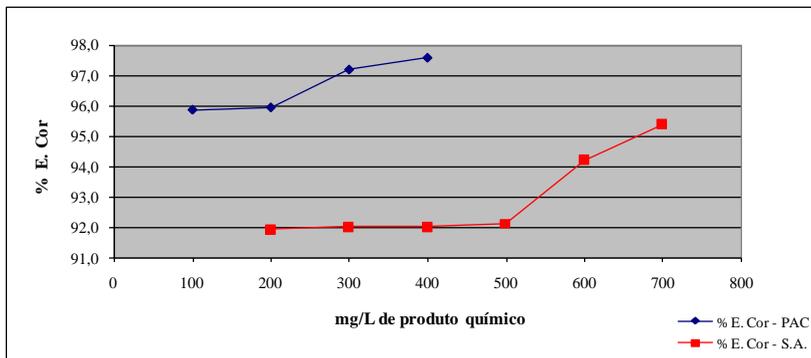


Figura 27: Comparativo de eficiências de remoção de cor usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC.

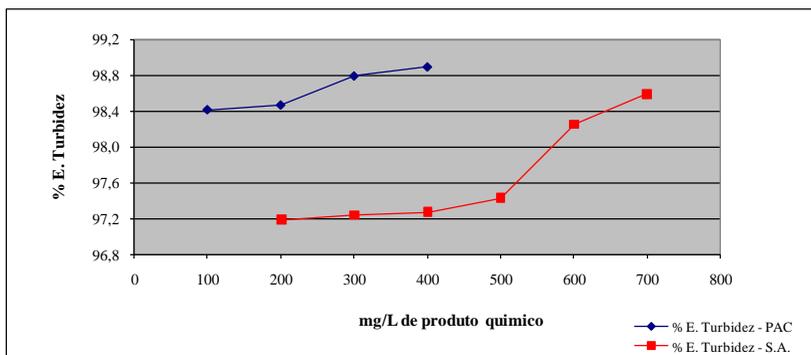


Figura 28: Comparativo de eficiências de remoção de turbidez usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC

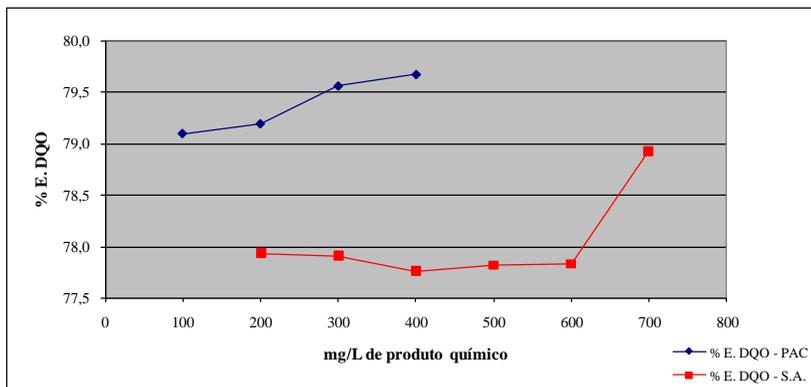


Figura 29: Comparativo de eficiências de remoção de DQO usando sulfato de alumínio (S.A.) e PAC

As melhores eficiências de remoção foram encontradas quando se utilizou 400 mg/L de PAC: 97,6% para a cor, 98,9% para a turbidez e 79,7% para a DQO.

Como pode ser observado na Figura 27, Figura 28 e na Figura 29, as eficiências de remoção dos parâmetros analisados usando PAC são ligeiramente maiores que as de sulfato de alumínio. Estas diferenças nas eficiências de remoção em todos os casos não são maiores que 10%.

Andrade (2003) avaliou a remoção de cor de um efluente têxtil comparando sulfato de alumínio e PAC. Para ambos coagulantes a faixa de avaliação foi de 300 – 1300 mg/L. A melhor concentração encontrada para os produtos foi de 1300 mg/L, obtendo-se uma remoção de cor de 96% (69 Pt-Co) com o uso de PAC e 88,1% (205 Pt-Co) empregando-se o sulfato de alumínio.

Comparando-se os valores descritos na Tabela 20 e Tabela 21 (Apêndice 4), concluiu-se que 100 mg/L de PAC permite a obtenção de um efluente com cor e DQO ligeiramente menores que aquele obtido com 700 mg/L de sulfato de alumínio. Assim, o PAC apresenta uma melhor eficiência de remoção que o sulfato de alumínio mesmo em baixas concentrações.

As melhores eficiências de tratamento foram obtidas com sulfato de alumínio e PAC nas concentrações de 700 mg/L e 400 mg/L, respectivamente. Os efluentes obtidos nestas condições estão de acordo

com os padrões de lançamento da Lei Estadual 14675 e as Resoluções CONAMA 357 e 397. No entanto, para fins de reúso, a concentração de 400 mg/L de PAC resultou em um efluente com menor concentração de cor.

5.3.6. Cálculo dos Custos de Tratamento

A seguir é descrito o cálculo dos custos dos produtos químicos para o efluente tratado com as dosagens ótimas encontradas e o cálculo do custo de transporte e disposição de lodo.

Custos dos produtos químicos usando 700 mg/L de sulfato de alumínio e 400 mg/L de PAC

Considerando as condições ótimas encontradas (700 mg/L de sulfato de alumínio e 400 mg/L de PAC), foram calculados os custos de tratamento. Para o cálculo dos mesmos foi considerado os custos unitários dos produtos químicos descritos na Tabela 5, uma base de 1000 L de efluente tratado (1 m³) e foi desconsiderado os custos do gasto de NaOH pois os valores são muito baixos e não modificam significativamente a somatória dos custos totais.

Tabela 14: Cálculo dos custos de tratamento usando 700 mg/L de sulfato de alumínio e 400 mg/L de PAC para 1 m³ de efluente tratado

| Item | Produtos Químicos | Conc. | Quant. | Custo Unitário (R\$/kg) | Custo Total (R\$) |
|--------------------------------|----------------------------|----------|--------|-------------------------|-------------------|
| Ensaio com Sulfato de Alumínio | Sulfato de Alumínio a 50% | 700 mg/L | 0,7 kg | 0,4 | 0,28 |
| | 0,01% de floculante FX AS6 | 1 mL/L | 1 L | 10 | 0,001 |
| Ensaio com PAC | PAC a 18% | 400 mg/L | 0,4 kg | 1,0 | 0,4 |
| | 0,01% de floculante FX AS6 | 1 mL/L | 1 L | 10 | 0,001 |

Os custos totais dos produtos químicos usando as dosagens ótimas encontradas: sulfato de alumínio (700 mg/L) e PAC (400 mg/L) são de R\$ 0,281/ m³ e R\$ 0,401/ m³ respectivamente. Por tanto usando 400

mg/L de PAC resulta em um custo adicional de R\$ 0,22/ m³ em relação ao uso de 700 mg/L de sulfato de alumínio.

Do cálculo dos custos totais apresentados, pode-se deduzir que o maior custo é devido aos coagulantes. A pequena quantidade usada de floculante FX AS6 (1 mL de FX AS6/L de efluente tratado, a uma concentração de 0,01%) não incrementa significativamente os custos totais.

Custos do transporte e disposição de lodo.

Os cálculos das quantidades de lodo produzidas usando as concentrações ótimas (700 mg/L de sulfato de alumínio e 400 mg/L de PAC) estão detalhadas no Apêndice 5.

A Tabela 15 a seguir apresenta os custos totais de tratamento, que é a somatória dos custos dos produtos químicos mais os custos de transporte e disposição de lodo para cada concentração ótima encontrada.

Tabela 15: Custos totais do tratamento de efluentes *Cores e Tons*

| Produto Químico | Custo de produtos químicos (R\$/dia) | Custo de disposição de lodo (R\$/dia) | Custo Total (R\$/dia) | Custo Unitário (R\$/m³) |
|--------------------------------|---|--|------------------------------|---|
| Sulfato de Alumínio (700 mg/L) | 121,0 | 745,7 | 866,7 | 2,0 |
| PAC (400 mg/L) | 172,8 | 671,1 | 843,9 | 1,9 |

Da Tabela 15 pode-se deduzir que:

- o custo do PAC é maior que o do sulfato de alumínio e;
- o custo do transporte e disposição de lodo representa 86,0% do custo total do tratamento com sulfato de alumínio e, 79,5% do tratamento com PAC.

Pela última razão exposta, o menor custo de tratamento é obtido usando 400 mg/L de PAC que corresponde a R\$ 1,9 / m³ de efluente tratado.

Atualmente a *Cores e Tons* possui captações de água de poço e de rio.

A água de poço é usada diretamente no laboratório para a fabricação de tintas e nas caldeiras que produzem vapor para a termofixação dos corantes. O custo de captação desta água é mínimo, pois não é cobrado pela captação de água subterrânea e esta água, por ser de boa qualidade, é usada diretamente no processo. Os custos com o uso desta água são relativos apenas à energia usada no bombeamento.

A água de rio passa por um processo simples de tratamento que consiste em coagulação-floculação com sulfato de alumínio e decantação. A água, uma vez potabilizada é usada na lavagem dos cilindros e tanques. A captação desta água também não é cobrada e os custos envolvidos correspondem ao tratamento e à energia. Segundo o proprietário da empresa, o custo deste tratamento é de aproximadamente R\$ 0,15 / m³. A empresa *Cores e Tons* planeja diminuir o consumo de água de rio reusando o efluente tratado.

A Tabela 16 resume as concentrações ótimas encontradas para cada estampanaria, assim como os custos de tratamento.

Tabela 16: Resultados das dosagens ótimas encontradas, eficiências de remoção e custos de tratamento, das estampanarias *Silk Mais* e *Cores e Tons*

| Item | Estampanaria Silk Mais | Estampanaria Cores e Tons |
|--|---|--------------------------------------|
| Dosagens ótimas | 300 mg/L de cal e 700 mg/L de Sulfato de alumínio | 400 mg/L de PAC |
| % Remoção de cor | 99,9% | 97,6% |
| % Remoção de turbidez | 99,1% | 98,9% |
| % Remoção de DQO | 79,9% | 79,7% |
| % Remoção de DBO | 55,8% | 87,0% |
| Custo de Tratamento (R\$/m ³) | 1,6 | 1,9 |

A seguir são apresentadas as conclusões, recomendações e considerações finais da presente pesquisa.

6. CONCLUSÕES

Brusque é a cidade com maior atividade industrial no vale do rio Itajaí e o rio Itajaí Mirim é o principal rio desta cidade. A maior atividade industrial de Brusque e Guabiruba é o setor têxtil e dentro deste setor, destaca-se a indústria de estamparia.

A partir do levantamento feito nas estamparias de Brusque e Guabiruba conclui-se que:

- A maioria de estamparias é de micro ou pequeno porte com menos de 100 empregados e áreas menores a 3.000 m²,
- A maioria usa a técnica a quadro plano e tintas a base de água,
- A maioria de estamparias usa pigmentos. Só foi identificada uma estamparia que usa corante,
- A ausência de fiscalização por parte das prefeituras e da FATMA permite o crescimento de indústrias clandestinas, que por sua vez operam sem alvará de funcionamento e não dispõem de licença ambiental. Das 70 estamparias encontradas em ambos os municípios, apenas 33 possuem alvará de funcionamento. Assume-se que um número menor conta com o devido licenciamento ambiental,
- Há uma grande deficiência destas empresas no que tange o tratamento de efluentes industriais. Das 23 estamparias contatadas em ambos os municípios, só 7 possuem tratamento, sendo que as 16 estamparias restantes não possuem tratamento ou possuem diversos tratamentos deficientes.

Nestes pólos têxteis, o uso de práticas ecológicas como reúso de água e uso de produtos ecológicos e biodegradáveis, ainda é pequeno. Apenas duas estamparias utilizam técnicas de reúso e adquirem produtos ecológicos. A fiscalização da FATMA é insuficiente, contando com 5 funcionários na área técnica para a supervisão de 12 municípios, e foca-se nas indústrias de maior porte. De acordo com os donos de pequenas e microestamparias, a fiscalização e o apoio da FATMA são quase inexistentes. Já as estamparias de médio porte comentaram que há supervisão mensal do seu tratamento pelo órgão fiscalizador.

Para melhor compreensão, as conclusões relativas às duas estamparias são apresentadas separadamente.

Estamparia de microporte: Silk Mais

Foram identificadas diversas medidas de P +L aplicáveis as estamparias de micro e pequeno porte e algumas já aplicadas nesta estamparia. As medidas principais de P + L identificadas foram: 1) uso de um lavador pressurizado para a diminuição do consumo de água de lavagem, 2) reutilização do solvente (óleo diesel) usado na lavagem dos quadros 3) reúso da pasta residual para fazer pasta preta e 4) minimização do consumo de energia através da instalação de um sistema de chaves de controle (interruptores), para ligar os berços segundo a demanda de estampagem.

Devido ao tipo de produtos químicos usados, conclui-se que as estampas a base de água são menos agressivas ao meio ambiente que as de plastisol, pois geram um efluente mais biodegradável e não produzem COV.

O efluente bruto caracteriza-se por seus altos valores de cor (27.300 Pt-Co), DQO (7.370,5 mg/L) e sólidos totais (2.680 mg/L). Devido às baixas relações de DBO/DQO encontradas, conclui-se que o efluente é pouco biodegradável, sendo indicado o seu tratamento por processo físico-químico.

As concentrações ótimas encontradas foram 300 mg/L de cal e 700 mg/L de sulfato de alumínio, obtendo-se um efluente com 15 Pt-Co de cor, 3,70 NTU de turbidez, 285 mg/L de DQO e 42 mg/L de DBO. Os ensaios de toxicidade aguda foram negativos. Conclui-se que usando as concentrações mencionadas é possível tratar os efluentes de estamparias de micro e pequeno porte, cumprindo a legislação ambiental pertinente. A minimização do uso de cal e sulfato de alumínio proposta representa uma poupança mensal de R\$ 288 à estamparia.

O tratamento por coagulação-floculação revela-se como adequado para as estamparias de micro e pequeno porte devido a sua boa eficiência de remoção e capacidade de tratar baixos volumes de efluente.

Estamparia de médio porte: Cores e Tons

Também foram identificadas diversas medidas de P +L aplicáveis as estamparias de médio porte: 1) a reutilização da pasta de imprimir feita com pigmentos, 2) a minimização do consumo de água, 3) Tornar exclusivo determinadas prensas para tintas ou cores específicas e 4) reusar a água de lavagem da correia de impressão.

As duas primeiras medidas de P+L já são utilizadas e permite a *Cores e Tons* recuperar 2.400 kg/mês de pasta, o que representa uma poupança de R\$ 50.000/mês e diminuir o consumo de água de 30 m³/hora a 18 m³/hora o que representa R\$ 5.800/mês.

A caracterização do efluente de *Cores e Tons* apresentou valores menores de DQO (1.744,4 mg/L) e cor aparente (2.540 Pt-Co) em relação à estamparia Silk Mais. Também foram encontradas baixas relações DBO/DQO, confirmando a natureza pouco biodegradável do efluente.

Dos coagulantes e concentrações avaliadas, o melhor resultado obtido foi com 400 mg/L de PAC, que resultou em um efluente com 61 Pt-Co de cor, 8,42 NTU de turbidez 354,7 mg/L de DQO e 11 mg/L de DBO. Os testes de toxicidade aguda foram negativos. Este efluente atendeu plenamente a legislação ambiental pertinente.

Os custos totais de tratamento para as dosagens ótimas encontradas de sulfato de alumínio e PAC foram R\$ 2,0/m³ e R\$ 1,9/m³ respectivamente. Como o PAC produz menos quantidade de lodo, usando-se 400 mg/L deste produto, os gastos de transporte e disposição de lodo corresponde a 79,5% do custo total envolvido, enquanto que para os 700 mg/L de sulfato de alumínio esta porcentagem é 86%.

Por tanto, conclui-se que o uso de 400 mg/L de PAC leva a melhores resultados de eficiência e custos de tratamento.

Conclui-se que é tecnicamente viável o tratamento de efluentes de estamparias de médio porte mediante coagulação-floculação, obtendo-se um efluente que tanto pode ser lançado no meio ambiente quanto utilizado para reúso.

7. RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para minimizar a carga poluente dos efluentes de estamparias, recomenda-se que as mesmas considerem no planejamento dos desenhos, além da qualidade e custos envolvidos no processo, os danos ambientais, fazendo uma seleção dos insumos e de cores através das técnicas de P + L. É recomendável o uso de matérias-primas com um mínimo impacto ao meio ambiente e que prevejam a reciclagem dos produtos, não alterando a qualidade nem o custo do produto final. Além disso, deve ser considerado a aplicação das medidas de P + L no processo produtivo.

Recomenda-se a elaboração de uma legislação específica que regule o uso de alguns produtos químicos usados na indústria têxtil, como é o caso de formaldeído, corantes, uso de solventes, etc., pois muitos deles são nocivos a saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Também há uma lacuna na legislação em relação a valores limites de emissão de COV.

A prefeitura de Brusque e Guabiruba deveriam atuar de maneira mais ativa, subsidiando a fiscalização das estamparias, atualizando os cadastros e posteriormente realizando campanhas para a regularização das demais estamparias clandestinas.

Futuros trabalhos poderiam pesquisar o tratamento biológico ou tratamento combinado biológico e físico-químico para os efluentes das estamparias de médio porte, buscando reduzir a produção de lodo e, conseqüentemente, seus custos de disposição.

O governo federal deve implantar medidas para incentivar o reúso de água por parte das indústrias, como cobrar pelo uso de água, como sugestão do Comitê de Bacias Hidrográficas da Região do Alto Vale do Itajaí.

8. BIBLIOGRAFIA

A INDÚSTRIA têxtil nacional Disponível em: <http://brasilatual.com.br/sistema/?page_id=87>. Acesso em: 21 nov. 2008

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A Química do processamento têxtil**. Química Nova, São Paulo, n. 19, p.320-330, 19 out. 1995. 3.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, Kirk M.. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **Journal Awwa**, Pittsburgh, p. 210-216. 6 abr. 1982.

ANDRADE, Flávio de. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico**. 2003. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ARAÚJO, Mario de; CASTRO, E. M. de Melo. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Gráfica da Coimbra, 1984. 2 v.

AWWA. Coagulation Committee report. Coagulation as an integrated water treatment process. **J. Am. Water Wks Assoc.**, v. 81, n. 10, p. 72-78, 1989.

BAPTISTA, Ivana Eunice. **Avaliação da toxicidade de efluentes gerados em uma indústria têxtil catarinense**. 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Florianópolis, 2000.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.792 p.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo Luiz. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos de Tratamento de Água**. São Carlos: Rima, 2002. 237 p.

BRUSQUE. Prefeitura Municipal de Brusque. **Seção de Desenvolvimento Econômico**. Disponível em: <www.pnbrusque.com.br>. Acesso em: 06 nov. 2008.

BRUSQUE. Prefeitura de Brusque. **A cidade de Brusque**: Perfil da cidade. Disponível em: <<http://www.brusque.sc.gov.br/web/index.php>>. Acesso em: 04 jun. 2008.

CARREIRA, M. F. **Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis – uma análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na península Ibérica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2006.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS -CNTL (Brasil). **Como implementar a produção mais Limpa**. Disponível em: <<http://www.senairs.org.br/cntl/>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB . **Treinamento prático especializado: testes de toxicidade com organismos aquáticos de águas continentais**. São Paulo, Brasil, 220 p., 1988.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento. **Resolução 003/2008**, de 29 de abril de 2008. Disponível em: <www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>. Acesso em 22 dez. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA N° 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões

de lançamento de efluentes. Resolução 397, de 3 de abril de 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legi.cfm>> Acesso em 04 fev 2009

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>. Acesso em 12 dez. 2008.

DANTAS, Tirzhá Lins Porto. **Descomposição de Peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente modificado**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Química, Departamento de Engenharia. Química e Engenharia. de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DINAMARCA. European Ippc Bureau And Twg Textile. Danish Environmental Protection Agency. **Danish experience: Best Available Techniques - BAT - in the clothing and textile industry**. Disponível em: <<http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-009-0/pdf/87-7972-010-2.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2009.

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

FIEC - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARA (Ceara). **Jornal da Fiec: Números atestam potencial do setor**. Disponível em: <<http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/1102/default.asp?URL=4>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

FIESC - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SANTA CATARINA (Santa Catarina). **Santa Catarina em Dados**. Disponível em: <<http://www.fiescnet.com.br/>>. Acesso em: 23 jul. 2009.

FLORIANÓPOLIS. Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina. **Corantes e Pigmentos: A química nas Cores**. Disponível em:

<<http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/dye/corantes.html>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

FURLAN, Franciele Regina. **Avaliação da Eficiência do Processo de Coagulação-Floculação e Adsorção no Tratamento de Efluentes Têxteis**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Química, Departamento de Eng. Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GOLOB, Vera; VINDER, Aleksandra; SIMONIC, Marjana. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. **Dyes And Pigments**, Slovenia, p. 93-95. 12 maio 2005. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/dyepig>. Acesso em: 16 jul. 2010.

GUABIRUBA. Prefeitura de Guabiruba. X. **O município de Guabiruba**: Disponível em: <<http://www.guabiruba.sc.gov.br/home/#>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

GUARATINI, Claudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B.. Corantes Têxteis. **Quimica Nova**, São Paulo, v. 1, n. 23, p.71-78, 31 mar. 1999.

HASSEMER, Maria Eliza Nagel. **Tratamento de efluente têxtil - Processo físico - químico com ozônio e floculação em meio granular**. 2000. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

HENDRICKX, Ilde; BOARDMAN, Gregory. **Pollution Prevention studies in the textile wet processing industry**. Disponível em: <<http://www.p2pays.org/ref/01/00469.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2010.

IRLANDA. Environmental Protection Agency. **BAT Guidance Note: Best Available Techniques for the Textile Processing Sector**. Disponível em: <www.epa.ie>. Acesso em: 06 out. 2009.

JOO, Duk Jong et al. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymers. **Dyes And Pigments**, Korea, p. 59-64. 15 dez. 2005. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/dyepig>. Acesso em: 07 jun. 2008.

KAWAMURA, S. Optimisation of Basic Water – Treatment Process – Design and Operation: Coagulation and Flocculation. **Water Science and Technology**.

KIM, Dong Seog; PARK, Young Seek. Comparison study of dyestuff wastewater treatment by the coupled photocatalytic oxidation and biofilm process. **Chemical Engineering Journal**, Korea, p. 256-263. 01 jun. 2008.

LAITANO, K. S.; MATIAS WG . **Teste de Toxicidade com Daphnia magna: Uma Ferramenta para Avaliação de um Reator Experimental UASB**. Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 43-47, 2006.

LU, Xujie et al. Reuse of printing and dyeing wastewater in processes assessed by pilot-scale test using combined biological process and sub filter technology. **Journal Of Cleaner Production**, Zhejinag Province, p. 111-114. 21 abr. 2008. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jclepro. Acesso em: 16 jul. 2010.

METCALF E EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. New York: McGraw Hill. 2003. 1818 p.

MINELLA, Letícia. **Índice da Qualidade da Água ao longo de rios e ribeirões - Município de Brusque**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MOARES, Barbara; SBARDELOTT, Mykaella. **Tratamento de Efluentes de uma Indústria Têxtil: Ramo Estamparias**. 2008. 132 f. Tcc (Eng. Ambiental) – Curso de Eng. Ambiental, Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

NUNES, Jose Alves. **Tratamento Físico-Químico de águas Residuárias Industriais**. 5. ed. Sergipe: Info Graphics Gráfica & Editora Ltda., 2008. 315 p.

OEKO TEX (Brasil). **Valores Limite para produtos quimicos perigosos na Indústria Têxtil**. Disponível em: <http://www.oeko-tex.com/OekoTex100_PUBLIC/index.asp>. Acesso em: 03 fev. 2010.

PENG, G.; ROBERTS, J. C. **Solubility and toxicity of resin acids.** Water Research, 34 (10): 2779-2785, 2000.

PIMENTA, Handson Cláudio Dias. **A produção mais Limpa como ferramenta em busca da sustentabilidade empresarial: um estudo de múltiplos casos em empresas do estado do rio grande do norte.** 2008. 189 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia da Produção, Departamento de Engenharia da Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2008.

QUADROS, Marina Eller et al. **Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares.** Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 30, n. , p.38-52, jun. 2009. 3.

REDE BRASILEIRA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA. **Guia da Produção Mais Limpa:** Faça você mesmo. Disponível em: <<http://www.pmaisl.com.br/publicacoes.asp>>. Acesso em: 13 fev. 2009.

RIFFEL, Eduardo; BEAUMORD, Antonio. **Caracterização Ambiental do Rio Itajaí - Mirim e seus tributários, no município de Brusque, SC.** 2003. 59 f. Tcc (Eng. Ambiental) - Curso de Eng. Ambiental, Departamento de Tecnologias da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2003.

SANTA CATARINA. Fundação de Meio Ambiente. **Portaria N° 024/79:** Enquadra os cursos d'água do Estado de Santa Catarina.. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?i dEmpresa=29&idMenu=584&idMenuPai=501>. Acesso em: 07 jun. 2009.

SANTA CATARINA. Fundação de Meio Ambiente. **DECRETO N° 14.250, DE 5 DE JUNHO DE 1981.** Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/abredoc.asp?caminho=http://www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/docs/legislacao_estadual/decreto_14250.doc>. Acesso em: 19 dez. 2008.

SANTA CATARINA. Fundação de Meio Ambiente. **Portaria n° 041/07 – FATMA de 18.06.2007.** Disponível em:

<http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=188>. Acesso em: 31 mar. 2010.

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente. Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. **Portaria Nº 017/02**, de 18 de abril de 2002. Disponível em: <www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>. Acesso em 16 nov. 2008.

SANTA CATARINA. Fundação de Meio Ambiente. **Lei 14.675 de 13 de abril de 2009**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Disponível em: <http://www.sc.gov.br/downloads/Lei_14675.pdf>. Acesso em 02 set 2009.

SANTOJANNI, A.; GORBI, G.; SARTORE, F. **Prediction of Mortality in Chronic Toxicity Tests on Daphnia magna**. Water Research, 29 (6): 1453-1459, 1995.

SARASA et al. Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation. **Water Research**, Zaragoza, Espanha, v. 32, n. 9, p.2721-2727, jan. 1998.

SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO – SEMAE (Brusque). **Controle de Qualidade: 2009**. Disponível em: <<http://www.samaebru.com.br/>>. Acesso em: 17 fev. 2009.

SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA, SANEAMENTO BÁSICO E INFRA-ESTRUTURA - SEMASA (Itajaí). **Sobre o Semasa: Histórico**. Disponível em:<www.semasa-itajai.com.br/?modo=sobre>. Acesso em: 8 jun. 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI (Brasil). **Uréia na estamperia corrida**. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 15 out. 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI.RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI RS/UNIDO/INEP, 42 P. IL, 2003.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA - SEBRAE (Santa Catarina). **Crítérios de Classificação das Empresas - ME - EPP**. Disponível em: <<http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154&%5E%5E>>. Acesso em: 8 jun. 2009.

SILFVERBERG, Erik et al. **Best available techniques (BAT) for the printing industry**. Copenhagen: Ekpressern Tryk & Kopicenter, 1998. 197 p.

SINTEQUÍMICA DO BRASIL LTDA (Brasil). **Inovações na estampania com pigmentos**. Disponível em: <<http://www.sintequimica.com.br/cms/texto4.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2010.

SINTEQUÍMICA DO BRASIL LTDA (Brasil). **Uso correto de amaciantes e fixadores na estampania têxtil com pigmentos**. Disponível em: <<http://www.sintequimica.com.br/cms/texto5.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2009.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 11. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2002. 108 p.

TSDESIGNS (Usa). **Print Technology: Ink Composition**. Disponível em: <<http://tsdesigns.com/products/print-technology/>>. Acesso em: 16 jul. 2009.

USA. American Public Association. **Standard Methods for the examination of water & wastewater**. 21. ed. Washintong, Dc: Joint Editorial Board, 2005.

USA. Epa's Department Of Toxic Substances Control. **Alternative low-VOC, low toxicity cleanup solvents for the screen printing industry**. Disponível em: <<http://www.westp2net.org/irta/screen.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2009.

USA. United States Environmental Protection Agency. **Resource Conservation and Recovery Act**. Disponível em: <www.epa.gov/osw>. Acesso em: 06 jul. 2009.

ZAMORA, Patricio Peralta; MORAI, Josmaria Lopes de. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. **Journal Of Hazardous Material**, Curitiba, p. 181-186. 04 maio 2005. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhazmat>. Acesso em: 16 jul. 2010.

9. APÊNDICE

Apêndice 1– Questionário aplicado as estamparias de Brusque e Guabiruba

ESTAMPARIA

1. EMPRESA

Nome:

Endereço:

Telefone da empresa:

Nome da pessoa de contato:

Número de Trabalhadores:

Área da empresa (m²):

Media de estampas mensais:

2. PROCESO PRODUTIVO

Tipo de estamparia (rolo ou quadro).

Tintas usadas: base de água, solvente (marcas, cores).

Tipos de solventes usados. Existe recuperação do solvente?

Quais são os produtos auxiliares? Nomes e marcas? Uso de Plastisol?

Descrição da preparação da pasta para estampar.

Descrição do processo produtivo.

Fluxograma do Processo.

3. TRATAMENTO DE EFLUENTES

Possui tratamento de efluentes industriais?

Descrição do Tratamento.

Quais são os produtos químicos usados no tratamento de efluentes?

Qual é destino do efluente?

Produção de Lodos (m³):

Qual é o destino do Lodo?

Fluxograma do Tratamento.

4. PESQUISA

Possui licenciamento pela FATMA?

São realizadas inspeção pela FATMA?

Qual é o destino dos resíduos sólidos?

Possui interes de participar na pesquisa?

Apêndice 2– Estamparias identificadas em Brusque e Guabiruba

Quadro 18: Lista de Estamparias identificadas em Brusque

| Nº | ESTAMPARIA | FONTE |
|----|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2L Estamparia Ltda | Prefeitura |
| 2 | Art e Cor Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 3 | Atitude 435 Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 4 | Carlos Roberto Artioli | Prefeitura |
| 5 | Celso Manrich | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 6 | Cicero de Olivera | Prefeitura |
| 7 | Cliff Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 8 | Color Stamp Estamparias | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 9 | Confecção e estamparias Jody Ltda. | Prefeitura |
| 10 | Confecoos e Estamparia Vicores Ltda. | Prefeitura |
| 11 | Estamo Mega Stamp Transfer | Referencia de Terceiros |
| 12 | Estamparia Caini | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 13 | Estamparia Com. Conf. Marinei Ltda. | Prefeitura |
| 14 | Estamparia Edvan | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 15 | Estamparia Elmir | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 16 | Estamparia FC Ltda | Prefeitura |
| 17 | Estamparia Hot Stamp Ltda. | Prefeitura |
| 18 | Estamparia Kikanei | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 19 | Estamparia Kikinel | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 20 | Estamparia Kriakor | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 21 | Estamparia Neuro | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 22 | Estamparia Ômega | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 23 | Estamparia Oriente Ltda. | Prefeitura |
| 24 | Estamparia Paini | Prefeitura |
| 25 | Estamparia Silk Mais Ltda. | Prefeitura |
| 26 | Estamparia Wesklann | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 27 | Estamparias Rosin Ltda. | Prefeitura |
| 28 | Estamparias Santa Rita Ltda | Prefeitura |

| | | |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 29 | F2 Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 30 | Guara Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 31 | Guilherme Waldrich Waldrigues | Prefeitura |
| 32 | Hand Print Estamparias Ltda | Prefeitura |
| 33 | Incotec | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 34 | Jufalu Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 35 | L.A. Visconti & Cia Ltda. | Prefeitura |
| 36 | Lidia Dauer - ME | Prefeitura |
| 37 | Malhas Suavi Ltda Filial - 02 | Prefeitura |
| 38 | Marcio Almeida | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 39 | Mundial Cores | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 40 | Nelson Luiz Montibeller | Prefeitura |
| 41 | Ney Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 42 | Novagraf Quadros e Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 43 | On the beach | Referencia de Terceiros |
| 44 | Rogério Alaor Darossi | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 45 | SS Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 46 | Tinturaria e Estamparia Irmãos Hort | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 47 | TOP Estampas LTDA | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 48 | Vistacor Estamparia | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 49 | Viva Cor Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 50 | Vladir João Hodecker Zimmermann | Prefeitura |

Quadro 19: Lista de Estamparias identificadas em Guabiruba

| Nº | ESTAMPARIA | FONTE |
|-----------|--|-----------------------------------|
| 1 | Carlos Maffezzolli | Prefeitura |
| 2 | Cia da Estampa e Confecções Ltda. | Prefeitura |
| 3 | Designer Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 4 | Estamparia Aquarela Ltda. | Prefeitura |
| 5 | Estamparia Bósio | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 6 | Estamparia Cores e Tons | Prefeitura |
| 7 | Estamparia Hostein | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 8 | Estamparia JD Ltda. | Prefeitura |
| 9 | Estamparia Jota Clei | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 10 | Estamparia Manrich | Prefeitura |
| 11 | Estamparia Parma Ltda. | Prefeitura |
| 12 | Estamparia Santa Catarina | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 14 | Estamparias Imperatriz Ltda. | Prefeitura |
| 15 | Ester Estamparia Ltda. | Prefeitura |
| 16 | GBA Color Print | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 17 | Geraldo Kormmn ME | Listas telefônicas <i>on line</i> |
| 18 | Jean Pierre Dos Santos | Prefeitura |
| 19 | MT Estamparia e Indústria do Vestuário | Prefeitura |
| 20 | Zimmermann Ltda. | Prefeitura |

Apêndice 3 – Tabelas de resultados dos ensaios de otimização da Estamparia Silk Mais

Tabela 17: Resultados de cor, turbidez e DQO usando diferentes concentrações de cal (0-450 mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio

| Cal (mg/L) | Sulfato (mg/L) | pH final | Turbidez (NTU) | Cor (Pt-Co) | DQO (mg/L) |
|------------|----------------|----------|----------------|-------------|------------|
| 0 | 500 | 4,04 | 118 | 1280 | 416 |
| 50 | 500 | 4,20 | 36,8 | 218 | 134 |
| 100 | 500 | 4,35 | 26,6 | 158 | 119 |
| 150 | 500 | 5,04 | 13,5 | 102 | 45 |
| 200 | 500 | 5,16 | 11,1 | 63 | 57 |
| 250 | 500 | 6,67 | 6,06 | 37 | 77 |
| 300 | 500 | 8,97 | 2,18 | 23 | 61 |
| 350 | 500 | 9,51 | 2,29 | 24 | 109 |
| 400 | 500 | 10,17 | 1,21 | 23 | 72 |
| 450 | 500 | 10,68 | 2,74 | 21 | 72 |

Tabela 18: Resultados de cor, turbidez e DQO usando-se diferentes concentrações de cal (200-400mg/L) e 500 mg/L de sulfato de alumínio

| Cal (mg/L) | Sulfato (mg/L) | pH final | Turbidez (NTU) | Cor (Pt-Co) | DQO (mg/L) |
|------------|----------------|----------|----------------|-------------|------------|
| 200 | 500 | 5,47 | 49,3 | 451 | 649 |
| 250 | 500 | 5,78 | 13,1 | 131 | 551 |
| 300 | 500 | 6,72 | 6,94 | 73 | 582 |
| 350 | 500 | 6,54 | 13,9 | 136 | 584 |
| 400 | 500 | 6,12 | 24,3 | 254 | 589 |

Tabela 19: Resultados de cor, turbidez e DQO usando diferentes concentrações de sulfato de alumínio (300-800 mg/L) e 300 mg/L de cal

| Cal (mg/L) | Sulfato de Al (mg/L) | pH final | Turbidez (NTU) | Cor (Pt-Co) | DQO (mg/L) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 300 | 300 | 9,20 | 244 | 2420 | 617 |
| 300 | 400 | 9,09 | 27,5 | 295 | 361 |
| 300 | 500 | 8,42 | 16,9 | 137 | 348 |
| 300 | 600 | 7,66 | 5,10 | 37 | 323 |
| 300 | 700 | 6,81 | 3,70 | 15 | 285 |
| 300 | 800 | 5,82 | 5,60 | 50 | 334 |

Apêndice 4 – Tabelas de resultados dos ensaios de otimização da Estamparia Cores e Tons

Tabela 20: Resultados de cor, turbidez e DQO dos ensaios descritos na Tabela 2

| Ensaio | Cor (Pt-Co) | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) |
|--------|-------------|----------------|------------|
| 1 | 205 | 21,5 | 385,0 |
| 2 | 203 | 21,1 | 385,4 |
| 3 | 203 | 20,8 | 388,0 |
| 4 | 200 | 19,6 | 387,0 |
| 5 | 147 | 13,3 | 386,8 |
| 6 | 117 | 10,7 | 367,6 |

Tabela 21: Resultados de cor, turbidez e DQO dos ensaios descritos na Tabela 3

| Ensaio | Cor (Pt-Co) | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) |
|--------|-------------|----------------|------------|
| 1 | 105 | 12,1 | 364,7 |
| 2 | 103 | 11,7 | 363,0 |
| 3 | 71 | 9,2 | 356,6 |
| 4 | 61 | 8,42 | 354,7 |

Apêndice 5 – Detalhe do cálculo da quantidade de lodo produzida usando a) 700 mg/L de sulfato de alumínio e b) 400 mg/L de PAC

A) Cálculo da quantidade úmido de lodo produzido usando 700 mg/L de sulfato de alumínio.

Inicialmente foi calculada a quantidade de lodo seco produzida no tratamento usando 700 mg/L de sulfato de alumínio. Esta quantidade esta dada pela somatória dos sólidos removidos do efluente bruto e o precipitado (Al(OH)₃) formado. Os resultados são apresentados a seguir:

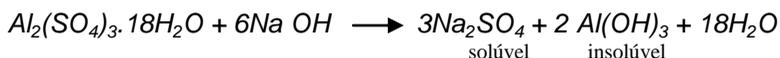
a) Quantidade de sólidos totais removidos do efluente bruto.

% de remoção de sólidos totais : 90%

Sólidos Totais do efluente bruto : 3.414 mg/L (Tabela 13)

A quantidade de sólidos totais removidos que fazem parte do lodo é:
 $0,9 * 3414 \text{ mg/L} = 3072,6 \text{ mg/L}$

b) Quantidade do precipitado insolúvel formado (Al(OH)₃) pela reação química entre o sulfato de alumínio e o hidróxido, segundo a seguinte reação:



As massas moleculares do sulfato de alumínio e hidróxido de alumínio são:

Al₂ (SO₄)₃.18 H₂O : 666,7 g/mol

Al(OH)₃ : 78 g/mol

De acordo com a relação estequiométrica, por cada mol de sulfato de alumínio é formado 2 moles de hidróxido de alumínio. Assim para 700 mg/L de sulfato de alumínio a quantidade de hidróxido de alumínio formada é:

666,7 g/mol de Al₂ (SO₄)₃.18 H₂O ----- 2 * 78 g/mol Al (OH)₃

700 mg/L de Al₂ (SO₄)₃.18 H₂O ----- X

$$X = \frac{700 \text{ mg/L de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O} * 2 * 78 \text{ g/mol Al(OH)}_3}{666,7 \text{ g/mol de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}}$$

$$X = 163,79 \text{ mg/L Al(OH)}_3$$

Por tanto, a quantidade total de lodo seco produzido é:

$$3072,6 \text{ mg/L} + 163,79 \text{ mg/L} = 3.236,39 \text{ mg/L}$$

Fazendo o cálculo para a vazão diária de efluente:

$$3.236,39 \text{ g/m}^3 * 18 \text{ m}^3/\text{hora} * 24 \text{ horas por dia} \\ = 1.398,12 \text{ kg de lodo seco/dia}$$

Como foi mencionado, o lodo úmido (à saída do decantador) passa por uma prensa onde é obtido aproximadamente 30% de sólidos secos no lodo. Por tanto a quantidade de sólidos secos calculados (1.398,12 kg de lodo seco/dia), representa esses 30% de sólidos no lodo, após da prensa. A quantidade total de lodo úmido com 30% de sólidos secos é:

| | | |
|-----------------------------|-------|--------------------|
| 0,3 sólidos secos | ----- | 1 kg de lodo úmido |
| 1398,12 kg de lodo seco/dia | ----- | X |

$$X = \frac{1.398,12 \text{ kg de lodo seco/dia} * 1 \text{ kg}}{0,3 \text{ sólidos secos}}$$

$$X = 4.660,4 \text{ kg ou } 4,6 \text{ toneladas de lodo úmido}$$

B) Cálculo da quantidade de lodo úmido produzido usando 400 mg/L de PAC

Assumindo que a quantidade do lodo úmido produzido usando 400 mg/L de PAC é 90% da quantidade de lodo produzida usando 700 mg/L de sulfato de alumínio:

| | |
|---|--------------|
| Lodo produzido com 700 mg/L de sulfato de alumínio: | 4.660,4 kg |
| Lodo produzido com 400 mg/L de PAC | : 4.194,4 kg |

10. ANEXOS

ACQUAFLOC 18 *COAGULANTE*

O Acquafloc 18 é um coagulante inorgânico prepolimerizado, estável e com degradabilidade comparável com coagulante orgânicos. É um coagulante catiônico de baixo peso molecular e características ácidas.

Fórmula Química: $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$

APLICAÇÕES

O produto pode ser utilizado em estações de tratamento de afluentes, efluentes industriais e processos industriais específicos.

Recomenda-se sempre realizar testes de bancada para verificar qual a melhor dosagem do coagulante. O produto pode ser utilizado puro ou em solução

MANUSEIO E ARMAZENAGEM

O produto é classificado como corrosivo, portanto devesse tomar os cuidados necessários para tais substâncias como o uso de EPI. O produto deve ser armazenado em local ventilado e fora do alcance de luz solar direta.

EMBALAGENS

Produto disponível em bombonas de 25, 30 e 50kg. Também pode ser comercializado em container de 1450kg. Para outras quantidades, consultar um representante Faxon.

POLIMEROS ANIONICOS

FLOCULANTES EM PO

DESCRIÇÃO

Polímeros fazem o agrupamento das partículas coloidais desestabilizadas em tamanho suficientemente grande para que ocorra sedimentação, induzindo a seu agrupamento.

As principais características são: compostos orgânicos; ionicidade específica; peso molecular muito baixo ou muito alto; disponíveis em pó ou emulsão.

COMPOSIÇÃO

Os floculantes são compostos orgânicos á base de poliacrilamidas que apresentam uma cadeia longa e linear.

| | | |
|-------------------------|--|--|
| Coloide instável | | APLICAÇÕES |
| Aglomeración « Pontes » | | O produto pode ser utilizado em tratamento de afluentes, efluentes industriais, compactação de lodos, equipamentos e procesos industriais específicos como |
| Formação de flocos | | |

produção de papel.

Equipamentos como prensas desaguadoras e centrifugas, utilizam polímeros em pequena quantidade para aumentar o teor seco do lodo. Em tratamentos, a aplicação se dá diretamente no afluente ou efluente, diminuindo o tempo de decantação, acelerando o processo e melhorando a eficácia.

As dosagens e tipo de polímero devem ser especificadas em testes de laboratório, verificando-se dosagens e carga aniônica necessária. A solução deve ser preparada em água, sob agitação mecânica ou com ar insuflado. Aconselha-se soluções de no mínimo 0,1% e no máximo de 0,5%, sendo estas utilizadas num período máximo de 2 dias. Esta recomendação se dá devido a hidrólise sofrida pela cadeia com o passar do tempo quando o produto encontra-se em solução; diminuindo gradativamente sua eficiência.

MANUSEIO E ARMAZENA GEM

O produto não é classificado como perigoso pela ONU, mas deve ser manuseado com os devidos cuidados a produtos químicos, uso de EPI.

O produto deve ser armazenado em local seco, ventilado e fora do alcance de luz solar direta. Caso o produto entre em contato com umidade, é sua característica solidificar, e torna-se de difícil dissolução. Soluções do produto tornam superfícies escorregadias.

EMBALAGENS

Produto disponível em sacos de 25 Kg.

PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

| Polímero | Anionicidade | Peso molecular | pH 5g/L | aspecto | Viscosidade Brookfield (cps) |
|----------|---|----------------|---------|-----------|------------------------------|
| NS 1 |  | Alto | 4 – 6 | Pó branco | 5g/L – 240 1g/L - 25 |
| NS2 | | Alto | 4 – 6 | Pó branco | 5g/L – 450 1g/L – 100 |
| AS5 | | Alto | 4 – 9 | Pó branco | 5g/L – 500 1g/L – 70 |
| AS 1 | | Alto | 4 – 9 | Pó branco | 5g/L – 950 1g/L – 150 |
| A23 | | Alto | 4 – 9 | Pó branco | 5g/L – 1600 1 g/L – 200 |
| AS6 | | Alto | 4 – 9 | Pó branco | 5g/L – 1800 1g/L – 300 |
| AS6H | | Muito alto | 4 – 9 | Pó branco | 5g/L – 2000 1g/L - 300 |

Químico Responsável: Fabiano Franco Chitolina CRQV n° 05402706

Faxon Química Ltda – Rua Lopes Trovão n°302 – Bairro Industrial –
 Novo Hamburgo/RS Fone (51)30364030 – www.faxon.com.br
faxon@faxon.com.br