

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA
E URBANISMO

REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE
EMBALAGENS PLÁSTICAS: ASPECTOS ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS EM MODELO DE ESCALA REAL

Angela Cristina Orsi Bordonalli

Campinas
2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

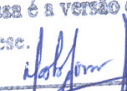
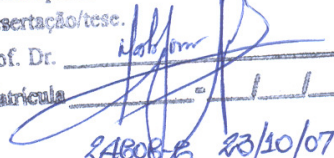
**REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE EMBALAGENS
PLÁSTICAS:ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS EM MODELO DE ESCALA
REAL**

Angela Cristina Orsi Bordonalli

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento e Ambiente.

Campinas/SP
2007

Atesto que esta é a versão definitiva da
dissertação/tese.
Prof. Dr. 
Matrícula 

24008-E 23/10/07

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

B644r Bordonalli, Angela Cristina Orsi
Reúso de água em indústria de reciclagem de
embalagens plásticas: aspectos econômicos e
ambientais em modelo de escala real / Angela
Cristina Orsi Bordonalli.--Campinas, SP: [s.n.],
2007.

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo.

1. Água - Reutilização. 2. Óleos lubrificantes.
3. Reciclagem - Indústria. 4. Plásticos - Indústria.
I. Mendes, Carlos Gomes da Nave. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III.
Título.

Título em Inglês: Water reuse on plastics recycling pack industry:
economical and enviromental aspects in real scale model
Palavras-chave em Inglês: Water reuse, Lubrificant oil, Plastics recycle
Área de concentração: Saneamento e Ambiente
Titulação: Doutor em Engenharia Civil
Banca examinadora: Letícia Peret Antunes Hardt, Denis Miguel Houston,
Rozely Ferreira dos Santos, Roberto Feijó de
Figueiredo
Data da defesa: 27/02/2007
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

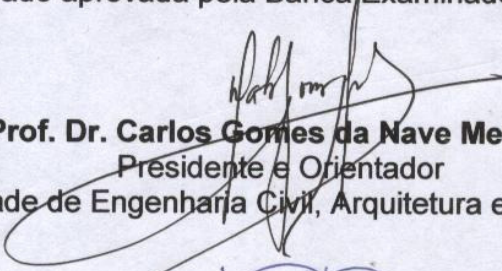
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA DE
RECICLAGEM DE EMBALAGENS PLÁSTICAS:
ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS EM MODELO DE
ESCALA REAL**

AUTORA: Angela Cristina Orsi Bordonalli

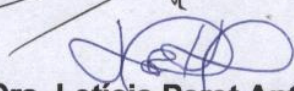
Tese de doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes

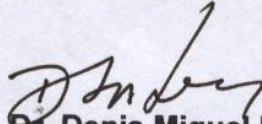
Presidente e Orientador

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo



Profa. Dra. Leticia Peret Antunes Hardt

Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Programa de Pós-Graduação em
Gestão Urbana – Pontifícia Universidade Católica do Paraná



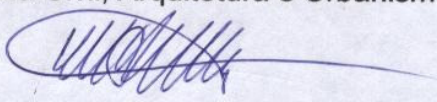
Prof. Dr. Denis Miguel Houston

Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP



Profa. Dra. Rozely Ferreira dos Santos

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP



Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP

Campinas, 27 de fevereiro de 2007

A Reinaldo T. Orsi, meu pai, que está passeando nos campos do Senhor, de quem herdei o amor pela Engenharia.

A Sérgio Bordonalli, meu marido, pelo amor, pela imensa paciência, por ter suportado minha longa ausência e por ter financiado grande parte deste trabalho.

RESUMO

A discussão acerca da viabilidade técnica, econômica e ambiental do reúso da água em processos industriais tem sido uma preocupação constante. Nesta tese propõe-se uma alternativa simplificada para o tratamento de efluentes visando seu reúso em uma indústria de reciclagem de plásticos. A água, no presente caso, é componente fundamental para o processo, já que participa como elemento de remoção de detritos e impurezas que contaminam a matriz da matéria-prima utilizada, proveniente, principalmente, de aterros sanitários e lixões. As embalagens plásticas recicladas pela empresa são, em sua grande maioria, de uso doméstico e, em menor escala, o uso de frascos contaminados com óleos lubrificantes. Os resultados demonstraram a viabilidade do tratamento através de processo físico-químico por coagulação, floculação, decantação e filtração em manta geotêxtil, com o uso do hidroxiclreto de alumínio (PAC) como coagulante, soda cáustica (50%) como alcalinizante e polieletrólito como auxiliar de floculação e de desidratação do lodo, bem como a exeqüibilidade do reúso dos efluentes em circuito totalmente fechado, demonstrando viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Palavras-chave: Reúso de água; Óleo Lubrificante; Reciclagem de plásticos.

ABSTRACT

The discussion about technical, economical and environmental feasibility of water reuse in industrial process has been a constant concern. This thesis purposes a simplified alternative for waste water treatment seeking reuse in a plastic recycle industry. The water, in this case, is a prime component because it is the main element for the debris and impurities removal that contaminates the matrix of the plastic raw material, which comes from, mostly, landfill and waste disposals.

The recycled plastic packages, from the company that had been used for this thesis, come mostly from domestic use and, in a minor scale, the plastic package contaminated by lubricant oil. The final results show feasible for the treatment through physical-chemical process by coagulation, flocculation, decantation and filtration on geotextile, with the use of aluminum hidroxichloride (PAC) as coagulant, sodium hydroxide as an alkaliner, polyelectrolyte as a auxiliary on flocculation and slush dehydration, as well as the workability of the effluents reuse under a fully close circuit proved itself the technical, economical and environmental feasibility.

Key-words: Water reuse; Lubricant Oil; Plastics recycle.

AGRADECIMENTOS

Concluir este doutoramento foi uma das mais árduas tarefas a que a vida me submeteu, senão pelas condições de estar fora de minha casa, mas, sobretudo, por não ter recebido financiamento de nenhum órgão de pesquisa, e pelo estafante trabalho de enfrentar as condições de uma pesquisa em escala real, quando se está sob o comando da empresa. Isto está muito longe da tranquilidade que um estudo em bancada de laboratório proporcionaria. Assim, agradeço imensamente ao Prof. Dr. Carlos Gomes, que não mediu esforços não apenas na orientação sempre inteligente, clara e precisa, mas principalmente na incansável busca por recursos financeiros tornando possível a caminhada para o final do trabalho.

Agradeço a gentileza da Pró-Reitoria de Pós-Graduação que nos **últimos seis meses** financiou o trabalho com uma bolsa de estudos.

A LABORMAX, na pessoa do Sr. Giuseppe Prior (proprietário), por ter “emprestado” a indústria possibilitando o desenvolvimento desta tese. E aos seus funcionários Sérgio Luiz Pinto e Etevaldo Nunes Rodrigues, pelo carinho e disponibilidade em todas as vezes em que necessitei de apoio.

A Profa. Letícia Peret Antunes Hardt, cujos caminhos me serviram de lição e nortearam toda a minha vida.

A Profa. Livre-Docente Rozely Ferreira dos Santos, um exemplo a ser seguido e admirado.

Ao meu irmão Dr. Raphael Cogo, por ter vivenciado a parte final deste trabalho e pela grandeza das tentativas de tornar-me calma.

À minha irmã Célia Regina Orsi e à minha mãe, pelo apoio incondicional.

À incansável amiga Alessandra Prata, por trazer-me luz quando acreditava estar vagando na escuridão.

À Rose Clayd A. Carneiro e César/Sílvia/Flávia Roman, pela amizade e amor que perduram, mesmo e apesar desta minha vida nômade.

À Zahra Chaudrhy Bet, pela amizade, pelo carinho, pela paciência, por tantas acolhidas e pelo infinito apoio.

A funcionária Miriam Beluci Miguel Luz, pela amizade e grandiosa compreensão acerca de tudo o que vivi durante a execução deste trabalho.

A Viviane Amo e Daniel Lopes dos Santos, amigos que adquiri ao longo desta jornada, por terem durante muitas e muitas vezes me ouvido e me aconselhado.

A Conceição Teixeira, Daniela Pires, Márcia Macedo e Pilar Contieri pela amizade, carinho e compreensão por todas as vezes que faltei por estar trabalhando nesta pesquisa.

Aos preciosos amigos Sérgio Soares e Naylson Maciel (Naná), amizades que o carrasco do tempo e a enorme distância não conseguiram apagar.

A Conceição Teixeira, Daniela Pires, Márcia Macedo e Pilar Contiere pela amizade, carinho e compreensão por todas as vezes que faltei por estar trabalhando nesta pesquisa.

Aos preciosos amigos Sérgio Soares e Naylson Maciel (Naná), amizade que o carrasco do tempo e a enorme distância não conseguiram apagar.

A Vanessa Lourenço (*in memorium*): *la tua vita ci hi lasciato troppo presto, mi manca tua amicizia e la tua luce.... grazie tante per essere stata insieme a me in questa tappa della mia vita.*

As carinhosas amizades de Renata, Anahy, Bruno, Mario, Milena, Débora, Magda, Maria de Lourdes, Ilze, Glória, Luzia e José Carlos, amigos do curso de italiano da USP/São Paulo, por terem tornado estes dois últimos anos mais leves e prazerosos.

Aos amigos Sebastião, Ariston (Stanley) e Eduardo pela amizade leve e engraçada enquanto tentavam amenizar minha caminhada pelo curso de Hidráulica.

Ao meu amigo Sinésio Scarabelo Filho, pela alegria e amizade, e por ter me ensinado que “a convicção de que a disposição e a disponibilidade necessárias para que qualquer tarefa seja realizada são requisitos que dependem menos do executor e mais das circunstâncias que o cercam, ou das condições criadas por aqueles que o cercam”.

Aos meus sogros José Maria Bordonalli e Vera Salem, pela compreensão de minhas ausências.

A todos os professores pelos ensinamentos e atenção no esclarecimento de todas as minhas dúvidas.

Ao Brasil, este país maravilhoso que tanto amo, pelo ensino público gratuito e de excelente qualidade.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. HIPÓTESE E OBJETIVO	5
2.1. Hipótese	5
2.2. Objetivos	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3.1. Caracterização Geral da Área de Estudo	7
3.2. Plásticos: um panorama geral	13
3.2.1. Plásticos: Caracterização, problemática ambiental e o atual panorama da reciclagem	13
3.2.2. Tipos de Resinas	20
3.2.3. Resinas termoplásticas no Brasil	21
3.2.3.1. Os Polietilenos	24
3.2.3.1.1 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	25
3.2.3.1.2 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	26
3.2.3.1.3 Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL)	27
3.2.3.2. Os Polipropilenos	30

3.3.	Reciclagem do Plástico	32
3.3.1.	Tipos de Reciclagem	35
3.3.2.	A reciclagem de plásticos no Brasil e no mundo	45
3.4.	Óleo Lubrificante	52
3.5.	Reúso de Água	55
3.5.1.	O reúso de água e a legislação brasileira	65
3.5.1.1.	Lei nº. 9.433/97	67
3.5.1.2.	Demais Legislações	72
3.5.2.	Reúso de Água: aplicações reais	73
4.	UNIVERSO DA ANÁLISE	77
4.1.	Características da empresa utilizada como estudo em escala real.	77
4.2.	Estudos Laboratoriais Preliminares	86
4.2.1.	Procedimentos de Lavagens dos Plásticos	87
4.2.1.1	Embalagens de óleo lubrificante	88
4.2.2	Simulação da retenção de sólidos grosseiros	89
4.2.3	Simulação do Tratamento Físico-Químico para Frascos com Óleo Lubrificante	91
4.2.3.1.	Descrição dos procedimentos adotados nos ensaios	91
4.2.3.2.	Produtos Químicos Utilizados nos Experimentos	92
4.2.3.3.	Resultados das Lavagens e Ensaios sico-Químicos	93
4.2.3.4.	Conclusões para os estudos de lavagem e tratabilidade de frascos contaminados com óleo lubrificante	96
4.2.3.5.	Simulação do Tratamento Físico-Químico para Frascos Comuns	97

4.2.4.1.	Produtos químicos utilizados nos experimentos	99
4.2.4.2.	Resultados dos ensaios para escolha do coagulante	99
4.2.4.3.	Resultados dos ensaios com uso de PAC para a amostra composta 2	102
4.2.4.4.	Conclusões dos estudos preliminares para lavagem e tratabilidade de frascos comuns	106
4.3.	Descrição do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias Implantado	108
4.4.	Acompanhamento da operação do sistema e Coleta de Dados	119
4.4.1.	Testes Inaugurais do STAR	119
4.4.2.	Acompanhamento Operacional e Levantamento de Dados do Processo de Reciclagem de Plásticos e do STAR	121
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	126
5.1.	Resultados Referentes aos Parâmetros Operacionais do Processo de Reciclagem de Plásticos PE e do STAR	126
5.1.1.	Dados sobre o processo produtivo	129
5.1.2.	Dados sobre o STAR	133
5.2.	Desempenho do STAR Através de Dados Qualitativos dos Efluentes Brutos e Tratados	137
5.3.	Custos Comparativos do Processo Global	156
5.3.1.	Cenário 1: Reciclagem Incluindo Tratamento e Reúso de Efluentes	157
5.3.2.	Cenário 2: Reciclagem Incluindo Tratamento sem Reúso de Efluentes	162
5.3.3.	Cenário 3: Reciclagem Incluindo Tratamento Realizado por Terceiros	166
5.3.4.	Cenário 4: Compra de Matéria-Prima Virgem	170
5.3.5.	Análise do Retorno do Investimento no STAR	171

6.	CONCLUSÕES	174
7.	COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES	178
	REFERÊNCIAS	179
	ANEXOS	191

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da UGRHI 05 no Estado de São Paulo	8
Figura 3.2: Localização do município de Indaiatuba na UGRHI 05	8
Figura 3.3: Vazões captadas na Bacia do Rio Jundiaí (m ³ /s)	10
Figura 3.4: Distribuição de materiais para embalagens por tipos e sua evolução comercial	18
Figura 3.5: Consumo Aparente de Resinas Termoplásticas (10 ³ ton) 1999 – 2004	23
Figura 3.6: Importações e Exportações de Artefatos Transformados Plásticos 1999 - 2004 em 1.000 toneladas	24
Figura 3.7: Símbolos Internacionais da Reciclagem	33
Figura 3.8: Distribuição do Consumo de Água por Atividade no Brasil	56
Figura 3.9: Previsão da Distribuição do Consumo de Água por Atividade no Estado de SP	57
Figura 4.1: Fardo de embalagens plásticas	78
Figura 4.2: Lote de embalagens estocado em área da LABORMAX – Local de construção do STAR	78
Figura 4.3: Fluxograma do processo de reciclagem da LABORMAX	80
Figura 4.4: Aspecto da esteira de separação manual dos plásticos de interesse (PEAD e PEBD)	82
Figura 4.5: Esteira de transporte até o moinho de facas e pré-lavagem	82
Figura 4.6: Vista geral do canal de lavagem e coleta de plásticos flutuantes	83
Figura 4.7: Vista do equipamento rotativo de coleta de plásticos flutuantes	83

Figura 4.8: Vista do equipamento tipo parafuso de Arquimedes, para transporte dos plásticos picados e lavados até secador	84
Figura 4.9: Vista do silo ciclonado para secagem dos plásticos picados e lavados	84
Figura 4.10: Vista do silo de carga e extrusora existente na LABORMAX	85
Figura 4.11: Vista dos fios de plásticos (espaguete) formados na extrusão, submetidos ao resfriamento em canal com água	85
Figura 4.12: Vista dos fios de plásticos (espaguete) formados na extrusão, submetidos ao resfriamento em canal com água	85
Figura 4.13: Vista dos plásticos sendo lavados no tanquinho	88
Figura 4.14: Vista em detalhe dos plásticos já lavados	88
Figura 4.15: Vista do aparelho de Jarteste ou Floteste onde foram realizados os estudos de tratamento por processo físico-químico dos efluentes gerados nas lavagens dos plásticos	89
Figura 4.16: Vista da câmara de saturação de água para fornecimento de ar nos ensaios de flotação	89
Figura 4.17: Vista da simulação do gradeamento da água de lavagem	90
Figura 4.18: Vista do aspecto dos plásticos lavados e dos resíduos grosseiros retidos na operação de gradeamento	90
Figura 4.19: Vista do detalhe da manta não tecida utilizada na operação de retenção dos sólidos grosseiros após gradeamento	90
Figura 4.20: Vista do detalhe dos resíduos grosseiros retidos na manta tipo Bidim	90
Figura 4.21: Vista do detalhe dos Hidroxicloreto de Alumínio utilizados nos melhores resultados	92
Figura 4.22: Vista da comparação visual entre os efluentes gerados nas lavagens	93
Figura 4.23: Vista do aspecto dos plásticos lavados	93

Figura 4.24: Vista da comparação entre amostras brutas com variação na dosagem de PAC	95
Figura 4.25: Vista da amostra bruta com adição de 4mL de PAC	95
Figura 4.26: Vista da clarificação da amostra bruta com adição de 2 ml de PAC	95
Figura 4.27: Vista da clarificação da amostra bruta com adição de 3 ml de PAC	95
Figura 4.28: Vista da clarificação da amostra bruta com adição de 4mL de PAC	95
Figura 4.29: Vista do aspecto do lodo filtrado em manta tipo Bidim, simulando o pré-tratamento	98
Figura 4.30: Vista do eEquipamento de Jarteste utilizado para o desenvolvimento dos ensaios	98
Figura 4.31: Vista do aspecto visual do efluente bruto pré-filtrado (jarro 1) e com 10 mL/2L de PAC (jarro 2)	104
Figura 4.32: Vista do aspecto do efluente após 10 minutos de repouso (jarros 1, 2 e 3)	104
Figura 4.33: Vista do aspecto visual do efluente após 10 minutos de repouso, Jarros 4, 5 e 6	105
Figura 4.34: Vista do aspecto do lodo sedimentado (jarros 5 e 6)	105
Figura 4.35: Fluxograma do processo de tratamento de efluentes visando reúso da LABORMAX	110
Figura 4.36: Poço de sucção de efluentes brutos pré-existente	112
Figura 4.37: Vista do poço de sucção e retenção de sólidos grosseiros, após adaptações	112
Figura 4.38: Vista do dispositivo de tratamento existente antes da implantação da STAR	112

Figura 4.39: Vista do tanque de preparação da solução diluída de PAC (1:3, na inauguração, hoje, tal qual)	113
Figura 4.40: Vista da bomba dosadora da solução de PAC	113
Figura 4.41: Vista do detalhe interno do floculador mecânico e turbina	114
Figura 4.42: Vista das unidades de floculação, decantação e de recepção de efluente tratado	114
Figura 4.43: Detalhe dos troncos de pirâmide para acúmulo e adensamento do lodo sedimentado no decantador	116
Figura 4.44: Manifold / filtro de coleta de efluente clarificado, provido de cinco trechos de tubulação revestidos com mantas	116
Figura 4.45: Câmara cilíndrica de recebimento do efluente clarificado para posterior recalque ao reservatório de água para reúso	117
Figura 4.46: Vista dos leitos de secagem em fase de construção	118
Figura 4.47: Vista dos leitos de secagem em fase inicial de operação	118
Figura 4.48: Teste de armazenamento de lodo em “big bags”	119
Figura 4.49: Aspecto do lodo após 24 horas de drenagem de líquidos	119
Figura 4.50: Presença excessiva de sólidos grosseiros no filtro coletor de água decantada	121
Figura 4.51: Aspecto das amostras bruta, decantada e clarificada final, obtidas nos testes inaugurais	121
Figura 5.1: Gráfico de produção e geração de efluentes e resíduos – 2006	129
Figura 5.2: Gráfico de geração média de efluentes de acordo com a origem	130
Figura 5.3: Gráfico de dados quantitativos de água e efluentes – 2006	131
Figura 5.4: Gráfico de médias de reúso e perdas dos efluentes brutos	131
Figura 5.5: Gráfico de geração média unitária de resíduos no processo produtivo e	

tratamento de efluentes	132
Figura 5.6: Gráfico de índices médios de aproveitamento de matéria-prima na reciclagem de plásticos PEAD	133
Figura 5.7: Gráfico de produtos químicos e tratamento de efluentes–2006	134
Figura 5.8: Gráfico de dosagens de produtos químicos no processo e tratamento de efluentes–2006	134
Figura 5.9: Gráfico de dados de variação de turbidez dos efluentes brutos e tratados	143
Figura 5.10: Gráfico de dados de variação de DBO dos efluentes brutos e tratados	144
Figura 5.11: Gráfico de dados de variação de DQO dos efluentes brutos e tratados	145
Figura 5.12: Gráfico de dados de variação de ST dos efluentes brutos e tratados	146
Figura 5.13: Gráfico de dados de variação de SST dos efluentes brutos e tratados	147
Figura 5.14: Gráfico de dados de variação de SDT dos efluentes brutos e tratados	148
Figura 5.15: Gráfico de Dados de variação de SDV dos efluentes brutos e tratados	149
Figura 5.16: Gráfico de Dados de variação de SDF dos efluentes brutos e tratados	150
Figura 5.17: Gráfico de dados de variação de STF dos efluentes brutos e tratados	151
Figura 5.18: Gráfico de dados de variação de STV dos efluentes brutos e tratados	152
Figura 5.19: Gráfico de Dados de variação da condutividade dos efluentes brutos e tratados	153
Figura 5.20: Gráfico de Dados de variação de surfactantes dos efluentes brutos e tratados	154

- Figura 5.21:** Gráfico de dados de variação de óleos e graxas dos efluentes brutos e tratados 155
- Figura 5.22:** Gráfico de custos da reciclagem de embalagens de PEAD correlacionado ao tratamento com reúso dos efluentes-2006 159
- Figura 5.23:** Gráfico de custos percentuais da reciclagem correlacionando ao tratamento com reúso de efluentes 160
- Figura 5.24:** Gráfico de custos da reciclagem de embalagens de PEAD correlacionado ao tratamento sem reúso dos efluentes-2006 163
- Figura 5.25:** Gráfico de custos percentuais da reciclagem correlacionando ao tratamento sem reúso de efluentes 164
- Figura 5.26:** Gráfico de custos da reciclagem de embalagens de PEAD correlacionado com tratamento externo dos efluentes – 2006 167
- Figura 5.27:** Gráfico de custos percentuais da reciclagem correlacionando ao tratamento sem reúso de efluentes 168
- Figura 5.28:** Gráfico de comparação entre os custos envolvidos no processo global para os três cenários da reciclagem de plásticos 173

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: O mercado de embalagem por material no Brasil–1998	19
Tabela 3.2: Relação da quantidade de material e valor das resinas utilizadas em embalagens – 1999	22
Tabela 3.3: Empresas produtoras e capacidade instalada (t/ano) – 2003	25
Tabela 3.4: Empresas produtoras de PEBDL e capacidade instalada–2004	29
Tabela 3.5: Principais alimentos demandantes da resina PP	31
Tabela 3.6: Geração de plástico pós-consumo, em ton/ano	49
Tabela 3.7: Reciclagem por tipo de resíduo plástico consumido, em ton/ano	50
Tabela 3.8: Posição da IRMP do Brasil em 2003	50
Tabela 4.1: Parâmetros e metodologias utilizadas nas análises	125
Tabela 5.1: Registro dos principais parâmetros operacionais do processo produtivo e de tratamento de efluentes	128
Tabela 5.2: Valores das concentrações de sólidos (porcentagem em massa) em amostras de lodo tal qual e após 2 e 30 dias de desaguamento	137
Tabela 5.3: Desempenho médio do STAR	141
Tabela 5.4: Registro dos parâmetros qualitativos das amostras compostas dos efluentes brutos e tratados	142
Tabela 5.5: Dados sobre o levantamento de custos para o processo global, considerando o tratamento de efluentes e seu reúso	158
Tabela 5.6: Dados sobre o levantamento de custos para o processo global,	

considerando o tratamento de efluentes sem reúso de efluentes
tratados 162

Tabela 5.7: Dados sobre o levantamento de custos para o processo global,
considerando o tratamento de efluentes sendo realizado por
terceiros 166

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água	11
Quadro 3.2: Principais agentes, entradas e saídas da cadeia produtiva da indústria petroquímica	17
Quadro 3.3: Exemplos de aplicação e vantagens da utilização do plástico em alguns setores	20
Quadro 3.4: Identificação, densidade e principais características das resinas plásticas	34
Quadro 3.5: A Reciclagem de Plásticos no Brasil e no Mundo	48
Quadro 3.6: Benefícios do reúso de água	64
Quadro 4.1: Coagulantes testados e forma de preparação das soluções empregadas	99
Quadro 4.2: Resultados do teste com PAC	100
Quadro 4.3: Resultados do teste com FeCl_3	100
Quadro 4.4: Resultados do teste com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	101
Quadro 4.5: Resultados do teste com PAC para a amostra composta 2	103
Quadro 4.6: Resultados de eficiência de remoção de DQO	105
Quadro 4.7: Parâmetros operacionais, procedimentos e locais de monitoramento	123

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIPLAST: Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABEPET: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET

ABRE: Associação Brasileira de Reciclagem

ABRH: Associação Brasileira de Recursos Hídricos

ABS: Copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: Sulfato de Alumínio

ANA : Agência Nacional de Águas

ANP: Agência Nacional do Petróleo

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASTM: American Society for Testing and Materials

BO: Branqueador Ótico

BTU: British Thermal Unit

CBRH-PCJ: Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CETESB: Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico

CIRRA - Centro Internacional de Referência em Reúso de Água

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPESUL: Pólo Petroquímico do Sul

COPENE: Companhia Petroquímica do Nordeste S.A

CORHI: Comitê Organizador do Plano Estadual de Recursos Hídricos

DEA: Demanda Específica de Água

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

EPA: Environmental Protection Agency

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

EPA: Environmental Protection Agency (EUA)

EVA: Copolímero de etileno-acetato de vinila

FeCL₃: Cloreto Férrico

FDA: Food and Drug Administration

FCTH: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

FGV: Fundação Getúlio Vargas

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

IEL: Instituto Euvaldo Lodi

IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica

IRMP: Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos

MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MMA: Ministério do Meio Ambiente

mg/L: miligrama por litro

mL/L: mililitro por litro

NA: Nível da Água

NBR - Norma Brasileira

P & D: Pesquisa e Desenvolvimento

PA = Poliamidas alifáticas

PAC: Hidroxicloreto de Alumínio

PCJ: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

P&D: Pesquisa & Desenvolvimento

PE: Polietileno

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

PEBD: Polietileno de Baixa Densidade

PEBDL: Polietileno de Baixa Densidade Linear

PEMDL: Polietileno Linear de Média Densidade

PET: Polietileno Tereftalato

PETROBRAS: Petróleo Brasileiro S.A

pH: potencial Hidrogeniônico

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PVC: Policloreto de Vinila

Q: Vazão do Líquido

RMC: Região Metropolitana de Campinas

RMSP: Região Metropolitana de São Paulo

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SABESP: Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAN: copolímero de estireno-acrilonitrila

SBRT: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

SENAI – Serviço Nacional da Indústria

SDF: Sólidos Dissolvidos Fixos

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais

SDV: Sólidos Dissolvidos Voláteis

SINDICOM: Sindicato dos Distribuidores de Combustíveis

SINDUSCON: Sindicato das Indústrias de Construção

SIGRHI: Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SST: Sólidos em Suspensão Totais

STAR: Sistema de Tratamento de Águas Residuárias

TGCA: Taxa Geométrica de Crescimento Anual

UGRHI: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UC: Unidade de Cor

UT: Unidade de Turbidez

WEF: Water Environment Federation

WHO: World Health Organization

$\mu\text{S}/\text{cm}$: Micro Siemens por centímetro

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é fruto de esforço no sentido de provar a exeqüibilidade técnica, financeira e ambiental da implantação uma estação de tratamento de efluentes em circuito hídrico fechado, visando ao reúso em uma indústria de reciclagem de plásticos.

Para melhor compreensão do desenvolvimento dos trabalhos, este volume encontra-se organizado em 6 capítulos, além dos elementos pré e pós-textuais, descritos abaixo de forma simplificada.

No Capítulo 1, é apresentada a introdução da tese. No capítulo 2, encontram-se a hipótese e os objetivos.

O capítulo 3 expõe a fundamentação teórica, apresentando os conceitos e teorias abordados para a caracterização e fundamentação desta tese.

O capítulo 4 descreve o objeto de estudo – a empresa LABORMAX, e as metodologias utilizadas, tanto nos estudos de tratabilidade em escala de bancada laboratorial que subsidiaram a implantação em escala real do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias (STAR), quanto na obtenção de seus dados de operação.

No capítulo 5, são descritos o desenvolvimento da proposta aplicada e suas vertentes econômicas, com os resultados obtidos. O capítulo 6 sintetiza as conclusões. Nos anexos, são apresentadas cópias dos seguintes documentos: licenciamento da Companhia de Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico (CETESB) para operação da unidade, o número do Certificado de Destinação de Resíduo Industrial (CADRI) e uma guia de destinação do lodo gerado no processo.

1 INTRODUÇÃO

A agressão ao meio ambiente causada pelos resíduos originados nos processos, serviços e produtos utilizados na vida moderna tem-se tornado uma preocupação crescente em todos os setores. Os polímeros sintéticos e os naturais modificados, muito utilizados em embalagens diversas, têm sido considerados um dos grandes vilões da poluição ambiental, principalmente quando se refere aos danos causados pelos resíduos urbanos (MUSTAFA, 1993). A contribuição desses materiais no crescente volume de resíduos sólidos urbanos também tem aumentado ao longo dos últimos anos, tendo alcançado o segundo lugar em incidência na composição do lixo da cidade de São Paulo, considerando somente os plásticos (IPT/CEMPRE, 1995).

Lima (2001) acrescenta ainda que, na sociedade contemporânea vem se acentuando cada vez mais o uso dos plásticos. A abundância deste tipo de produto no mundo, por outro lado, tem criado sérios problemas ambientais. A não biodegradabilidade da maioria deles e os gases produzidos durante a incineração são algumas das dificuldades para o problema do resíduo plástico. Este fator se contrapõe ao sucesso da indústria dos plásticos em fabricar seus produtos com propriedades funcionais surpreendentes. Para diminuir os impactos ambientais desde a extração do petróleo até a sua disposição em aterros sanitários, necessita-se da formação de dados com enfoque do ciclo de vida completo, que inclui diferentes estágios, tais como extração, processamento da matéria-prima, manufatura, transporte, distribuição, uso, reúso, reciclagem e disposição final.

Neste sentido, para Abreu (2001), as instituições governamentais e não-governamentais, a mídia, a sociedade civil e as instituições financeiras têm então, exposto os problemas ambientais da atividade produtiva e forçado as organizações a adotarem sistemas de gestão e controle ambiental. Esses investimentos na área ambiental foram, freqüentemente, considerados como necessários; entretanto, hoje devem ser vistos como estratégicos à atuação das empresas, gerando benefícios

sociais, ecológicos e econômicos.

Na tentativa de equacionar essa diversa gama de problemas ambientais, a ciência tem contribuído para o avanço de tecnologias mais limpas e do desenvolvimento de processos chamados “*super clean*”; no entanto, algumas destas tecnologias, como as que estão sendo usadas em reúso de água, não são economicamente viáveis para indústrias de pequeno e médio porte, fazendo-se necessário o desenvolvimento de outras, que atendam a todos os segmentos de mercado.

A questão destes efluentes obriga a refletir-se sobre os meios atuais de produção e hábitos de consumo, fazendo-se necessária a adoção de novos valores e a reflexão sobre o modo de vida do ser humano. A dimensão ambiental vem sendo incorporada ao processo produtivo das indústrias e à gestão empresarial, inclusive como base para reduções de custos e aumentos de lucratividade, por meio de medidas para minimização, reúso e reciclo dos efluentes líquidos gerados pelos diversos processos industriais (SANTOS; MIGUEL, 2002).

Por outro lado, o tratamento não adequado de efluentes gerados em processos produtivos pode representar aumento na degradação ambiental em detrimento da qualidade de vida e sua solução, pode demandar investimentos de vulto considerável. Ao observarmos que a variável econômica exerce grande influência quando se quer definir a melhor tecnologia disponível para tratamento dos efluentes líquidos gerados, que, até certo ponto, é influenciada por fatores relativamente independentes das necessidades de controle da poluição, privilegiando-se aspectos de custos de implantação, operação e manutenção.

Enfocando-se o caso específico das embalagens plásticas descartadas por usuários urbanos e rurais, como embalagens de alimentos, produtos de limpeza doméstica e frascos de óleo lubrificante e de agrotóxicos, evidencia-se o problema ambiental passível de ser gerado por esses resíduos quando dispostos em aterros sanitários, ou quando são incinerados e, até mesmo, destinados à reciclagem, submetidos a operações de acondicionamento, transporte, triagem, remoção de rótulos, picagem,

lavagens e reprocessamento para fabricação de novas embalagens ou outros produtos plásticos. O uso de água nesses processos e a geração de efluentes de alta carga poluidora, em geral, ocorrem em instalações improvisadas, de pequeno a médio porte, muitas delas conduzidas por recicladores informais, sem licenciamento para seu funcionamento e sem qualquer compromisso com a legislação ambiental.

Dessa forma, a presente pesquisa visa apresentar alternativa de baixo custo de implantação e operação para o tratamento e reúso de efluentes líquidos gerados em operações de lavagens de embalagens plásticas de diversas origens, utilizando-se de dados obtidos em escala real de uma empresa recicladora de plásticos instalada no município de Indaiatuba-São Paulo.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 Hipótese

O objeto de estudo desta tese é a empresa LABORMAX e criada, originalmente, com o intuito de fabricar, a partir da reciclagem, embalagens de plástico para envase de produtos químicos (detergentes, amaciantes, água sanitária, desinfetantes etc.) produzidos pela principal empresa do grupo, a PRIORPAK, localizada no mesmo município.

A tese parte da hipótese de que várias reutilizações da mesma água trarão benefícios econômicos e ambientais, sem prejuízo da qualidade do produto final, ou seja, *pellets* de polietileno de alta densidade (PEAD), aptos à produção de novas embalagens plásticas de uso doméstico. Na situação anterior ao início deste estudo, a empresa renovava diariamente a água potável usada no processo de lavagem da matéria-prima, descartando os efluentes gerados na rede pública após simples operação de gradeamento.

Outras hipóteses envolvidas no estudo são:

- a) É mais barato utilizar matéria-prima reciclada para a fabricação de embalagens plásticas?;
- b) É possível manter o padrão de qualidade das embalagens utilizando-se 100% de matéria-prima reciclada?”.

2.2 Objetivos

O principal objetivo da pesquisa consiste em apresentar uma alternativa tecnológica simples sob o aspecto operacional, contemplando baixos custos de implantação e

operação para tratamento visando ao reúso dos efluentes líquidos gerados no processo industrial de reciclagem de embalagens plásticas de diversas origens, inclusive de óleos lubrificantes, utilizando-se de dados obtidos em escala real.

Como objetivos específicos, tem-se:

1. quantificar o consumo de água, produtos químicos e geração de efluentes em relação à matéria-prima processada;
2. desenvolver estudos de tratabilidade por processos físico-químicos em instalações de bancada laboratorial;
3. conceber, implantar e acompanhar operacionalmente o sistema de tratamento de efluentes e resíduos gerados em escala real;
4. estabelecer a influência do reúso da água nas características qualitativas dos efluentes gerados e procedimentos operacionais adotados no tratamento de efluentes e resíduos;
5. avaliar a viabilidade econômica do reúso de efluentes tratados, por meio do levantamento de custos de implantação e operação do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias (STAR), relacionando-os com a quantidade de plásticos reciclados e da água utilizada no processo;
6. avaliar a viabilidade econômica do processo produtivo de reciclagem de embalagens plásticas em comparação com o uso de matéria-prima virgem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE TRABALHO

A indústria objeto deste estudo localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo, distante aproximadamente 100 km da capital, fazendo parte da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), denominada de Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 05, cuja área é de 14.178 km², sendo: 11.442,82 km² correspondentes à bacia do rio Piracicaba, 1.620,92 km² à bacia do rio Capivari e 1.114,03 km² à bacia do rio Jundiaí. No estado de Minas Gerais, a bacias do rio Piracicaba tem área de 1125,90 km², com exutórios independentes no rio Tietê. Nesta UGRHI, destaca-se a Região Metropolitana de Campinas (RMC) (CORHI, 2004).

A localização da UGRHI-05 em relação ao Estado de São Paulo pode ser observada na **Figura 3.1** e a localização da cidade de Indaiatuba dentro desta UGRHI pode ser visualizada na **Figura 3.2**. A cidade encontra-se localizada na sub-bacia do rio Jundiaí.



Figura 3.1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA UGRHI 05 NO ESTADO DE SÃO PAULO

Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2004.

MUNICÍPIOS COM ÁREA NA UGRHI

■ Municípios com sede na UGRHI

■ Municípios com sede fora da UGRHI

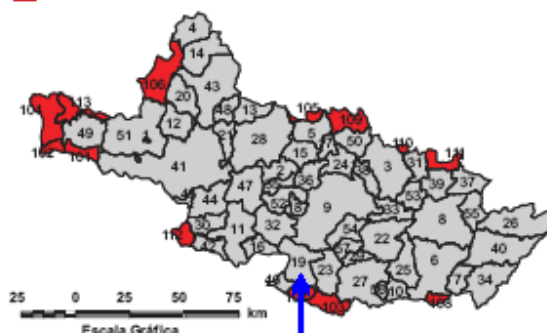


Figura 3.2: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE INDAIATUBA NA UGRHI 05

Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2004

Segundo IBGE (2000), a população dos municípios da bacia PCJ era, em 2000, de 4.467.623 habitantes (63 municípios, incluindo Cabreúva e Mairiporã), sendo 4.415.284 no trecho paulista (98,8%) e 52.339 no trecho mineiro (apenas 1,2%). O município de Indaiatuba é um dos mais populosos da CBRH-PCJ, com uma população de 147.050 habitantes, com 144.740 residindo na área urbana e 2.310 na área rural.

De acordo com projeções do IBGE (op. cit.) a população dos municípios relacionados aos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá ultrapassou os 4.467.623 habitantes para 4.751.249 em 2003 e 5.000.192 em 2005, sendo previstos 5.699.243 em 2010 e 7.525.246 em 2020. Aqueles municípios com elevada taxa geométrica de crescimento anual (TGCA) e população expressiva devem receber atenção especial, devido aos conseqüentes incrementos de demanda por água, como Hortolândia, Sumaré e Indaiatuba.

O processo de desconcentração industrial da região metropolitana de São Paulo (RMSP) transformou esta bacia hidrográfica em uma das frentes mais desenvolvidas da

economia paulista, merecendo destaque à elevada diversificação de sua base produtiva e a importância da presença de plantas industriais intensivas em capital e tecnologia, concentradas principalmente nos municípios de Sumaré, Indaiatuba e Paulínia.

Não se pode deixar de citar como privilégio dessa região sua localização junto a eixos viários de ligação entre a RMSP, o interior do estado e o Triângulo Mineiro, o que exerceu fator de atração para as empresas que buscavam e buscam localizar-se fora da Grande São Paulo.

Nas bacias PCJ, o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e abril, e o de estiagem, entre maio e setembro. Os índices de precipitação pluviométrica, na média, variam entre 1.200 e 1.800 mm anuais.

Os recursos hídricos de superfície das bacias que compõem a UGRHI, em particular os da bacia do Piracicaba, não se encontram, em sua totalidade, à disposição para uso nessa bacia, pois uma parcela substancial dos mesmos é transferida, via Sistema Cantareira, para a RMSP, sendo responsável atualmente por aproximadamente 50% do abastecimento da sua população. Além da transposição de água da bacia do Piracicaba para a RMSP, ocorrem também, na área da UGRHI, exportações internas, tais como:

- a) da bacia do Atibaia para a do Jundiaí, visando ao abastecimento do município de Jundiaí;
- b) da bacia do Atibaia para as dos rios Capivari e Piracicaba, mediante o sistema de abastecimento da água de Campinas; e
- c) da bacia do Jaguari para as do Atibaia e Piracicaba (ESTADO DE SÃO PAULO, 2004).

No caso específico da cidade de Indaiatuba, a principal rodovia de acesso se dá através do eixo da Rodovia Santos Dumont, que liga a região de Campinas à de Sorocaba. Esse eixo interliga a rodovia Castelo Branco ao aeroporto de Viracopos e

facilita o acesso à hidrovía Tietê-Paraná, alcançando, assim, os principais pólos econômicos do Estado. Os setores mais expressivos de Indaiatuba são os de confecções e metalurgia.

CBR-PCJ e Irrigart (2004) relatam que a predominância de uso na bacia do rio Jundiá são os usos urbanos (2,25 m³/s, ou seja, 58,3% das vazões captadas nesta bacia hidrográfica), seguidos pelo uso rural (0,93 m³/s, ou 24,1%) e industriais (0,65 m³/s, ou 16,8%). A **Figura 3.3** esquematiza as vazões captadas.

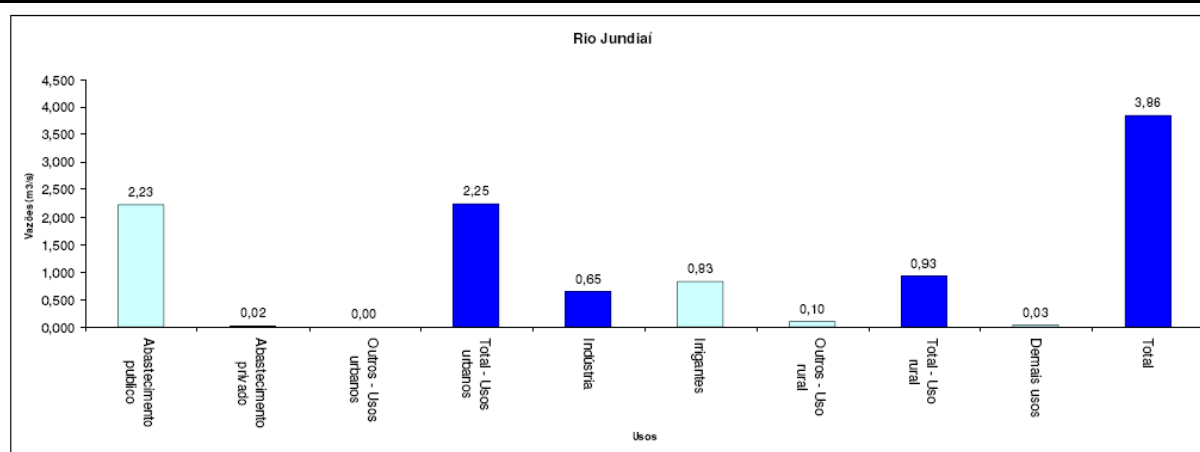


Figura 3.3: GRÁFICO DE VAZÕES CAPTADAS NA BACIA DO RIO JUNDIAÍ (m³/s)
Fonte: CBR-PCJ, IRRIGART (2004)

Além da grande vazão captada, um dos maiores problemas que afetam a bacia, de acordo com CBH-PCJ (2006), a situação da bacia do rio Jundiá é bastante crítica, uma vez que ela tem exibido padrão eutrófico ou hipereutrófico, o que evidencia o contínuo e significativo lançamento de esgotos “in natura” em grande parte das bacias PCJ.

Segundo CETESB (2006), os mananciais subterrâneos da bacia do Rio Jundiá, de modo geral, apresentam boa qualidade hídrica, sendo que os problemas de degradação das águas subterrâneas são restritos a casos pontuais, decorrentes da má qualidade técnica em termos construtivos e operacionais dos poços. Existem casos de sumidouros de efluentes domésticos localizados próximos aos poços. De maneira geral, ainda não se observa problemas mais sérios de degradação dos aquíferos.

Assim, considerando a disponibilidade hídrica e a demanda de água gerada pelas diversas atividades humanas, Mierzwa (2002) estabeleceu uma classificação dos problemas relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos associados à competição pelo uso da água. Deste cruzamento (população x demanda de água), o autor definiu o Demanda Específica de Água (DEA) relacionando a disponibilidade anual de água por habitante, expressa em metros cúbicos por ano, por habitante (m^3 /ano/habitante).

A correlação entre o DEA e os problemas potenciais associados à disputa pela água encontram-se sintetizados no **Quadro 3.1**.

Quadro 3.1 – ASSOCIAÇÃO ENTRE AS TENDÊNCIAS PARA O SURGIMENTO DE ESTRESSE AMBIENTAL E GERAÇÃO DE CONFLITOS E OS PROBLEMAS ASSOCIADOS À COMPETIÇÃO PELO USO DA ÁGUA

Demanda Específica de Água (DEA) (m^3/ano/hab.)	Tendência para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos	Problemas associados ao GRHI
DEA $\geq$ 10.000	Sem tendências para o surgimento de estresse ambiental ou conflitos. Quantidade da água suficiente para o atendimento das necessidades humanas e do meio ambiente.	Sem problemas ou problemas limitados.
10.000 > DEA $\geq$ 2.000	Tendência ao surgimento de pequenas disputas com relação ao uso da água devido, principalmente, a processos isolados de poluição, que podem causar efeitos adversos ao meio ambiente.	Problemas gerais de gerenciamento.
2.000 > DEA $\geq$ 1.000	Tendência ao surgimento de estresse ambiental devido ao comprometimento da capacidade natural de autodepuração e contaminação do ambiente aquático e surgimento de conflitos relacionados ao uso	Grande pressão sobre os recursos hídricos.

	da água, causados por problemas generalizados de poluição, podendo contribuir para a redução da disponibilidade dos recursos hídricos e necessidade de redução na intensidade, ou interrupção de algumas atividades humanas.	
$1.000 > DEA \geq 500$	Possibilidade de ocorrência de vários problemas ambientais, podendo comprometer a qualidade de vida da população em geral, intensificando-se ainda mais os conflitos relacionados ao uso da água.	Escassez crônica de água
$DEA < 500$	Condição crítica em relação ao estresse ambiental e a geração de conflitos com relação ao uso da água, devendo-se priorizar o abastecimento doméstico, a produção de alimentos básicos e a proteção do meio ambiente, restringindo-se as atividades industriais àquelas extremamente necessárias.	Além do limite de disponibilidade de água

Fonte: MIERZWA (2002)

Os 59 municípios da bacia do PCJ contam com abastecimento de água realizada por esta bacia, porém, essas águas não estão em sua totalidade à disposição para uso na própria região, pois aproximadamente 31m³/s é transferido, através do sistema Cantareira, para a bacia do Alto Tietê. Esse sistema é um dos principais fornecedores de água à região metropolitana de São Paulo, sendo responsável por aproximadamente 60% do abastecimento de sua população (NOGUEIRA, 2007).

Esse fato contribui para uma diminuição considerável da disponibilidade hídrica da bacia do PCJ ($DEA = 278,9 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$), sem esquecer que em épocas de estiagem a

disponibilidade torna-se ainda menor. De acordo com a **Tabela 3.1**, regiões com valores DEA nesses patamares apresentam condições críticas em relação ao estresse ambiental e à geração de conflitos com o uso da água.

3.2 PLÁSTICOS: PANORAMA GERAL

A análise da evolução da relação do homem com a natureza mostra que os problemas ambientais hoje enfrentados são decorrentes, em sua maioria, do crescimento descomunal da população e da forma intensa de exploração dos recursos naturais. A história humana pode ser descrita, então, a partir do desenvolvimento de artefatos, da estruturação de classes sociais e do surgimento de religiões. O desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias transformaram a relação do homem com o meio natural, tornando-o cada vez mais distante e superficial.

Capra (1996) comenta que problemas ambientais, sociais e econômicos precisam ser vistos como diferentes facetas de uma única crise, que é, em grande medida, uma alteração de percepções. O autor discute então, que as razões dessas mudanças deriva de uma *visão de mundo* obsoleta, uma percepção de realidade inadequada para lidar com o mundo super povoado e globalmente interligado.

Neste sentido, a consolidação e o incremento do volume dos materiais plásticos utilizados em embalagens na vida moderna representa um desafio sob o ponto de vista da sua reciclagem racional, exigindo uma abordagem integrada dos setores envolvidos entre os processos de transformação das matérias-primas, fabricação das embalagens e sua funcionalidade na conservação do produto (FORLIN; FARIA, 2002).

3.2.1 PLÁSTICOS: CARACTERIZAÇÃO, PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E O ATUAL PANORAMA DA RECICLAGEM

Canto (1997) define que os plásticos são constituídos de grandes moléculas

(macromoléculas) chamadas de polímeros que, dependendo de sua composição, apresenta propriedades físicas e químicas diferentes.

Polímero, por sua vez, é uma molécula de alto peso molecular obtida pelo encadeamento sucessivo de pequenas unidades repetitivas de baixo peso molecular definidas como monômeros (unidades formadoras). Podem ser usados para aplicações de engenharia, como engrenagens e peças estruturais, que permitem o uso em substituição a materiais clássicos, particularmente metais. Nesse contexto, incluem-se os termoplásticos, que são plásticos que podem ser reversivelmente aquecidos e resfriados, passando respectivamente de massas fundidas a sólidos, podendo ser transformados, processados e reprocessados, por métodos tradicionais como a laminação, a extrusão ou a injeção (KIPPER, 2005).

Crawford (1989 apud BORRELY, 2002) explica que, embora as palavras plásticos e polímeros sejam usualmente tomadas como sinônimos, existe a distinção entre o material puro (polímero) e o formulado para uso. O polímero é o material resultante do processo de polimerização e são raramente utilizados em sua forma pura quando aditivos são utilizados o termo plástico passa a ser mais adequado.

Neste sentido, Mano et al. (2000, p.20) explicam que o plástico, além do(s) polímero(s) de base, pode conter vários tipos de aditivos. Em relação aos processos tecnológicos, os plásticos são divididos em duas categorias: termoplásticos e termofixos (ou termoestáveis). Os termoplásticos, que, sob pressão e calor, passam por uma transformação física, não sofrem mutação em sua estrutura química, e se tornam reversíveis, isto é, podem ser reaproveitados em novas moldagens. Os termofixos, quando sofrem uma transformação química sob efeito de calor e pressão, tornam-se irreversíveis, não podendo ser reaproveitados. Pertencem à primeira categoria os derivados de celulose, Policloreto de Vinila (PVC) rígido e não rígido, polietileno de alta e baixa densidade, polipropileno, poliestireno, policarbonato, “nylon” e outros. Pertencem à categoria dos termofixos o baquelite, o poliéster insaturado, borracha vulcanizada, poliuretano etc.

Em função da qualidade da aplicação em que são empregados, Mano et al. (op. cit)

relatam que os plásticos podem ser separados em plásticos convencionais, especiais e de engenharia; os de engenharia podem ser reforçados com fibras de vidro ou com outros reforços fibrosos; em função de sua natureza química e/ou de seus aditivos, podendo transformar-se em rígidos, semiflexíveis ou semi-rígidos, e flexíveis; podem ser ligeiramente expandidos formando os plásticos expandidos estruturais ou podem se transformar, por grande expansão, em plásticos expansíveis ou espumas – plásticos fabricados na forma celular por processos térmicos e/ou químicos e/ou mecânicos, e que possuem densidade entre 0,03 a 0,3 g/cm³ (exemplo: isopor, nome comercial da espuma de poliestireno).

Souza et al. (2002), explicam que o segmento dos transformados plásticos constitui a terceira geração da cadeia produtiva da indústria petroquímica. Por esse motivo, uma análise adequada do setor deve ter como referencial básico a configuração da cadeia produtiva petroquímica. Esta costuma ser dividida em três gerações, de acordo com as três etapas básicas de seus processos de produção.

Em primeiro lugar, destaca-se a chamada indústria de primeira geração, fornecedora das principais matérias-primas básicas para toda a cadeia e para o segmento de transformados plásticos (especificamente o eteno e o propeno). São usualmente chamadas de centrais de matéria-prima - utilizam a nafta, proveniente do processo de refino do petróleo, o gás natural ou ainda o gás de refinaria; por meio de um processo de craqueamento¹, este processo os transforma nos insumos utilizados nas etapas subseqüentes da cadeia produtiva petroquímica. Em uma reação química chamada polimerização, um grande número de moléculas individuais é reunido para formar cadeias de polímeros.

A Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) é a fornecedora exclusiva de nafta no Brasil, atendendo à demanda com a produção de suas refinarias e com importações. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP) (2006), o Brasil produziu em 2006 (até o mês de

¹ **Craqueamento:** - transformação por ruptura (*cracking*, quebra) de moléculas grandes em moléculas menores. Utilizado para transformar óleos pesados, de pequeno valor, em derivados de petróleo mais leves, como GLP e nafta, que são produtos de maior valor (Glossário do Petróleo, 2006).

outubro), 51,1 milhões de barris do produto e importou outros 11,2 milhões. Após a extração e refino do petróleo, a nafta é fornecida para três centrais de matérias-primas da indústria petroquímica brasileira: a Petroquímica União, em São Paulo; a Pólo Petroquímico do Sul (COPE SUL), instalada no Rio Grande do Sul; e a Braskem (antiga COPENE), na Bahia.

Estas indústrias, chamadas de primeira geração, caracterizam-se pela elevada movimentação financeira e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (PeD), além de forte interdependência entre os segmentos. Trata-se de uma indústria bastante concentrada, em que se nota a presença de grupos empresariais que operam em escala mundial, com níveis de faturamento muitas vezes superiores a US\$ 20 bilhões anuais. O setor é considerado intensivo em tecnologia, como demonstram os dados de gastos em PeD das empresas líderes, que chegam até a 6% de seu faturamento. Dada a variada gama de produtos gerados pelo processo petroquímico, o setor está ligado a diversas cadeias produtivas.

Os produtos das indústrias de primeira geração destinam a produção das centrais de matéria-prima para as chamadas indústrias de segunda geração. O conjunto destas indústrias se concentra ao redor das centrais de matéria-prima (principalmente o polietileno), formando os pólos petroquímicos integrados. Seu processo produtivo é caracterizado pela transformação das diversas matérias-primas em uma variada gama de intermediários largamente utilizados por todo o conjunto da indústria química, destacando-se dentre estes, os chamados termoplásticos básicos, como polietileno de baixa ou alta densidade (PEBD/PEAD), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET) etc.

O destino desses intermediários é a chamada indústria de terceira geração, na qual são transformados em produtos plásticos diversos, por meio de processos de injeção, sopros, filme e extrusão, entre outros. Estes produtos destinam-se tanto ao consumo intermediário (embalagens, autopeças etc.) quanto ao consumo final (brinquedos, utilidades domésticas etc.). O conjunto de empresas que compõem a chamada terceira geração não pertence ao gênero indústria petroquímica e sim a outros setores

industriais, com destaque para a transformação plástica.

Com o objetivo de visualizar a forma como os plásticos estão inseridos na cadeia de produção da indústria petroquímica e considerando que essa cadeia não finaliza na terceira geração, o **Quadro 3.2** explicita com as principais entradas e saídas desse sistema. Percebe-se, a partir da síntese descrita nesse quadro, que existe uma ruptura no que tange a vários aspectos desde a gestão, planejamento e incentivos existentes a partir da quarta geração. Entre a quarta e a quinta geração, é clara a inexistência de mecanismos de auto-regulação, ou seja, políticas públicas que incentivem a correta destinação dos resíduos plásticos.

Quadro 3.2- PRINCIPAIS AGENTES, ENTRADAS E SAÍDAS DA CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA.

Principais Agentes	Principais Entradas	Tipo de Organização	Principais Saídas
PETROBRÁS e importações	Petróleo	Primeira geração (petroquímica)	Petróleo fracionado (nafta, gás natural e gasóleo)
COPEL, COPEN, Petroquímica União	Algumas das frações: nafta e/ou gás natural	Primeira geração (petroquímica)	Petroquímicos básicos (monômeros: eteno, propeno, butadieno, benzeno etc)
Dezenas de empresas	Petroquímicos básicos (monômeros)	Segunda geração (petroquímica)	Petroquímicos intermediários (resinas plásticas: polietilenos, polipropilenos, poliestirenos etc)
Milhares de empresas	Petroquímicos intermediários (resinas plásticas)	Terceira geração (petroquímica)	Plásticos: vários produtos
Sociedade em geral	Produtos plásticos	Quarta geração (consumo, descarte e sociedade)	Resíduos plásticos
Parcela Produtiva	Produtos plásticos a partir de outras resinas	Quinta geração (associações, empresas e recicladoras)	Matéria-prima para a terceira e/ou segunda geração de energia (retorno ao ciclo)

Fonte: Adaptado de KIPPER (2005)

Apenas para que se tenha idéia da importância que o plástico assume, a **Figura 3.4** ilustra a distribuição do uso de materiais para embalagens por tipos e sua evolução comercial de 2002 a 2004.

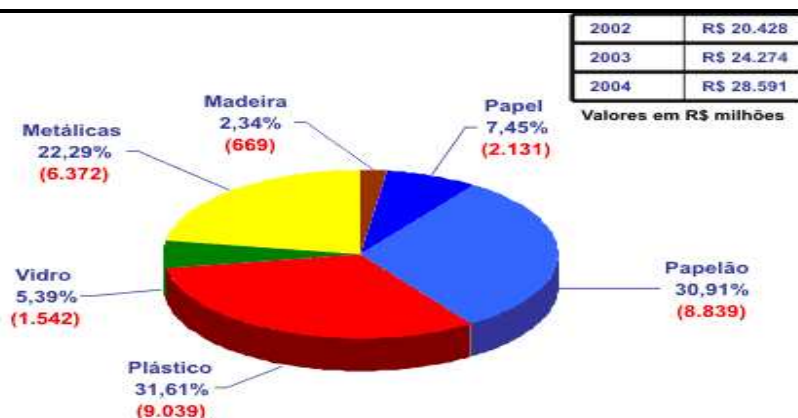


Figura 3.4: DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS PARA EMBALAGENS POR TIPOS E SUA EVOLUÇÃO COMERCIAL
Fonte: FGV (2004)

Na **Tabela 3.2**, é quantificada, em peso e valor, a participação dos diversos materiais no mercado de embalagens para alimentos, além de outros. Pode-se observar a grande importância do plástico como embalagem para alimentos e não alimentos, sendo que esta segunda constitui-se em grande parte da matéria-prima que a LABORMAX utiliza. Destaca-se que, 18,6% e 27,2% representam o peso e o valor das embalagens plásticas produzidas no Brasil em 1998, respectivamente.

Tabela 3.2 - MERCADO DE EMBALAGEM POR MATERIAL NO BRASIL-1998

Materiais	Alimentos e Bebidas			Não-alimentos		
	Ton 10³	%	US\$ 10⁶	Ton 10³	%	US\$ 10⁶
Flexíveis ⁽²⁾	298	87,2	1.963	44	12,8	333
Metálicos						
Alumínio	176	95,6	660	8	4,4	90
Folha-de-flandres	543	81,8	763	121	18,2	170
Aço	21	19	23	88	81	98
Celulósicos						
Kraft	131	43,3	197	170	56,6	273
Duplex e Triplex	107	27,5	220	283	72,5	624
Papelão ondulado	635	39,3	534	981	60,7	824
Plásticos	645	63,6	1.725	369	36,4	1.000
Vidro	779	92,8	396	61	7,2	95
Total	3.334	61,1	6.508	2.124	38,9	3.507

Fonte: ANTUNES (2005)

Com base nos dados apresentados, destaca-se a significativa importância da

² Vale ressaltar que a conceituação de embalagem flexível leva em consideração materiais cartonados multicamadas para embalagens assépticas, sendo a distribuição dos materiais utilizando: alumínio (8,1%), Policloreto Biorentado (**BOPP**)^(**) (11,6%), celofane (1,2%), papel (61,6%), PEBD (14,3%), poliamida 6 (1,3%), poliéster (1,4%) e PVC (0,5%).

****BOPP:** Este material é utilizado em indústrias de alimentos cujas embalagens exigem alta qualidade de impressão, caso das batatas fritas do tipo chips, rações para cachorros e sorvetes. O BOPP é também empregado na confecção de fitas adesivas e responde ainda por 100% do mercado de biscoitos recheados. (Disponível em <http://www.plastico.com.br/revista/pm360/noticias2.htm>, Acesso em: 19 Fev. 2006).

participação dos plásticos em produtos usados no segmento de embalagens, a grande maioria descartáveis, constituindo-se em grande problema de geração de resíduos sólidos urbanos, rurais e industriais. Desta forma, torna-se cada vez mais premente a viabilização de processos de reciclagem, de forma a minimizar impactos ambientais, bem como em aumentar a vida útil de aterros sanitários.

3.2.2 Tipos de resinas

As principais resinas utilizadas para embalar alimentos e produtos diversos são: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), politereftalato de etileno (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e policloreto de vinila (PVC). O **Quadro 3.3** apresenta as principais resinas termoplásticas, suas possíveis aplicações e seus benefícios frente a outros materiais.

Quadro 3.3 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO E VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO PLÁSTICO EM ALGUNS SETORES

IDENTIFICAÇÃO	PRINCIPAIS APLICAÇÕES	BENEFÍCIOS
PET – polietileno tereftalato	Frascos e garrafas para uso alimentício/hospitalar, cosméticos, bandejas para microondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis etc.	Transparente, inquebrável, impermeável e leve.
PEAD – polietileno de alta densidade	Embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafeiras, tampas, tambores para tintas, potes, utilidades domésticas etc.	Inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve, impermeável, rígido e com resistência química.
PVC – policloreto de vinila	Embalagens para água mineral, óleos comestíveis, maioneses e sucos. Perfis para janelas, tubulações de água e esgotos, mangueiras, embalagens para remédios, brinquedos, bolsas de sangue, material hospitalar etc.	Rígido, transparente, impermeável, resistente à temperatura e inquebrável.
PEBD – polietileno de baixa densidade PELBD – polietileno linear de baixa densidade	Sacolas para supermercados e boutiques, filmes para embalar leite e outros alimentos, sacaria industrial, filmes para fraldas descartáveis, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo etc.	Flexível, leve, transparente e impermeável.
PP – polipropileno	Filmes para embalagens e alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, autopeças, fibras para tapetes, utilidades domésticas, potes, fraldas e seringas descartáveis etc.	Conserva o aroma, inquebrável, transparente, brilhante, rígido e resistente a mudança de temperatura.
PS – poliestireno	Potes para iogurtes, sorvetes e doces, frascos, bandejas de supermercados, geladeiras (parte interna da porta), pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos etc.	Impermeável, inquebrável, rígido, transparente, leve e brilhante.
Outros: ABS ³ , SAN ⁴ , EVA ⁵ e PA ⁶	Solados, autopeças, chinelos, pneus, acessórios esportivos e náuticos, plásticos especiais e de engenharia, CDs, eletrodomésticos, corpos de computadores etc.	Flexibilidade, leveza, resistência à abrasão, possibilidade de <i>design</i> diferenciado.

Fonte: UNICAMP/IE et al, 2002.

³ ABS = copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno.

⁴ SAN = copolímero de estireno-acrilonitrila.

⁵ EVA = copolímero de etileno-acetato de vinila

⁶ PA = Poliamidas alifáticas

3.2.3 RESINAS TERMOPLÁSTICAS NO BRASIL

De acordo com Wallis (2005), a produção de plásticos no Brasil alcançou 3,4 milhões de toneladas em 1999, em comparação com 41,6 milhões nos EUA e 26,3 milhões na Europa. Em 1998, aproximadamente 31% da produção de resinas foi destinada para a produção de embalagens plásticas, transformando este setor no mercado mais importante para materiais plásticos no Brasil. O consumo de plásticos para embalagens nos Estados Unidos da América (EUA) foi equivalente a 31%. Estima-se que o consumo de plásticos no Brasil crescerá de 3,3 milhões de toneladas em 1998 para 4,3 milhões até 2005.

As principais resinas termoplásticas produzidas no Brasil são: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), poliestireno expansível (EPS) e policloreto de vinila (PVC), cujo faturamento foi da ordem de aproximadamente US\$ 3,5 bilhões em 2004.

A **Tabela 3.2** apresenta pesquisa que demonstra a quantidade destas resinas utilizadas especificamente em embalagens para alimentos em relação à quantidade de resinas utilizadas para embalagens em geral no Brasil.

Tabela 3.2 - RELAÇÃO DA QUANTIDADE DE MATERIAL E VALOR DAS RESINAS UTILIZADAS EM EMBALAGENS - 1999

	Qtde(ton)		Valor (US\$ x 10 ⁶)	
PEAD				
Embalagens para alimentos	40.604	23%	151,00	22%
Embalagens em geral	175.865		679,00	
PEBD				
Embalagens para alimentos	173.035	68%	442,00	64%
Embalagens em geral	253.021		692,00	

PS

Embalagens para alimentos	25.385	95%	166,00	95%
Embalagens em geral	26.655		174,00	

PP

Embalagens para alimentos	116.369	55%	509,00	57%
Embalagens em geral	212.978		890,00	

PVC

Embalagens para alimentos	13.994	25%	56,70	23%
Embalagens em geral	55.092		251,00	

PET

Embalagens para alimentos	240.279	99%	927,00	99%
Embalagens em geral	243.493		939,00	

Fonte: ANTUNES (2005)

A produção dessas resinas termoplásticas chegou a 3,8 milhões de toneladas em 2000, representando um crescimento de 8,5% em relação ao ano anterior ABIPLAST (2005). As importações e exportações cresceram 33,8% e 22,5%, respectivamente. Deve-se levar em consideração que 80% das embalagens chamadas de convencionais se prestam ao acondicionamento de alimentos; normalmente as embalagens para alimentos da cesta básica, que atualmente são não laminados. A evolução do consumo no setor de resinas encontra-se demonstrado na **Figura 3.5** e o volume das importações e exportações de artefatos transformados plásticos pode ser observado na **Figura 3.6**.

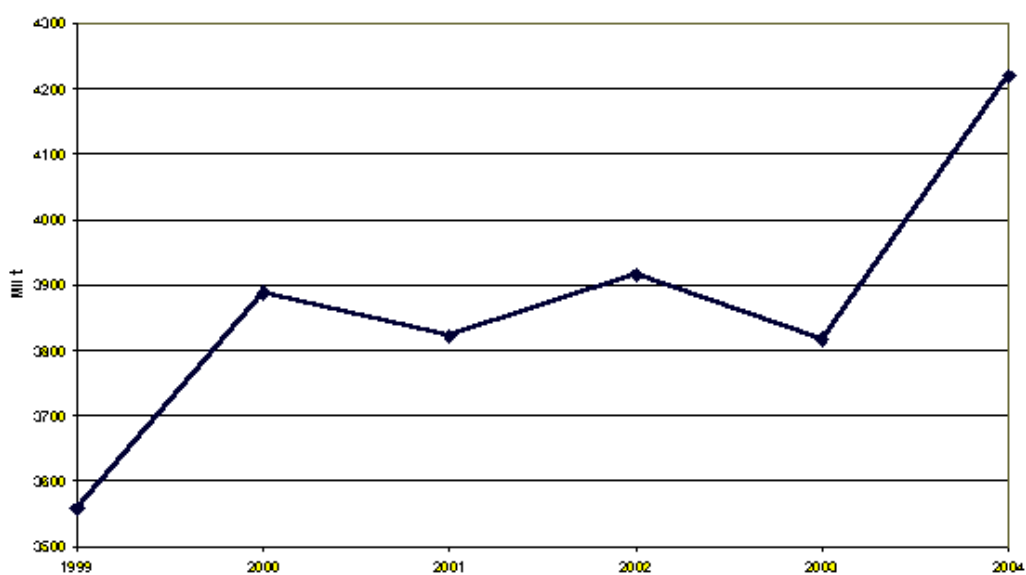


Figura 3.5: GRÁFICO DE CONSUMO APARENTE DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS (10^3 TON) 1999 – 2004
Fonte: ABIPLAST,FGV (2005)

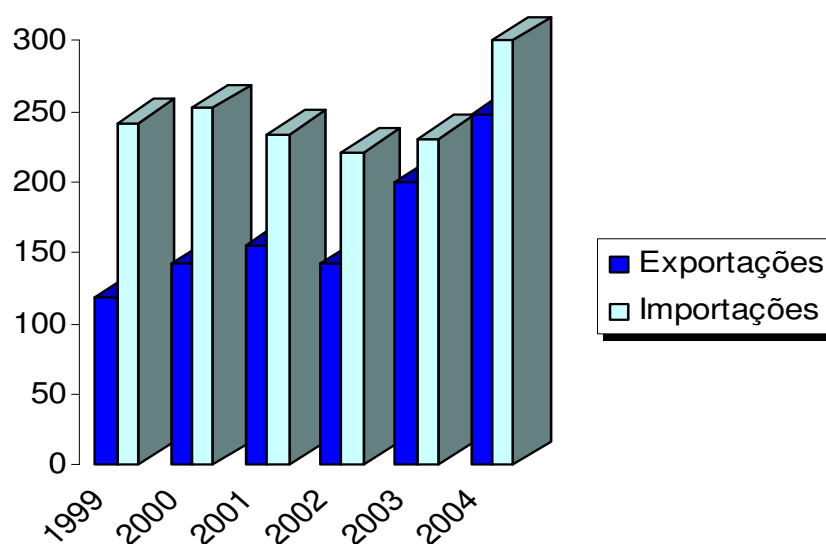


Figura 3.6: GRÁFICO DE IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES DE ARTEFATOS TRANSFORMADOS PLÁSTICOS 1999 - 2004 EM 1.000 TONELADAS
Fonte: ABIPLAST (2005)

3.2.3.1 OS POLIETILENOS

Toda a matéria-prima utilizada pela LABORMAX são os chamados PE, ou seja, polietilenos. Eles podem ser encontrados em três formas principais: PEBD, PEAD e PEBDL. O polietileno de baixa densidade (PEBD) foi o precursor da família dos polietilenos, obtido acidentalmente durante uma experiência do Dr. A. Michels, na Imperial Chemical Industrial Ltda., em 1933, quando pressurizava uma bomba de 3.000 atmosferas e ocorreu um vazamento. Tentando retornar à pressão original, ele adicionou mais etileno ao sistema e notou a presença de um pó (polietileno). Foi constatado posteriormente que o oxigênio havia catalisado a reação. A Imperial foi pioneira na produção de PEBD, em 1939, empregando o processo de polimerização na fase gasosa, a altas temperaturas (300°C) e a pressões elevadas. Já em 1955 foi produzido pela primeira vez o PEAD ou o polietileno de alta densidade, com catalisadores organometálicos de Ziegler- Natta, empregando o processo de polimerização na fase líquida, em temperaturas mais baixas e pressões próximas à pressão atmosférica. Na década de 70, a Union Carbide introduziu o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), utilizando tecnologia própria de fase gasosa (KIPPER, 2005).

Os PE's não apresentam boa barreira a gases como oxigênio, nitrogênio e gás carbônico. O PEAD branqueia quando é esticado ou dobrado, é inquebrável, impermeável e flutua na água, pois tem densidade entre 0,94 g/cm³ a 0,97 g/cm³. É comumente identificado pelo número 2. É usado na fabricação de frascos, garrafas, bombonas, tampas, baldes, caixas de engradado, sacolas de supermercado.

3.2.3.1.1 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

De acordo com Antunes (2005), o PEAD é o termoplástico que tem o maior número de produtores no Brasil. Sua capacidade instalada tem crescido bastante nos últimos dez anos, tendo sido observada uma relação de equilíbrio entre a oferta e a demanda nesse segmento. As petroquímicas produtoras do PEAD são: OPP Petroquímica S.A.,

Ipiranga, Solvay, Polialden e Politenó (**Tabela 3.3**).

Tabela 3.3: EMPRESAS PRODUTORAS E CAPACIDADE INSTALADA (T/ANO)-2003

Empresas Produtoras	Localização	Capacidade Instalada (t/ano)
Brasken	BA	200.000
Ipiranga Petroquímica	RS	550.000
Polialden	BA	150.000
Politenó	BA	210.000
Solvey Politenó	SP	82.000

Fonte: ABIPLAST (2004)

Atualmente, a capacidade instalada no país é de 1,2 milhões de toneladas, porém quase todas as unidades não são puras, fabricando-se também o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL).

Os cruzamentos de dados oficiais relativos ao final da primeira metade da década de 90 indicam o seguinte panorama do consumo brasileiro de PEAD: 37% para sopro; 35% para filmes de alto peso molecular e convencionais; 12,2% para injeção; 10,4% para extrusão rígida (tubos de gases, por exemplo) da resina de alto peso molecular e 0,8% para rotomoldagem, compartimento onde sobressaem peças moldadas com *grades* de polietileno linear de média densidade (PELMD), para diversos usos como caixas d'água.

Para Callegari (2000), as aplicações em PEAD são mais diversificadas do que as de PEBD. As embalagens são o segmento mais importante, consumindo 600 mil toneladas em 1999 e respondendo por 39% do consumo total. Observa-se que a indústria alimentícia é responsável por 10% do destino desta resina, que é convertido em embalagens para o setor. Pelos indicadores da área, o movimento dos filmes de PEAD tem evoluído em torno de 15% ao ano desde o início da década de 90, em razão,

também, do aumento na oferta regional das sacolas e da presença da resina na embalagem de gêneros da cesta básica. Trata-se da produção de sacolas de saída de caixa à base de filmes de alto peso molecular, um segmento que, pelo consenso dos cinco produtores locais da resina, foi o maior responsável pela fatia de aproximadamente 30% do mercado de PEAD no país, reservada às embalagens flexíveis.

O segmento de bombonas também é um importante consumidor do PEAD, notadamente aquelas utilizadas para armazenar frutas, temperos e condimentos. Também tem aumentado seu uso em baldes industriais em segmentos como óleo comestível.

3.2.3.1.2 POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD)

Primeiro termoplástico produzido no Brasil, a partir de 1958, o polietileno de baixa densidade (PEBD) é obtido por meio da polimerização em alta pressão/fase líquida, que pode utilizar dois tipos de reatores: o “autoclave”, desenvolvido pela britânica Imperial Chemical Industries (ICI), ou o “tubular”, desenvolvido pela Union Carbide (CALLEGARI, 2000).

O parque brasileiro envolve quatro produtores. No Pólo de Camaçari, a Politeño opera a planta de PEBD/EVA, licenciada da Sumitomo. Já no Pólo da Região Sul, está instalada a Triunfo, tendo nas proximidades a unidade da OPP. No Pólo de São Paulo existe a Union Carbide, agora Dow.

No ano de 1999, a capacidade produtiva de PEBD no Brasil era de 779 mil toneladas. Nos anos 90, o consumo aparente de PEBD apresentou o pior crescimento entre as resinas. Entre 1990 e 1999, o crescimento acumulado foi de apenas 13%, mediante a média de 113% de todo o setor. Em 1999, o consumo aparente de PEBD foi de 545,9 mil toneladas, enquanto em 1990 foi de 483,2 mil toneladas. Os fabricantes de PEBD pouco investiram em aumento de capacidade, dando prioridade para as plantas multipropósito de PEAD e PEBDL. Comparado com o PEBDL (linear), o PEBD tem a

desvantagem de exigir mais gastos com energia (CALLEGARI, 2000).

A produção de 1999, que chegou a quase 660 mil toneladas, foi apenas 5% superior à de 1990 e, como foi inferior ao aumento do consumo, as importações tiveram papel crescente. A maior parte do PEBD consumido é direcionada para o setor de embalagens, que responde por de 72% do total, equivalente a 393 mil toneladas em 1999.

Nas suas características gerais, o PEBD se encontra identificado pelo número 4, e pela sua baixa densidade (entre 0,92-0,94) flutua na água. É usado em embalagens plásticas flexíveis, tais como filmes plásticos, utensílios domésticos, brinquedos, ampolas de soro, saquinhos de leite e sacolas.

3.2.3.1.3 POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE LINEAR (PEBDL)

Coutinho (2003) explica a diferença entre PEBD e PEBDL, onde o polietileno linear é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Esse polímero contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal, sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132°C e sua densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm³. O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50.000 a 250.000. Se estabelecida uma comparação, o PEBDL é intermediário entre os demais PE's.

Em relação à estrutura cristalina, o PEBD, quando comparado ao polietileno linear, apresenta cristalitos menores, menor cristalinidade e maior desordem cristalina, já que as ramificações longas não podem ser bem acomodadas na rede cristalina. As ramificações de cadeia curta têm influência, tanto no PELBD como no PEBD, sobre a morfologia e algumas propriedades físicas tais como rigidez, densidade, dureza e resistência à tração. Isso ocorre porque a estrutura ramificada de algumas regiões das moléculas impede um arranjo perfeitamente ordenado das cadeias. Já as ramificações de cadeia longa presentes no PEBD apresentam efeito mais pronunciado sobre a reologia do fundido, devido à redução do tamanho molecular e ao aumento dos

entrelaçamentos.

Attala e Bertinotti (1983) compararam o polietileno linear de baixa densidade com o polietileno de baixa densidade e verificaram que, como uma consequência do baixo teor de ramificações curtas e da ausência de ramificações longas, o PELBD é mais cristalino.

O polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) começou a ser produzido no Brasil em 1993. Depois do PET, o seu consumo é o que mais tem crescido no Brasil ao longo dos últimos anos.

Antunes (2005) relata que foi observado um aumento de 233% em seu consumo aparente, 157% em sua produção e 347% em suas importações. Em 1999, as importações de PEBDL ainda representavam 23% do seu consumo aparente, denotando uma alta parcela do mercado. As petroquímicas produtoras do PEBDL são: Brasken, Ipiranga Petroquímica e Politen, cujas capacidades instaladas de produção podem ser observadas na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4 - EMPRESAS PRODUTORAS DE PEBDL E CAPACIDADE INSTALADA-2004

Empresas Produtoras	Localização	Capacidade Instalada (t/ano)
Brasken	RS	300.000
Ipiranga Petroquímica (⁷)	RS	150.000
Politen	BA	195.000

Fonte: ABIQUIM (2005)

Esse polímero tem o setor de embalagens como maior consumidor representando 76% de seu consumo aparente, o equivalente a 300 mil toneladas em 2000. A ascensão do PEBDL ocorreu principalmente em flexíveis monocamadas, a exemplo de sacaria

⁷ Capacidade multipropósito PEAB/PEBDL.

industrial ou filmes *stretch*. No Brasil predomina o contingente de transformadores adeptos ao processo mais acessível da monoextrusão. Em paralelo, crescem as vendas de coextrusoras, principalmente, pela demanda de indústrias de *pet food*, frigoríficos, laticínios, sabão em pó e fabricantes de molhos e condimentos (O PLÁSTICO NO BRASIL, 2001).

O mercado de alimentos da cesta básica é um dos que consome significativa quantidade de filmes de PEBDL. Esses filmes possuem vários tipos de aditivos como auxiliar de fluxo, deslizando, antibloqueio, branqueador óptico, neutralizante, antioxidantes primários e secundários, sendo que estes últimos detêm de 30 a 50% dos custos de aditivação. Já o branqueador óptico (BO) incide cerca de 2% no custo total do pacote de aditivos da empresa no PEBDL base buteno, em regra destinado a flexíveis como os sacos de arroz, sendo que a tendência mundial é o uso do filme sem o BO. O mercado de arroz é o destino de 35% de filmes de mistura rica para empacotamento automático.

No setor de lácteos o metal das tampas foi substituída por polietileno linear injetado, opção mais segura na sobretampa de latas para alimentos de consumo integral, não instantâneo (PLÁSTICOS EM REVISTA, 1999).

3.2.3.2 OS POLIPROPILENOS

O Polipropileno (PP) surgiu dos trabalhos da Natta, na Itália, em 1955, utilizando o sistema de catalisador de Ziegler⁸. Apresenta densidade da ordem de 0,90 g/cm³, boa

⁸ Nos anos 50 do século 20, Karl Ziegler, na Alemanha, desenvolveu um processo catalítico para a polimerização do etileno (eteno) baseado num catalisador formado pó $TiCl_4$ e $Al(C_2H_5)_3$ e logo em seguida G. Natta, na Itália, utilizou este tipo de catalisador para a polimerização de propileno (propeno). Esse desenvolvimento resultou em uma revolução nos materiais de empacotamento, fábricas e materiais de construção. Um catalisador Ziegler-Natta e um outro catalisador de cromo são amplamente utilizados para polimerização e são partículas sólidas onde a polimerização ocorre. Em grande parte por conta de seu caráter homogêneo, o mecanismo de ação desses catalisadores não tem sido definidos com precisão (SANTOS, 2004).

barreira para vapor de água, média barreira para gases e boa resistência à gordura e a produtos químicos. Entretanto, é sensível à oxidação e altas temperaturas; conserva o aroma e é resistente a mudanças de temperatura. Caso não seja protegido, degrada pela ação da luz (UV) e por agentes ionizantes. O polipropileno é usado na produção de copos de água mineral, de embalagens de massas e biscoitos, frascos de xampu, potes de margarina, potes e bandejas, entre outros. Identifica-se pelo número 5, impresso nos produtos onde se utiliza o PP como matéria-prima. Branqueia quando dobrado ou esticado e possui alto brilho superficial (KIPPER, 2005).

O polipropileno é a resina mais utilizada pelo setor de transformação de plástico no Brasil (**Tabela 3.5**) e seu consumo chegou a 709 mil toneladas em 1999, com peso de 20,6% sobre o total do consumo aparente de termoplásticos no país. O consumo dessa resina acumulou aumento de 194% nos anos 1990. O aumento da produção também foi significativo, atingindo 787,3 mil toneladas em 1999, 159% mais que em 1990, quando chegou a 303,8 mil (CALLEGARI, 2000).

Tabela 3.5: PRINCIPAIS ALIMENTOS DEMANDANTES DA RESINA PP

Produtos	Quantidade (ton.)	%	Valor (milhão US\$)	%
Água Mineral	21.579	19	99,70	20
Manteiga e Margarina	19.711	17	76,80	15
Bebida Carbonatada	14.602	13	57,30	11
Açúcar	14.193	12	50,10	10
Balas e Doces	11.157	10	39,40	8
Outros	35.127	30	186	36

Fonte: ANTUNES (2005)

O maior mercado para o polipropileno é o segmento de transformação voltado a embalagens, responsável por 48% do consumo dessa resina em 1999 (340 mil toneladas). Os segmentos de filmes e as sacarias de rafia são os principais

demandantes de polipropileno dentro do segmento de embalagens. Apesar de seu grande crescimento, o segmento de ráfias encontra dificuldades em crescer junto à agricultura, em razão da pouca mecanização desse setor. Em 1999, a sacaria de rafia teve uma ociosidade de cerca de 32%. Alguns produtores deixaram de atender à agricultura para apostar no quarto segmento de “big bags”, destinados a outros segmentos, como o de cimento.

O Brasil é o principal mercado na América Latina e seus produtores estão investindo fortemente. O polipropileno está se instalando em diferentes mercados. Por exemplo, o tradicional pote de madeira para requeijão Catupiry já foi substituído em 70% do mercado pelo pote de polipropileno. Além disso, o mercado externo só aceita o requeijão acondicionado em plástico, de modo que o pote deva suportar temperaturas de -30°C , neste sentido estuda-se a substituição por polietileno de alta densidade (PEAD) para este fim (PLÁSTICOS EM REVISTA, 1999c).

3.3 RECICLAGEM DO PLÁSTICO

Nos últimos anos, diversos materiais tradicionais como vidro, metais e fibras naturais vêm sendo crescentemente substituídos por produtos de origem plástica. Os vetores dessa substituição dizem respeito a menores custos de obtenção e produção, melhor desempenho, maior flexibilidade, diversidade e assepsia, além a possibilidade de reciclagem. Alguns exemplos importantes desse processo são as embalagens de refrigerantes, que utilizam o polietileno tereftalato (PET), e a crescente utilização de polipropileno (PP) e plásticos de engenharia na indústria automobilística.

Lima (2001) explana que para facilitar a etapa de separação manual dos artefatos plásticos, as empresas de transformação e entidades ligadas à reciclagem, em consonância com a regulamentação internacional, adotaram um sistema de codificação de recipientes plásticos que consiste de um símbolo com três setas em seqüência, normatizada conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 13.230 de 1994 - simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação

de materiais plásticos. Na maioria das embalagens, o triângulo é aplicado em alto relevo na sua parte de baixo. Cada tipo de plástico recebeu uma numeração específica e todas as embalagens plásticas devem ter o respectivo triângulo com a identificação, conforme pode ser visualizado na **Figura 3.7**.

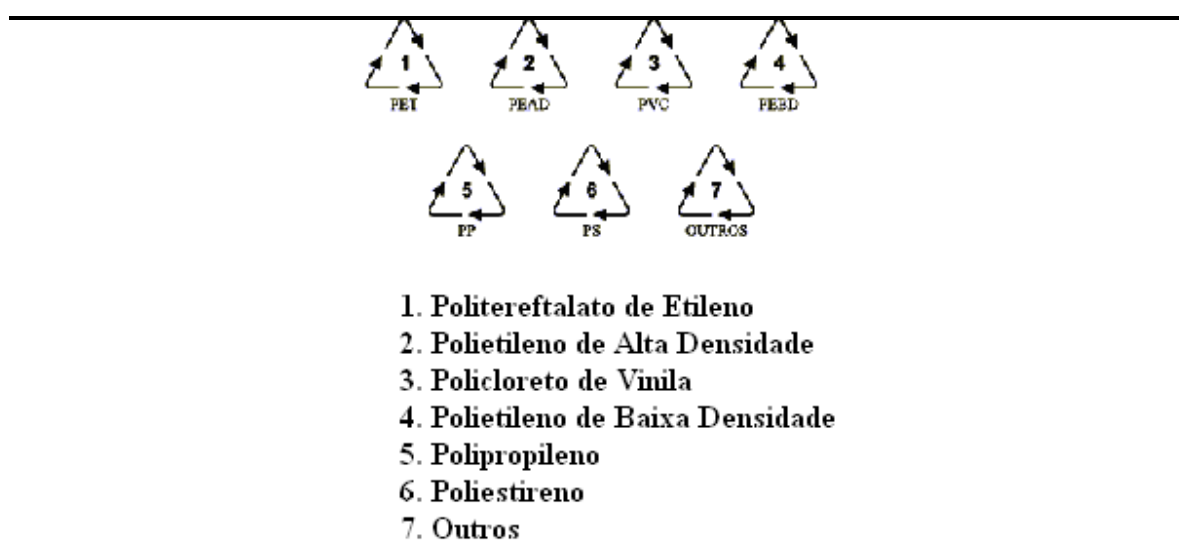


Figura 3.7: SÍMBOLOS INTERNACIONAIS DA RECICLAGEM

Fonte: NBR 13230 (ABNT, 1994)

O **Quadro 3.4** apresenta os vários tipos de plásticos com identificações e suas principais características.

QUADRO 3.4 - IDENTIFICAÇÃO, DENSIDADE E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS RESINAS PLÁSTICAS

IDENTIFICAÇÃO	DENSIDADE	CARACTERÍSTICAS
Poliétilenos de alta densidade	0,952 – 0,965	- baixa densidade (flutuam na água); - amolecem a baixa temperatura (PEBD = 85°C; PEAD = 120°C); - queimam como vela liberando cheiro de parafina e, superfície lisa e "cerosa".
Poliétilenos de baixa densidade	0,917 – 0,940	- baixa densidade (flutuam na água); - amolecem a baixa temperatura (PEBD = 85°C; PEAD = 120°C); - queimam como vela liberando cheiro de parafina e superfície lisa e "cerosa".
Polipropileno	0,900 – 0,910	- baixa densidade (flutuam na água); - amolece à baixa temperatura (150°C); - queima como vela liberando cheiro de parafina; - filmes quando apertados nas mãos fazem barulho semelhante ao celofane.
Policloreto de vinila Rígido Flexível	1,30 – 1,58 1,16 – 1,35	- alta densidade (afunda na água); - amolece a baixa temperatura (80°C); - queima com grande dificuldade liberando um cheiro acre; - é soldável através de solventes (cetonas).
Poliestireno Sólido Espuma	1,05 – 1,07 < 1,0	- alta densidade (afunda na água); - quebradiço; - amolece a baixas temperaturas (80 a 100°C) - queima relativamente fácil liberando cheiro de "estireno"; - é afetado por muitos solventes;
Politereftalato de etileno	1,29 – 1,40	- alta densidade (afunda na água); - muito resistente; - amolece a baixa temperatura (80°C); - utilizado no Brasil em embalagens de refrigerantes gasosos e começando a ser utilizado em embalagens de óleos vegetais, água mineral e etc.
OUTROS: Neste grupo encontram-se os seguintes plásticos: ABS/SAN, EVA e PA.		- flexibilidade, leveza, resistência à abrasão, possibilidade de design diferenciado.

Fonte: Adaptado de PLASTIVIDA⁹ (2005); SOUZA (2002)

⁹ A **Plastivida Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos** é a entidade que representa institucionalmente a cadeia produtiva do setor para divulgar a importância dos plásticos na vida moderna e promover sua utilização ambientalmente correta, ao mesmo tempo em que prioriza iniciativas de responsabilidade

3.3.1 TIPOS DE RECICLAGEM

A Sociedade Americana de Ensaio de Materiais ASTM – (American Society for Testing and Materials, 1991) estabeleceu uma normalização para divisão dos tipos de reciclagem de plásticos com o objetivo de uniformizar conceitos, dividindo-os em quatro categorias:

- a) reciclagem primária – utiliza matéria-prima de fonte confiável e limpa, como, por exemplo, as chamadas rebarbas da própria indústria de plásticos, cujo processo envolve quase sempre a seleção dos resíduos, moagem, lavagem, secagem e reproprocessamento em equipamentos como extrusoras e injetoras. O produto final é o material reciclado com propriedades bastante próximas à resina virgem (ZANIN e MANCINI, 2004);
- b) reciclagem secundária - neste caso a matéria-prima é oriunda de resíduos sólidos urbanos e, algumas vezes, podem também ser de origem industrial. O processo igualmente está baseado em seleção, moagem, lavagem, secagem e reproprocessamento e o produto final é um material reciclado com propriedades finais inferiores à resina virgem;
- c) Reciclagem terciária - este processo é baseado na despolimerização, ou seja, no nível químico é promovida a decomposição controlada do material. Zanin e Mancini (2004) relatam que, neste tipo de reciclagem, os produtos utilizados são oligômeros (cadeias com várias unidades monoméricas unidas, mas em número menor que os polímeros), monômeros e substâncias de baixa massa molar, que, posteriormente, poderão ser submetidos a novos processos de polimerização, processamento, industrialização e utilização;

social. Faz parte do Plastics Global Meeting, encontro mundial das entidades congêneres da Comunidade Européia, Estados Unidos, Canadá, Japão, México, Argentina, Austrália e China, compartilhando novos conhecimentos e tendências.

- d) Reciclagem quaternária - baseia-se na combustão, objetivando o aproveitamento energético, cujos produtos finais são a energia e emissões gasosas, principalmente, dióxido de carbono quando da combustão completa.

É importante ressaltar que não foram aqui relatados processos que envolvem filmes plásticos, que necessitam de etapas adicionais, pois não fazem parte do foco deste estudo.

Dentro desta divisão da ASTM, há outra, relacionada ao processo de reciclagem que o plástico sofrerá. Desta forma, Zanin e Mancini (2004) e Rolim (2005) discorrem sobre esta classificação do processo de reciclagem dividindo-o em: reciclagens energética, química e mecânica.

A **reciclagem energética** consiste em recuperar a energia contida nos resíduos sólidos urbanos na forma de energia elétrica ou térmica. Vale lembrar que a presença dos plásticos na composição dos resíduos urbanos é extremamente positiva, pois esses materiais possuem alto poder calorífico, liberando grande quantidade de calor quando submetidos a temperaturas elevadas.

Em geral, estas misturas de plásticos encontradas nos lixos urbanos possuem um poder combustível de cerca 9.000 British Thermal Unit (BTUs)/kg, enquanto que nas suas frações específicas (separados de outros materiais e/ou por naturezas de plásticos) podem apresentar um saldo energético positivo de até 42.000 BTUs/kg de resíduo. As madeiras secas apresentam um valor energético de 12.000 a 16.000 BTUs/kg e o carvão cerca de 24.000 BTUs/kg. O óleo bruto do refino do petróleo possui valor energético aproximado de 12.000 BTUs/Kg (BROWN, 1992).

O Brasil ainda não faz a reciclagem energética, mas países que adotam essa modalidade, como a Áustria, Suécia, Alemanha e Japão, além de criar novas matrizes energéticas, conseguem reduzir em até 90% o volume de seus resíduos, índice relevante para cidades com problemas de espaço para a destinação dos resíduos sólidos urbanos (ROLIM, 2005). Neste caso, o subproduto da incineração dos resíduos são as cinzas, totalizando os 10% restantes da matéria total incinerada.

Zanin e Mancini (2004, p. 128) descrevem que a reciclagem energética busca a combustão completa do plástico a ser incinerado, em unidades semelhantes às usinas termoelétricas, que são normalmente abastecidas com carvão, óleo ou gás natural. A combustão é feita com excesso de oxigênio, de forma a levar o equilíbrio da reação para os produtos desejados: dióxido de carbono, água (vapor) e energia. Normalmente a energia gerada alimenta o próprio sistema e ainda pode sobrar para ser armazenada, distribuída e vendida. Eventualmente, o dióxido de carbono pode ser separado, armazenado e comercializado, mas os custos do processo e do próprio gás no mercado não tornam o procedimento usual.

A principal desvantagem desse tipo de reciclagem é o custo elevado das instalações, dos sistemas de controle de emissões e operacional, somado à exigência de mão-de-obra qualificada como forma de garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos. Além disto, o sistema é alvo de polêmicas, pois este tipo de reciclagem é associado à simples incineração dos resíduos que, realizada sem tecnologia adequada, gera emissões prejudiciais à saúde e ao ambiente, além de não aproveitar o conteúdo energético dos resíduos.

Neste sentido, Gorni (2005) relata que houve especial preocupação com possíveis emissões de furanos e dioxinas decorrentes da queima do plástico. Contudo, os resultados das medições efetuadas mostraram que não ocorreram alterações significativas em relação à situação anterior. Isto foi conseguido em decorrência da supressão do uso de PVC e outros plásticos clorados, que liberam ácido clorídrico e dioxinas durante sua queima.

De acordo com PLASTIVIDA (2005b) as principais vantagens deste tipo de reciclagem são:

- a) a disponibilidade de tecnologias limpas para queima de descartes sólidos;
- b) a possibilidade de co-processamento com outros combustíveis como, por exemplo, para a queima em fornos de cimento;

- c) a reciclagem energética é realizada em diversos países da Europa, EUA e Japão, pois utiliza equipamentos da mais alta tecnologia, cujos controles de emissão são rigidamente seguros e controlados, sem riscos à saúde ou ao meio ambiente.

Não obstante as vantagens inerentes ao processo de transformação energética, o controle e tratamento dos produtos e substâncias residuais têm sido alvos de críticas severas sob o ponto de vista ambiental. A combustão de materiais plásticos de PVC, por exemplo, é proibida no Brasil. Outro problema que sempre foi alvo de preocupações é a queima de pneus. O maior problema ambiental encontrado nesse processo é a exalação de gases como o dióxido de enxofre e a amônia, que podem levar a precipitação de chuvas ácidas. Assim, torna-se necessário o tratamento desses gases, o que encarece o processo. Para o co-processamento na fabricação do cimento, o pneu é utilizado como combustível no forno da cimenteira e suas cinzas e seus componentes são agregados ao cimento. Na Europa, 40% dos pneus inservíveis são utilizados pelas fábricas de cimento como combustível alternativo no lugar do carvão, pois a borracha de pneu tem maior poder calorífico (de 12 mil a 16 mil BTUs por quilo) que a madeira ou o carvão (ANDRIETTA, 2003).

Rolim (2005) explica que a **reciclagem química**, por sua vez, promove despolimerização dos materiais plásticos para a obtenção de gases e óleos, a serem utilizados como matéria-prima na fabricação de outros polímeros com as mesmas propriedades das resinas originais. O processo também permite a utilização de misturas de diferentes tipos de plásticos, mas tem custo muito elevado, o que explica o reduzido número de plantas em operação no mundo.

PLASTIVIDA (2005b) relata que existem vários processos de reciclagem química, dentre os quais destacam-se:

- a) **HIDROGENAÇÃO** - As cadeias são quebradas mediante o tratamento com

hidrogênio¹⁰ e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias;

- b) **GASEIFICAÇÃO** - Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio;
- c) **QUIMÓLISE** - Consiste na quebra parcial ou total dos plásticos em monômeros na presença de glicol/metanol e água;
- d) **PIRÓLISE** - É a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias.

A recuperação de resinas é também conhecida como reciclagem química, compreende a despolimerização dos materiais plásticos de embalagem e a recuperação e purificação dos monômeros originais, podendo, então, serem novamente polimerizados para a fabricação de novas embalagens plásticas primárias, ou de outros materiais (FORLIN e FARIA, 2002).

Para Bayer (1997), a recuperação de resinas de materiais plásticos para sua reutilização na fabricação de novas embalagens destinadas ao contato com alimentos, envolve a definição dos riscos associados para o consumidor, pela contaminação da embalagem com resíduos que podem migrar para os produtos acondicionados. A aprovação do uso destes materiais requer a avaliação criteriosa de riscos e do potencial de migração de possíveis contaminantes para o produto a ser acondicionado, fundamentado nos conceitos de barreira funcional preconizados pelo Food and Drug Administration (FDA).

A barreira funcional é a camada íntegra da estrutura da embalagem que sob condições normais e planejadas de uso pode impedir fisicamente a difusão de migrantes para o alimento a um nível tecnicamente viável e insignificante sob o ponto de vista

¹⁰ A fonte primária do hidrogênio é proveniente de empresas de fornecimento comercial de gases do ar.

toxicológico e sensorial, denominado *threshold of regulation*, expresso no limite de exposição tolerável de até 0,5 ppb para o consumo de substâncias de toxicidade desconhecida.

A legislação brasileira (Resolução nº 105, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, de 19 de maio de 1999) veta a utilização de materiais plásticos procedentes de embalagens, fragmentos de objetos, materiais reciclados, ou já utilizados, à exceção do PET. Contudo, disponibiliza a utilização, em dependência de regulamentação de processos tecnológicos específicos para a obtenção destes materiais (ANVISA, 1999).

Alguns países do Mercado Comum Europeu, EUA e Canadá já possuem tecnologias regulamentadas para a utilização de resinas recuperadas de materiais plásticos, em embalagens de alimentos, especialmente os fabricados com PET (FREIRE, 1998).

Para Zanin e Mancini (2004), a quase exclusiva concentração de estudos no desenvolvimento de tecnologias para a reutilização do PET em embalagens de alimentos, em relação a outros materiais plásticos, deve-se, à parte das qualidades intrínsecas da resina, ao valor agregado das embalagens fabricadas com este material e às suas características de baixa difusão de contaminantes ou excelentes propriedades de barreira funcional.

A Portaria ANVISA nº 987, de 08 de dezembro de 1998, regulamenta a reutilização de resinas recicladas de PET somente para a fabricação de garrafas multicamadas destinadas ao acondicionamento de bebidas não alcoólicas carbonatadas, como constituinte de camada de barreira funcional com espessura maior que 25 µm e a camada de PET recuperado menor que 200 m, para produtos com a vida útil não superior a um ano, em condições de conservação inferiores ou limitadas à temperatura ambiente.

No âmbito do Mercado Comum do Sul (Mercosul), como na legislação brasileira, estão avançados os estudos para a regulamentação do uso do PET reciclado em estruturas multicamadas em embalagens primárias de alimentos, visando, inclusive, à adequação

da regulamentação existente com a de outros mercados comuns ou países, face ao desenvolvimento e disponibilização de tecnologias compatíveis para a implementação deste processo de reciclagem (ANVISA, 1999).

Forlin e Faria (2002) explanam que os processos de reciclagem química de PET são caracterizados por dois tipos de empresas:

- a) as que operam na valorização e descontaminação do PET oriundo de embalagens pós-consumo, ou de descarte industrial, através das operações unitárias de seleção, moagem de embalagem de PET coletadas, lavagem, secagem e cristalização dos flocos;
- b) as que fabricam materiais de embalagem multicamadas com a utilização de resina PET reciclada e virgem.

Os itens imprescindíveis para a consolidação e viabilidade econômica do processo depende, entre outros fatores, de:

- a) instalações e equipamentos adequados para acondicionamento e processamento do PET pós-consumo, ou de descarte industrial;
- b) pessoal adequadamente treinado para atuar em todas as fases do processo;
- c) fluxogramas detalhados dos processos de reciclagem e fabricação de novas embalagens, com a indicação dos pontos críticos de risco e os sistemas de monitoramento adotados;
- d) controle e registro das fontes recicláveis e das resinas recicladas;
- e) adoção de procedimentos de controle no processo de fabricação de materiais multicamadas com a utilização de resina reciclada, visando atender e propor mudanças na legislação específica;
- f) monitoramento dos resíduos do processo de reciclagem .

Um mercado igualmente promissor para a reciclagem química de embalagens plásticas pós-consumo, notadamente as de PET, é a obtenção de resinas alquílicas para utilização na produção de tintas (ABEPET e CEMPRES, 1997). O mercado de utilização da resina reciclada para a produção de garrafas para bebidas não alcoólicas carbonatadas multicamadas ou moldadas tem aumentado consideravelmente, sobretudo nos EUA e Europa, em função da existência de regulamentação para a utilização de até 25% de resina reciclada na composição total da embalagem. Avanços tecnológicos na reciclagem química de plásticos, especialmente PET, bem como de mecanismos que controlem e atestem a qualidade do material reciclado, indicam excelentes perspectivas na reciclagem destes materiais.

A **reciclagem mecânica** é responsável pela grande reciclagem industrial (primária) existente, na medida em que aproveita, durante o processo, sobras do mesmo e peças fora de especificação. Neste tipo de processo, o plástico passa por etapas de seleção, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e reprocessamento, dando origem ao grânulo ou uma peça de plástico reciclado. Pode envolver aditivação do polímero visando a melhoria de suas propriedades finais. Se as propriedades do reciclado serão ou não semelhantes às da resina virgem, depende de uma série de fatores, como qualidade de cada etapa do processo e da matéria-prima utilizada (ZANIN E MANCINI, 2004).

Para Rolim (2005), dentre as principais vantagens da reciclagem mecânica dos resíduos plásticos podem ser citadas:

- a) a reciclagem mecânica é um negócio acessível a pequenos e médios empresários;
- b) a tecnologia envolvida na reciclagem mecânica para a produção de itens de reduzido grau de exigência técnica (baldes, vassouras, sacos de lixo etc.) é facilmente absorvida;
- c) como são processos físicos, os cuidados ambientais requerem investimentos menores em comparação aos outros processos, concentrando-se nas emissões gasosas, reaproveitamento de águas e controle no descarte dos resíduos;

- d) o sistema também permite absorver mão-de-obra não qualificada;
- e) com a diminuição do volume de resíduos, pode se aumentar a vida útil dos aterros sanitários;
- f) a reciclagem¹¹ contribui para a diminuição ou retirada da população que trabalha nos aterros/lixões;
- g) a reciclagem poupa matéria-prima (petróleo), equivalente à quantidade reciclada;
- h) a valorização do lixo promove a educação da população. As pessoas se conscientizam de que o lixo representa valor e que muitos podem se beneficiar dele;
- i) a geração de novos empregos, tanto formais quanto informais, o aumento da competitividade e a melhoria da qualidade dos produtos.

Como qualquer outro processo industrial, a reciclagem mecânica deve ser economicamente viável, requerendo, entre outros fatores, garantia de fornecimento contínuo de material reciclável, tecnologias apropriadas para os diferentes produtos e valor de comercialização para os novos produtos que compense os investimentos aplicados no processo.

Assim, as principais desvantagens na reciclagem mecânica são enumeradas por Rolim (2005) da seguinte:

- a) a maior parte dos plásticos pós-consumo é comprada suja (contaminada por resíduos orgânicos), pois poucos municípios possuem coleta seletiva, o que onera custos e, muitas vezes, até torna inviável essa forma de reciclagem;
- b) há variação considerável no preço de compra dos materiais a depender, entre outros fatores, da disponibilidade e origem do material;
- c) falta de fornecimento contínuo e homogêneo de matéria-prima, outro reflexo da

¹¹ Na interpretação da autora o termo correto no lugar “reciclagem”, seria “coleta seletiva”.

inexistência de sistemas de coleta seletiva;

- d) a grande maioria dos catadores nunca foi treinada e seus conhecimentos sobre o assunto são adquiridos na prática do dia-a-dia;
- e) existência de intermediários, o que eleva consideravelmente o preço do plástico a ser reciclado;
- f) incipiência nas linhas de financiamento direcionadas às recicladoras;
- g) ausência do código de identificação das resinas em muitos produtos plásticos de acordo com a norma ABNT NBR 13.230. Este item dificulta a separação dos diferentes tipos de plásticos, recorrendo-se, dessa forma, às diferenças das características físicas e de degradação térmica, tais como: densidade, comportamento ao calor e/ou teste da chama. Existe tecnologia para separação dos plásticos, porém, com custo muito elevado. Embora haja uma patente brasileira que permite a mistura de plásticos para fabricação de materiais como assentos de cadeiras, pallets, bombonas, etc., é importante salientar que o PET e o PVC não aceitam misturas. Portanto, aqueles que desejam se dedicar à revalorização destas resinas devem ter unidades para uso específico das mesmas.
- h) tão importantes e decisivos quanto à coleta seletiva para tornar viável a reciclagem de quantidades significativas de plásticos são: a criação de mercado consumidor para os produtos reciclados, e o IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados – que acaba “bi-tributando” os reciclados, sendo atualmente de 12%, valor superior ao da própria resina virgem que paga 10% de IPI, resultando praticamente num desestímulo à reciclagem.
- i) embora as pessoas estejam predispostas a serem consumidores conscientes e a colaborar com o meio ambiente, as mesmas rejeitam de forma geral produtos reciclados, associando-os a má qualidade. São poucos os produtos fabricados com plásticos reciclados cujo marketing se baseia nessa característica.

Apesar de todas as dificuldades anteriormente expostas, existem inúmeros casos de recicladores de plásticos pós-consumo que começaram de forma tímida e hoje operam com boas margens de lucro. Além da persistência, pois o começo, obviamente, é difícil para todos, outro fator determinante para o sucesso de alguns deles foi a criatividade para atuar de forma diferenciada, tanto no sistema de obtenção da matéria-prima quanto no aprimoramento dos fornecedores, ou no tipo de aplicação inovadora para seus produtos. Muitas vezes, descarta-se quantidade considerável de matéria-prima, que poderia ser reciclada sem grandes dificuldades, pois não há “solução ou aplicação criativa” para o material.

3.3.2 A RECICLAGEM DE PLÁSTICOS NO BRASIL E NO MUNDO

Para Carashi e Leão (2002), os resíduos sólidos urbanos têm aumentado continuamente sendo que o resíduo plástico industrial e urbano representa cerca de 8% em massa do Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), correspondendo de 15% a 20% em volume deste mesmo universo. Os tipos de plásticos mais encontrados nos resíduos são PVC, PET, PEAD, PP e PS. Como exemplo de quantidade, pode-se citar o PEAD, que vem se tornando um dos plásticos mais consumidos no mercado nacional, devido à sua crescente utilização, principalmente no setor de embalagens de rápido descarte. Sua presença nos RSU é estimada em torno de 30% dos resíduos plásticos rígidos descartados, perdendo o primeiro lugar apenas para o PET (60%).

O aumento do preço das resinas plásticas, pressionado pelas constantes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional, tem estimulado os transformadores de plásticos na procura de resinas plásticas de menor custo e de boa qualidade. Normalmente, o preço do plástico reciclado é 40% mais baixo do que o da resina virgem. Portanto, a substituição da resina virgem pela reciclada, tem promovido benefícios de redução de custo e aumento de competitividade. O aumento da oferta de resinas plásticas recicladas esbarra na escassez de sucata plástica disponível para consumo. A aprovação de leis ambientais responsabilizando as empresas geradoras

pela coleta e destinação dos seus resíduos resultará num impacto positivo na oferta de matéria-prima para a atividade de reciclagem de plásticos (PIRES, 2006).

Segundo Forlin e Faria (2002), a rentabilidade do mercado de reciclagem de embalagens plásticas no Brasil, como em outros países desenvolvidos, mostra aspectos atraentes para iniciativas empresariais do setor, com reflexos socioeconômicos diretos relacionados com a melhoria da qualidade de vida da população, geração de renda, economia de recursos naturais e atenuação de problemas ambientais.

Para Santos (2004), a reciclagem no Brasil esbarra no suprimento incerto de matéria-prima, na ociosidade e na falta de logística. Por outro lado, apesar do sistema precário de coleta e disposição dos resíduos sólidos, a necessidade de aumentar a renda familiar, associada à viabilidade econômica e à questão ambiental, favorece as atividades de reciclagem. A reciclagem de latas de alumínio é um exemplo bem sucedido e favorecido pela alta relação entre peso e volume dessas embalagens. Como as garrafas de PET são volumosas, esse fator acaba por limitar o crescimento exponencial de seus índices de reciclagem. Por outro lado, nos EUA, a ociosidade associada ao setor de reciclagem está mais vinculada ao baixo preço da resina virgem e a existência de brechas nas legislações estaduais.

Neste sentido, Onusseit (2002) relata que em 2000, aproximadamente 11% da quantidade de plástico produzida nos EUA foram reciclados. Isto significa um grande avanço, pois apenas 1% dos resíduos plásticos eram reciclados em 1987. Corroborando esta afirmativa, Duchin e Lange (1998) expõem que os EUA haviam atingido níveis em torno de 40% de reciclagem de PET em 1995 e, a partir daí, entretanto, enfrentam uma tendência à estagnação nesse índice de acordo com relatórios anuais emitidos pelo Conselho Americano de Plásticos (27% em 1997; 25% em 1998; 23,7% em 1999; 22,3% em 2000; 21% em 2001; 19% em 2002; e 18% em 2003). No máximo, os índices de reciclagem aumentaram acompanhando o crescimento de produção de resina, especialmente devido à absorção da demanda interna ociosa pelo mercado de exportações.

Santos (2004) relata que os índices de PET no Brasil estão aumentando mesmo em relação aos percentuais de venda da resina virgem, sendo que este índice em 2001 esteve na ordem de 31% e é superior aos índices de países como EUA, Japão, França, Inglaterra, Itália e Alemanha. É importante que o Brasil ocupe um papel relevante com relação aos índices de reciclagem de PET, pois ele constitui o terceiro maior mercado mundial de PET grau garrafa.

De acordo com CEMPRE (2007) o Brasil ocupa o quarto lugar na reciclagem mecânica do plástico, ficando atrás apenas da Alemanha, Áustria e EUA.

ABRE (2005) publicou uma pesquisa divulgando dados em que 16,5% dos plásticos rígidos e em filmes são reciclados em média no Brasil, o que equivale a cerca de 200 mil toneladas por ano. Não há dados específicos para o plástico filme; em média, o material corresponde a 29% do total de plásticos separados pelas cidades que fazem coleta seletiva. A taxa de reciclagem de plástico na Europa há anos está estabilizada em 22%, sendo que, em alguns países, a prática é impositiva e regulada por legislações complexas e custosas para a população local, diferentemente do Brasil, onde a reciclagem acontece de forma espontânea. De acordo com Santos (2004), uma das razões para que isto ocorra, apesar do sistema precário de coleta e disposição dos resíduos sólidos, a necessidade de aumentar a renda familiar, associada à viabilidade econômica e à questão ambiental, favorece as atividades de reciclagem.

Um exemplo da experiência européia é o caso da Alemanha, onde existe isenção de impostos e subsídios aos empresários que utilizam reciclagem da ordem de €2,00/ton. Estes números são influenciados por legislações específicas que obrigam o industrial a utilizar pelo menos 30% da matéria-prima provinda da reciclagem.

Os dados comparativos da reciclagem de plástico no Brasil e no mundo podem ser observados no **Quadro 3.5**.

Quadro 3.5 - A RECICLAGEM DE PLÁSTICOS NO BRASIL E NO MUNDO

Brasil	17,5%
Argentina, Uruguai e Paraguai	5%
Chile	Menos que 5%
Alemanha	60%
Espanha	17%
França	15%
República Tcheca	27%
Bélgica	28,5%
Polônia	7%
Suécia	17,6%
Luxemburgo	28%
Estados Unidos	13,5% - maioria garrafas de refrigerantes, água e leite
Colômbia	6%

Fonte: ABRE (2005)

No ano de 2004, com base nos dados de 2003, PLASTIVIDA (2004a) publicou outro estudo feito no país sobre índices de reciclagem mecânica dos plásticos. Este estudo teve abrangência nacional e cumpriu métodos de pesquisa estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Nesta pesquisa, foi constatado que o IRM (Índice de Reciclagem Mecânica¹²) é de 16,5%, mas a estrutura de coleta seletiva hoje tem uma capacidade ociosa em torno de 26,4% que pode ser utilizada. Caso isso aconteça, provavelmente superará a Alemanha e a Áustria, hoje com 31,1% e 19,1% respectivamente. Alguns dos dados desta pesquisa podem ser visualizados nas **Tabelas 3.6 a 3.8**.

¹² Para os estudiosos do setor, a reciclagem mecânica é considerada a mais competitiva.

Tabela 3.6 - GERAÇÃO DE PLÁSTICO PÓS-CONSUMO, EM TON/ANO

Tipo de Resíduo Plástico	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Brasil
PET	24.979	22.903	84.953	59.747	187.816	380.397
PEAD	24.714	22.660	84.053	59.113	185.824	376.364
PVC	6.772	6.209	23.030	16.197	50.916	103.123
PEBD/ PELBD	39.851	36.539	135.534	95.320	299.641	606.885
PP	32.935	30.197	112.012	78.777	247.637	501.558
PS	8.807	8.075	29.952	21.065	66.217	134.115
Outros tipos	4.948	4.537	16.829	11.836	37.207	75.357
TOTAL	143.005	131.119	486.364	342.054	1.075.257	2.177.799
Percentual	6,56	6,02	22,33	15,70	49,37	100,00

Fonte: PLASTIVIDA (2004a)

Tabela 3.7: RECICLAGEM POR TIPO DE RESÍDUO PLÁSTICO CONSUMIDO, EM TON/ANO

Tipo de Resíduo Plástico	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Brasil
PET	627	311	38.192	52.408	127.503	219.041
PEAD	6.055	1.047	11.495	33.515	78.953	131.065
PVC	0	150	4.933	7.399	11.370	23.852
PEBD / PELBD	11.350	1.047	6.859	71.171	76.736	167.163
PP	3.363	3.965	7.503	24.919	65.092	104.842
PS	484	2.992	25	7.303	25.358	36.162
Outros tipos	0	1.047	0	3.743	16.081	20.871
TOTAL	21.879	10.559	69.007	200.458	401.093	702.996
Percentual	3,11	1,50	9,82	28,51	57,05	100,00

Fonte: PLASTIVIDA (2004a)

Tabela 3.8: POSIÇÃO DA IRMP⁽¹³⁾ DO BRASIL EM 2003

Número de empresas	492
Faturamento	R\$ 1,3 bilhões
Capacidade instalada	1,06 milhões de toneladas
Produção	780 mil toneladas/ano
Nível operacional	73,6%
Número de empregos diretos	11.500

Fonte: PLASTIVIDA (2004a)

Nesta pesquisa, não foram contemplados dados da coleta informal. Para Streb (2001) entende-se por coleta informal as atividades que envolvem desde o trabalho do catador

¹³ Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos

até a comercialização dos resíduos. Considera-se o trabalho dos catadores como informal pelo fato de que estes operários são desprovidos de qualquer direito trabalhista formal.

Se, para alguns, a existência dos catadores é um problema, pois onera o preço final da matéria que será reciclada, para outros, é importante. No caso dos catadores de lixo, que, na maioria dos casos, além de manter a cidade limpa, uma vez que as municipalidades não conseguem abranger 100% da limpeza urbana, ainda conseguem aumentar a renda familiar com este tipo de atividade.

Desta forma, a existência dos catadores tem importância vital quando dentro da cadeia hierárquica da gestão de resíduos sólidos. Para Vilhena (1999), a reciclagem é sustentada no Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, pela coleta informal de materiais encontrados nas ruas ou coletados em festividades e lixões.

Dos problemas relacionados à reciclagem, um dos mais graves e que certamente entravam o processo como um todo é a visão pejorativa que se tem quando se sabe que determinado material é reciclado. Este preconceito precisa ser vencido para que a divulgação do uso do material reciclado incentive as vendas e não tenha efeito contrário. Um exemplo típico da presença desse comportamento é a baixa divulgação do uso do reciclado em todo o revestimento de estofamento dos automóveis.

Desta forma, além da divulgação, Santos (2004) indica que para que as metas de reciclagem sejam atingidas, o uso de processos alternativos como *super-clean*¹⁴, pirólise e reciclagem química serão necessários para agregar maior valor a resina reciclada. A abertura e a ampliação do mercado, não apenas do plástico reciclado, como também dos demais materiais utilizados em reciclagem, por meio de novas tecnologias e novos produtos contendo material reciclado, também é um dos meios propostos para aumentar os índices de reciclagem de plásticos.

¹⁴ Os chamados processos *super clean* são comumente utilizados para designar geração zero de resíduos de qualquer natureza.

3.4 ÓLEO LUBRIFICANTE

O óleo lubrificante representa cerca de 2% dos derivados do petróleo, e é um dos poucos que não são totalmente consumidos durante sua utilização. O uso automotivo representa 60% do consumo nacional, principalmente em motores a diesel. Também são usados na indústria de sistemas hidráulicos, motores estacionários, turbinas e ferramentas de corte. É composto de óleos básicos (hidrocarbonetos saturados e aromáticos) que são produzidos a partir de petróleos especiais e aditivados de forma a conferir as propriedades necessárias para seu uso como lubrificantes. São substâncias utilizadas para lubrificar e aumentar a vida útil das máquinas (SBRT, 2006).

Os óleos lubrificantes podem ser de origem animal ou vegetal (óleos graxos), derivados de petróleo (óleos minerais) ou produzidos em laboratório (óleos sintéticos), podendo ainda ser constituídos pela mistura de dois ou mais tipos (óleos compostos). As principais características dos óleos lubrificantes são a viscosidade e a densidade. Para conferir-lhes certas propriedades especiais, ou melhorar algumas já existentes, são adicionados produtos químicos aos óleos lubrificantes, que são chamados aditivos. Os principais tipos de aditivos são: anti-oxidantes, anti-corrosivos, anti-ferrugem, anti-espumantes, detergente-dispersante, melhoradores do índice de viscosidade, agentes de extrema pressão etc.

Os locais de troca de óleo (postos de gasolina, centros de troca, concessionárias de veículos, aeroportos, embarcações etc.) descartam diariamente para o meio ambiente frascos plásticos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), pós-consumo, contaminados com óleo lubrificante e aditivos, utilizados principalmente na manutenção dos veículos automotores.

Pires (2006) relata que o óleo residual contido nestes frascos aumenta o índice de fluidez do plástico, dificultando o processo de reciclagem e prejudicando a qualidade dos artefatos reciclados produzidos, devido à deformidade e presença de odor de óleo. Para evitar estes problemas, é necessário desenvolver tecnologia para a remoção do

óleo e para o tratamento dos efluentes gerados no processo de reciclagem.

A ausência de um processo de descontaminação, até há pouco tempo, e a falta de consciência ambiental fazem com que alguns recicladores processem os frascos contaminados com óleo misturados aos frascos não contaminados. A parcela não coletada (a mais volumosa) é enviada para as áreas de destinação de lixo, juntamente com o lixo urbano. Este procedimento é totalmente inadequado, pois, de acordo com a classificação NBR 10004/04, estes resíduos são considerados perigosos por conterem hidrocarbonetos e, em alguns casos, metais pesados, e devem ser destinados em locais adequados por causa de suas características de periculosidade (BORDONALLI; MENDES, 2005).

O descarte destas embalagens no meio ambiente é também preocupante, pelo potencial de contaminação dos recursos hídricos, causado pelo óleo contido nestas embalagens. Os óleos lubrificantes não se dissolvem na água e não são biodegradáveis, formando películas impermeáveis que impedem a passagem do oxigênio e destroem a vida, tanto na água como no solo, e espalham substâncias tóxicas que podem ser ingeridas pelos seres humanos de forma direta ou indireta. No mar, o tempo de eliminação de um hidrocarboneto pode ser de 10 a 15 anos. Apenas 1 litro de óleo lubrificante automotivo contamina 1.000.000 de litros de água e, se for despejado sobre um lago, por exemplo, seria suficiente para cobrir uma superfície de 1.000 m² com um filme oleoso, danificando gravemente o desenvolvimento da vida aquática, além da bioacumulação de metais pesados (SENAI; MMA, 2006).

De acordo com Pires (2006), testes de extração de óleo lubrificante por hexano, realizados em frascos de um litro, pós-consumo, revelaram a presença de 1% (em massa) de óleo residual (valor médio) por frasco. Baseado no volume de óleo lubrificante comercializado no país em 2003 (868.353m³) divulgado pelo SINDICOM (2006), estima-se que naquele ano foram consumidas 29.177 toneladas de PEAD na

fabricação de embalagens para óleo lubrificante¹⁵ .

Para o autor, a reciclagem destas embalagens a partir de um processo ambientalmente limpo resultaria nos seguintes ganhos: prevenção do destino de cerca de 292 toneladas de óleo e 26.000 toneladas de PEAD (perdas de 10%) ao meio ambiente; abertura de 403 empregos diretos para a reciclagem dos frascos; reaproveitamento de 26.000 toneladas de PEAD na fabricação de embalagens plásticas de uso não alimentício ou farmacêutico, tais como de óleo lubrificantes e aditivos automotivos, produtos de limpeza, produtos fitossanitários e de artefatos plásticos, como conduítes elétricos, componentes de vassoura, etc.

No Brasil, não existe nenhuma legislação que direcione a reciclagem dos frascos vazios de óleo lubrificante, apenas nos estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, as leis estaduais N^os. 3369 e 9921, respectivamente, já regulamentadas, responsabilizam as empresas distribuidoras de óleo lubrificante e aditivos automotivos, pela coleta e destinação ambientalmente adequada das embalagens pós-consumo.

A única regulamentação brasileira existente com relação a óleos lubrificantes é a Resolução CONAMA N^o. 362, de 23 de junho de 2005, dispõe sobre o rerrefino de óleo lubrificante, proibindo a queima e a incineração destes óleos automotivos usados ou contaminados, pois isto representaria a destruição de frações nobres de petróleo que se encontram no lubrificante usado. A mesma resolução não autoriza o aterramento de óleo lubrificante usado. Ao contrário, determina que todo óleo lubrificante automotivo usado ou contaminado deve ser coletado e destinado à reciclagem. Assinala ainda, que a reciclagem deve ser realizada por meio do processo de rerrefino, priorizando o aproveitamento de todos os materiais contidos no óleo lubrificante automotivo usado.

Desta forma, uma série de problemas ligados à questão são relatados por SENAI e MMA (2006), entre eles os mais importantes estão relacionados não apenas às empresas que comercializam óleo lubrificante, mas também às recicladoras, sendo que

¹⁵ Devido à falta de informações não foi considerado o PEAD consumido na fabricação das embalagens de aditivos automotivos

a grande maioria destas últimas, trabalham na ilegalidade, em condições inadequadas e sem licenciamento ambiental. Tanto em um caso como no outro, a maioria destas empresas é de pequeno porte e carece de informações e entendimento relacionado a produtos e resíduos perigosos, formas de manuseio, tratamento e disposição final deste material, bem como de aspectos relacionados à saúde e segurança.

A questão da minimização dos impactos ambientais gerados por resíduos permeia todas essas frentes de trabalho. Pela falta de conhecimento geral, incluindo a legislação ambiental vigente, muitos fatores podem ser trabalhados, como, por exemplo, capacitação dos operários e, em muitos casos, até do proprietário. Esse processo educacional passa por estágios que envolvem tópicos, tais como: conhecimento do negócio enfocando a responsabilidade social, aspectos de higiene e segurança do trabalho, cidadania e a legislação ambiental vigente, entre outros.

3.5 REÚSO DE ÁGUA

A reutilização ou reúso de água, ou ainda em outra forma de expressão, o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo desde há muitos anos. Há relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Ao se analisar a questão na sua totalidade, verifica-se que é preciso considerar o reúso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, compreendendo também o controle de perdas e desperdícios, além da minimização da produção de resíduos e do consumo de água.

No que concerne às políticas públicas, segundo Cordeiro-Netto e Barraqué (1991), raramente são caracterizadas por uma medida isolada e específica. Pelo contrário, são geralmente objetos complexos, tratando de diversas questões e englobando várias instituições, disponibilizando meios de usos múltiplos e fixando vários objetivos.

As atividades industriais no Brasil respondem por aproximadamente 23% do consumo de água, sendo que pelo menos 10% é extraída diretamente de corpos d'água e mais da metade é tratada de forma inadequada ou não recebe nenhuma forma de tratamento (ANA, 2002). Nesta proporção não está explicitado em nenhuma pesquisa, anuário ou publicação, o uso real da água subterrânea, largamente utilizada não apenas pela indústria, mas também pela agricultura e para uso doméstico. As distribuições, de acordo com cada segmento, encontram-se demonstradas nas **Figuras 3.8 e 3.9**.

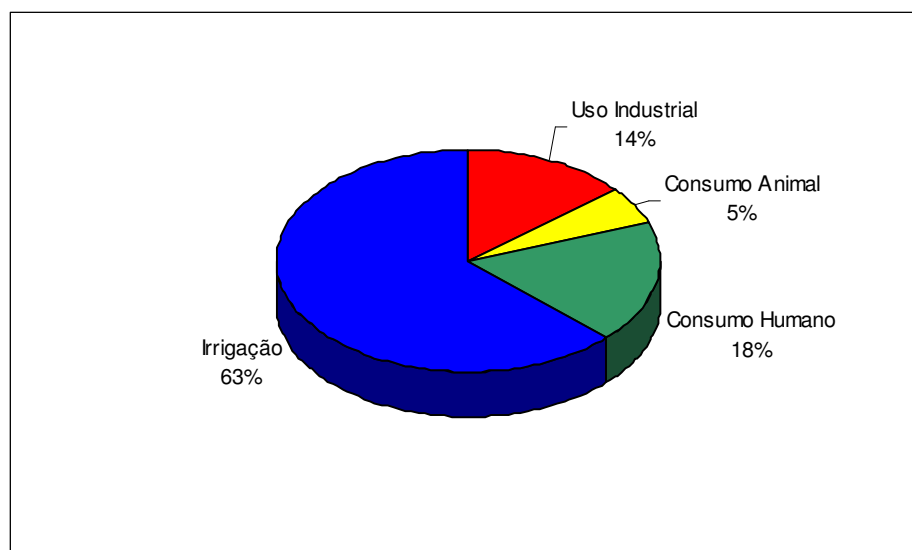


Figura 3.8: DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POR ATIVIDADE NO BRASIL

Fonte: ANA (2002)

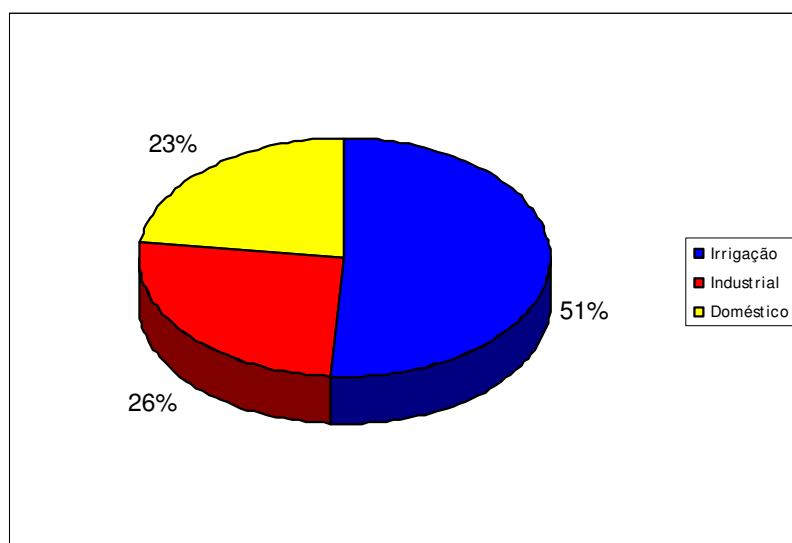


Figura 3.9: PREVISÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POR ATIVIDADE NO ESTADO DE SP
Fonte: ANA, 2002.

Face ao início, em janeiro de 2006, da outorga e cobrança pelo uso da água, a indústria será duplamente penalizada, pois passará a pagar pela captação de água como também pelo lançamento de efluentes. O reúso e reciclagem na indústria passam a se constituir, portanto, em ferramentas de gestão fundamentais para a sustentabilidade da produção industrial (CIRRA, 2006).

A utilização da água em processos industriais resulta em dois grandes problemas para a indústria: o custo com o tratamento da água de processo e o custo com o tratamento dos efluentes gerados. Nem todos os processos que utilizam água necessitam de que a mesma seja completamente limpa. Assim, em vez de usar água nova em cada processo, pode-se reutilizá-la, por exemplo, implantando-se um fluxograma hídrico em cascata, onde o efluente de um processo passe a ser usado como água de processo de um outro.

Para Magalhães (2004), uma vez utilizada, uma determinada água pode ser reciclada (tratada) em estações de tratamento e novamente usada para fins diversos. A

qualidade da água servida afluente à estação de tratamento e o objetivo específico do novo uso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de implantação, de operação e de manutenção associados.

Há várias definições de reúso de água na literatura. Alguns autores utilizam termos como reciclagem, recirculação e reaproveitamento. Na maioria dos casos, são utilizados como sinônimos (ANDERSON, 1996; EPA, 1998).

Para Who (1973), reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

Para efeitos desta pesquisa, considerar-se-á unicamente o conceito de Mierzwa e Hespanhol (2005, p. 119), onde "reúso é a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamento ou, ainda, o uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada".

Neste sentido, depreende-se que o reúso da água reduz a demanda sobre os mananciais hídricos devido à substituição da água que seria captada por outra que já se encontra no circuito hídrico de atendimento ao processo produtivo, ou até mesmo em instalações sanitárias. Esta prática, atualmente muito discutida e posta em evidência, já é utilizada em alguns países, estando baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico. Desta forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir de água dentro dos padrões de potabilidade (MEDEIROS-LEITÃO, 1999).

Complementando estes conceitos, Silva (2000 apud TEIXEIRA, 2003) explana que o reaproveitamento ou reúso é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim, direta ou indiretamente, decorrente de ações planejadas ou

não. A autora utiliza os seguintes conceitos:

- a) reuso potável direto - ocorre quando o esgoto sanitário recebe um tratamento avançado de modo a atingir os padrões de potabilidade. Pode então ser disponibilizado num sistema público de abastecimento. Como o investimento para sua implantação é alto, são raros os exemplos deste tipo de reuso no mundo;
- b) reuso indireto não planejado - ocorre quando a água utilizada por alguma atividade humana, retorna ao ciclo hidrológico, sofrendo diluição e autodepuração no próprio manancial, sendo reutilizada posteriormente de forma não intencional e não controlada;
- c) reuso indireto planejado - ocorre quando o esgoto tratado é lançado de forma planejada no meio ambiente, isto é, nos corpos de água superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. Como exemplo, pode-se citar a recarga de aquíferos na Califórnia. Durante a década de 60, houve redução no nível do aquífero, causada pela exploração da água pela irrigação das plantações de laranja. Para revitalizar o manancial, foi criada uma usina-piloto para purificar o esgoto e injetá-lo de volta ao solo para reabastecer o lençol;
- d) reuso direto planejado (ou reuso direto não potável) - ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente ao local de reuso, não sendo descartados ao meio ambiente. É o caso da água destinada ao reuso na indústria ou irrigação;
- e) reciclagem - é o reuso interno de água, já previamente utilizada, sem sofrer qualquer alteração intencional de qualidade. É um caso particular do reuso direto planejado, ideal sob o aspecto econômico, já que minimiza tanto o consumo de água nova, como o volume de efluentes a serem tratados.

Assim, o reúso da água pode ser aplicado para fins urbanos, agrícolas e residenciais, no entanto, nesta tese tratar-se-á do reúso para fins industriais. Para este fim, as principais aplicações, de acordo com Asano (1991), Hespanhol (2003) e Mierzwa e Hespanhol (2005):

- a) refrigeração, alimentação de caldeiras, **águas de processo** (grifo nosso), construção pesada;
- b) lavador de gases;
- c) lavagem de pisos e peças;
- d) irrigação de áreas verdes.

Para Mierzwa (2002), a prática do reúso pode ser implantada de duas maneiras distintas:

- a) reúso direto de efluentes - neste caso, o efluente originado por um determinado processo é diretamente utilizado em um processo subsequente, de acordo com as características do efluente e os requisitos de qualidade da água utilizada. Este tipo de reúso é conhecido como reúso em cascata;
- b) reúso de efluentes tratados - é o tipo de reúso mais discutido atualmente e consiste na utilização de efluentes já submetidos a um processo de tratamento.

Para o mesmo autor, avaliar o potencial dessas duas opções requer estudos detalhados sobre a complexidade da atividade em que haverá o reúso. Muitos casos exigem alterações nos procedimentos de coleta e armazenagem de efluentes, principalmente quando o enfoque é o reúso em cascata. Neste caso, segundo a filosofia de minimização da demanda de água e da geração de efluentes, é importante priorizar este tipo de reúso, pois o consumo de água é minimizado ao mesmo tempo em que o volume de efluentes a ser tratado é reduzido.

Em um sistema de abastecimento público, a água potável é conduzida aos diversos

consumidores por meio de redes de abastecimento. Após o uso, é coletada pela rede pública de esgotos sanitários e conduzida a uma estação de tratamento de esgotos. O esgoto já tratado e apto a ser lançado em manancial pode ser submetido a processos de tratamento adicionais, visando reúso diversos, excluindo-se o potável. Após atingir os padrões de qualidade recomendados, a água pode ser conduzida aos locais de consumo por outras tubulações que não são as da rede pública de abastecimento de água. Estas tubulações são denominadas redes duplas de distribuição (TEIXEIRA, 2003).

Logo, o reúso da água ocorre quando as águas residuárias, depois de passarem por etapa de adequação à qualidade necessária para o fim específico, são conduzidas por redes exclusivas de distribuição ao local de consumo, o que implica no investimento para implantação dessa rede dupla. Os padrões de qualidade para o reúso são estabelecidos em função de tipo de consumo e do nível de exposição humana a água.

O porte de investimentos na criação da infra-estrutura de redes duplas de distribuição depende do uso que vai ser destinado à água. O planejamento de um sistema como este deve integrar tanto os aspectos do tratamento como a demanda de água necessária. Segundo Tselentis e Alexopoulou (1996), o projeto de um sistema de produção de reúso de água, deve incluir análises as seguintes análises:

- a) tratamento do esgoto e das disposições finais necessárias aos resíduos produzidos;
- b) suprimento e demanda de água;
- c) benefícios ao suprimento de água baseados no potencial do reúso de água;
- d) mercado para o reúso de água, isto é, determinação das possíveis categorias de reúso de água e pesquisa dos possíveis clientes da água para o reúso na região;
- e) avaliações técnicas e econômicas das alternativas encontradas;
- F) implementação do plano com a análise financeira.

A oportunidade para o uso de água de qualidade inferior a potável é abundante, e, conceitualmente, efluentes recuperados poderiam ser usados em muitas circunstâncias no lugar onde atualmente a água potável está sendo usada. Tal uso estaria de acordo com a recomendação de 1958 do Conselho Econômico e Social das Nações Unidas: “a menos que haja excesso, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada em aplicações que tolerem o uso de água com padrão de qualidade inferior” (PEAVY, 1985, p. 58).

Nos EUA, em nível federal, grupos como o Comitê Seletor do Senado em Recursos Hídricos Nacionais chamaram a atenção ao futuro papel do reúso desde o começo dos anos 60. O “Water Resources Planning Act”, de 1965, requer que o reúso seja considerado como um dos métodos alternativos de atender as demandas futuras por água (KASPERSON, 1977).

Atualmente, sob a influência do tema da escassez futura de água, são várias as correntes literárias, e inclusive a mídia, de divulgação de artigos a respeito do uso racional e do reúso de água, prevendo que estas são ferramentas cujo emprego, num dado momento, serão utilizadas por iniciativa própria (ou até mesmo compulsoriamente) pelos diversos setores da sociedade.

Zan (2006) cita como exemplo da seriedade com que o binômio conservação e reúso de água é considerado, uma declaração de políticas relacionadas ao reúso da água aprovada em outubro de 1998 pelo comitê executivo da WEF (Water Environment Federation), que exprimem o que se pretende aqui justificar.

A WEF (1998, p. 21) reconhece neste documento que:

“o suprimento mundial de água é finito e a prática do reúso é a chave para a conservação deste recurso natural; apóia a recuperação de água para fins não potáveis como conservação das fontes potáveis; apóia o uso de água recuperada e altamente tratada para o reúso potável indireto e encoraja o envolvimento público em todos os projetos de reúso de água. O reúso de efluente municipal para propósitos benéficos é um importante elemento do gerenciamento global de

recursos hídricos. O uso de água recuperada para propósitos domésticos, industriais, comerciais, agricultura, meio ambiente, e outros podem conservar e estender o fornecimento de água fresca”.

Na expectativa de Manahan (1994, p. 9) “o reúso de água se tornará muito mais comum conforme a demanda de água exceder o fornecimento”. Segundo o autor, os dois grandes fatores para o crescimento do reúso de água seriam, em primeiro lugar, a falta de suprimento e, em segundo, uma variada disponibilidade de modernos processos de tratamento para o incremento da qualidade de águas residuárias visando o reúso.

Freitas (2001), em uma reportagem intitulada “A corrida pela água” pela revista Exame, concluiu que racionalizar o uso e estimular a reciclagem seriam, em termos de gerenciamento da referida crise, as melhores soluções. No Brasil, grandes consumidores como a distribuidora de leite Vigor, a fábrica de biscoitos Piraquê, as cervejarias Kaiser e Bavária e empresas como Phillips, Kodak, Companhia Siderúrgica Nacional e Usiminas, também investiram na garantia de suprimento e reciclagem da água.

Nestes casos, a quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas atividades consumidoras em uma indústria dependem de seu ramo de atividade e capacidade de produção. O ramo de atividade da indústria, que define as atividades desenvolvidas, determina as características de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que em uma mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade. A oportunidade para o uso de água de qualidade inferior à que está sendo atualmente utilizada é abundante, e, conceitualmente, efluentes recuperados poderiam ser usados em muitas circunstâncias no lugar onde atualmente água de melhor qualidade está sendo usada (NOGUEIRA, 2007).

Mais especificamente, nas organizações que adotam uma política ambiental declarada e mantida, eventualmente com base na norma NBR ISO 14.001, o próprio sistema preconiza a medida do desempenho ambiental¹⁶ como uma ferramenta peculiar para o processo de tomada de decisão. Tal desempenho reflete, sob a ótica financeira, que a

¹⁶ Desempenho ambiental: resultados da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais (definido na norma ABNT NBR ISO 14.031:2004)

eficiência de qualquer negócio pode ser melhorada a partir da redução de custos e melhoria do controle de seus processos. Dependendo da região, a água para estas organizações pode ser um insumo de expressiva representação em termos de custos.

Para Nogueira (2007) os benefícios do reúso de água não são apenas econômicos e ambientais, mas também sociais conforme relatado no **Quadro 3.6**.

Quadro 3.6 – BENEFÍCIOS DO REÚSO DE ÁGUA

AMBIENTAIS	ECONÔMICOS	SOCIAIS
- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas do Estado de São Paulo. - Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando maior equilíbrio. - Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar etc.	- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais; - Mudanças nos padrões de produção e consumo; - Redução dos custos de produção; - Aumento da competitividade do setor; - Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.	- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva; - Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos; - Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

Fonte: Nogueira (2007) - Adaptado

3.5.1 O REÚSO DE ÁGUA E A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A preocupação com a água, com a poluição e com os impactos sociais, o surgimento de movimentos preservacionistas e os avanços da ciência, de Darwin a Gaia, são acontecimentos que foram se somando ao longo da história, pressionando mudanças, definindo ideários e determinando um novo paradigma que incorporasse as questões ambientais, expressas em uma política sobre o meio ambiente (SANTOS, 2004).

Dentre estas questões ambientais, o gerenciamento dos recursos hídricos tem obtido grande destaque, dado que a escassez das águas já é uma realidade reconhecida e os conflitos envolvendo seus múltiplos usos são cada vez mais constantes. Mais do que ser um fator de desenvolvimento de uma região, a água é fundamental para a vida no planeta.

Dada à sua grande importância para o desenvolvimento das diversas atividades humanas, foi indispensável criar normas que disciplinassem a utilização dos recursos hídricos pelos diversos segmentos da sociedade, principalmente pelas indústrias, companhias de saneamento e produtores rurais. Assim, desde sua implementação, a legislação brasileira tem como principal objetivo minimizar os problemas de poluição causados pela emissão de efluentes para os corpos receptores (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

De acordo com Setti (apud Fink; Santos 2003), a legislação brasileira incide na racionalização do uso primário da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Pouco ou quase nada houve de preocupação legislativa no Brasil para fixação de princípios e critérios para reutilização da água.

Os mesmos autores relatam que, apesar da inexistência de legislação específica, a própria legislação brasileira cria as seguintes condições jurídicas e econômicas para a hipótese do reúso de água como forma de utilização racional e de preservação ambiental:

- a) Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei Federal Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997;
- b) Código Florestal - Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, reformulada pela Lei nº 7.803, de 15 de agosto de 1989;
- c) Código das Águas – Decreto Federal Nº 24.643, de 10 de julho de 1934.

Com relação especificamente ao reúso da água, as seguintes legislações podem ser citadas:

- a) Federal: Resolução CNRH No. 54, de 28/11/2005 – modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água;
- b) Estadual (SP): Decreto Nº. 45.805, de 15/05/2001 - institui, no âmbito da administração pública, o Programa Estadual de Uso Racional da Água Potável, com a finalidade de implantar, promover e articular ações visando a redução e o seu uso racional.
- c) • Municipal (São Paulo, SP): lei Nº. 13.309, de 31/01/2002 - dispõe sobre o reuso de água não potável e dá outras providências; lei Nº. 14.018, de 28/06/2005 – institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações e dá outras providências.

Espera-se que o governo federal inicie, juntamente com os governos estaduais, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reúso. Para Mancuso (1992), não se pode admitir hoje em dia, que uma política de gestão integrada de recursos hídricos não contemple o reúso de água. Espera-se o envolvimento de vários ministérios, em nível nacional, para o estabelecimento e a efetivação de uma política eficaz de reúso de águas no Brasil. Esforços já estão sendo envidados, por meio da Secretaria de Recursos Hídricos para que haja o envolvimento do Ministério da Agricultura, de outros setores do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Saúde. Segundo Hespanhol (1997), da mesma forma, os Ministérios da Fazenda, Orçamento e Gestão e as companhias de água e saneamento

estaduais devem estar envolvidas no processo. Neste sentido, o reúso deve estar na pauta dos organismos gestores dos recursos hídricos, fazendo parte do planejamento da bacia hidrográfica.

3.5.1.1 LEI Nº. 9.433/97

Para Kelman (2000) a Lei Federal Nº 9.433/97 é um dos requisitos fundamentais para o sucesso da implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, pois definiu cinco instrumentos essenciais à sua boa gestão:

- a) outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos;
- b) cobrança pelo Uso da Água;
- c) enquadramento dos corpos d'água em classes de uso;
- d) sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;
- e) plano Nacional de Recursos Hídricos.

Em seu Capítulo II, Artigo 2º, Inciso I, estabelece, entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (SGRH), a necessidade de "Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos".

Considerando que já existe atividade de reúso agrícola em algumas regiões do Brasil, a qual é exercida de maneira informal e sem as salvaguardas ambientais e de saúde pública adequadas, torna-se necessário institucionalizar, regulamentar e promover o setor através da criação de estruturas de gestão, preparação de legislação, disseminação de informação, e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as nossas condições técnicas, culturais e socioeconômicas.

No Brasil a prática do uso de esgotos, principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras já é de certa forma difundida. Entretanto, constitui-se em um procedimento não institucionalizado e se desenvolve sem nenhuma forma de planejamento ou controle. Na maioria das vezes, é totalmente inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças ou vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos. Em termos de reúso industrial, a prática começa a se implementar, mas ainda associada a iniciativas isoladas, a maioria das quais, dentro do setor privado.

Quanto à questão das águas subterrâneas, elas são contempladas em alguns dos seus artigos. O artigo 12, por exemplo, afirma que "estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo". Como os usos sujeitos à outorga serão cobrados (artigo 20), as águas subterrâneas são passíveis de cobrança.

Para Hardt e Hardt (2004) a questão da água subterrânea é motivo de preocupação, pois um dos principais problemas que afetam as cidades densamente povoadas são os efeitos da urbanização excessiva na quantidade e qualidade das águas subterrâneas. A fragilidade ambiental das áreas cársticas soma-se aos demais processos resultantes do fenômeno de urbanização, devendo condicionar fortemente as políticas públicas de gestão deste espaço, com base em princípios de sustentabilidade.

Entre estes efeitos estão, por exemplo, a redução de recarga subterrânea e a poluição subterrânea a partir de diversas fontes (como aterros sanitários, sistemas de esgotamento sanitário com vazamentos, fossas sépticas etc.). O planejamento urbano, portanto, deve ser realizado considerando medidas para a minimização de tais danos, mesmo porque são diversas as áreas urbanas localizadas sobre aquíferos freáticos (por exemplo, Long Island nos Estados Unidos, Perth na Austrália, Tel Aviv em Israel e a

grande região do aquífero¹⁷ Guarani no Brasil) e bastante conhecidos os problemas relacionados ao mal gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos (por exemplo, o afundamento que ocorre na cidade de Cajamar/SP, na Cidade do México e em algumas zonas de Bangkok, chegando neste caso a ser de 14 cm por ano, agravando inundações e destruindo a infra-estrutura urbana).

Para Hardt e Hardt (2004) o fato destes riscos não serem visíveis e nem perceptíveis ao cidadão comum, por ocorrerem em substratos subterrâneos, contribui para que haja maior dificuldade na sua divulgação e na conscientização coletiva.

Desta forma, Ribeiro e Lanna (1997) alertam que a cobrança do uso da água concentra-se no uso da água superficial. Há necessidade, entretanto, de se estender tais estudos para o caso da água subterrânea que pode, inclusive, ser entendida como de maior valor econômico em função de sua qualidade e das dificuldades de recuperação, uma vez degradada (FREIRE, 1999).

Em termos de diretrizes políticas, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União como um dos instrumentos da gestão dos recursos hídricos, definida pela Lei Nº 9.433/97, operacionalizada pela ANA (Lei nº 9.984/2000), em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, constitui-se num incentivo ao reúso da água, uma vez que o usuário que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação e lançamento e conseqüentemente tem sua cobrança reduzida. Assim, quanto maior for o reúso, menor será a utilização de água e menor a cobrança. Dependendo das vazões utilizadas, o montante de recursos economizados com a redução da cobrança em função do reúso pode cobrir os custos de instalação de um sistema de reúso da água na unidade industrial (CIRRA; DTC ENGENHARIA, 2004).

¹⁷ Freire (1999) explica que os aquíferos entendidos como estruturas que retêm águas infiltradas, podem ter prolongamentos além das fronteiras estaduais, ou seja, as águas subterrâneas, a exemplo do que ocorre com as superficiais, podem ser de domínio estadual ou federal, sendo sua caracterização dependente da direção dos fluxos subterrâneos e das áreas de recarga. Se for um aquífero livre, sua recarga ocorre em toda a sua área de exposição e, se for confinado, há áreas restritas de alimentação que devem ser avaliadas para caracterização de seu domínio.

Neste ponto, é importante ressaltar que a implantação da cobrança pelo uso da água no Brasil pode vir a ser particularmente complexa devido às peculiaridades jurídicas relativas aos recursos hídricos, notadamente porque há águas de domínio da União e águas dos Estados da Federação. Essa particularidade implica, de modo geral, a existência de sistemas de cobrança distintos nos níveis federal e estadual. Quando se trata de bacias de rio de domínio da União — ou seja, bacias em que pelo menos o rio principal pertença à União —, o sistema federal e os sistemas estaduais devem ser necessariamente complementares e, na medida do possível, similares (JOHNSSON, 2003).

Neste sentido a ANA elaborou a Resolução Nº 467, publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 22 de novembro de 2006. Com esse instrumento legal, o Brasil dá um passo à frente na normatização dos direitos de uso de recursos hídricos e na política de boa vizinhança. De forma inédita, a resolução estabelece os critérios técnicos para a análise dos pedidos de outorga em lagos, reservatórios e rios fronteirios e transfronteirios.

ANA (2007) ressalta que no Brasil há 74 rios fronteirios e transfronteirios. Os brasileiros “compartilham” a água principalmente com a Colômbia (21), Bolívia (17) e Peru (16).

Independentemente de diretrizes governamentais, no cenário empresarial o emprego de alguma forma de avaliação ambiental não é uma atitude nova de uma gerência responsável e inovadora, porém, a medida em que os impactos ambientais da indústria e do estilo de vida moderno se tornam uma questão importante em todo o mundo, essas empresas passam a tratar de forma sistêmica a avaliação, o gerenciamento e a minimização dos impactos ambientais de suas atividades (MCG-QUALIDADE LTDA, 2000).

Neste ponto, pergunta-se: a questão do reúso da água é um conceito voltado à natureza ou é uma questão meramente econômica? Ao analisar-se a história, pelo menos do ponto de vista do empresário, se verificará que as medidas ambientais adotadas pelas empresas ocorreram apenas porque havia alguma medida legal que os

atingiriam economicamente, um exemplo disto são os chamados selos verdes.

Corroborando esta idéia, Cecchin (2003) relata que o setor empresarial aparece como ambientalista somente a partir da década de 80, quando começa a abandonar sua imagem de que não estavam preocupados com a responsabilidade social, passando a adotar uma imagem de "amigo do verde". Até então, preservar o meio ambiente significava, para o empresariado, investimentos financeiros sem retorno, reduzindo a competitividade da empresa frente ao mercado. Meio ambiente e desenvolvimento apareciam como realidades antagônicas e se acreditava que, para haver crescimento econômico, deveria haver, necessariamente, poluição e esgotamento de recursos naturais. Ecologia era entendida como um freio ao crescimento e só deveria ser levada em conta quando o país atingisse o pleno desenvolvimento econômico.

Vale lembrar que o Brasil, ao não contabilizar os custos ambientais no processo produtivo, andando na contramão de outros países que já na década de 60 e 70 possuíam pesadas restrições ambientais, teve esta visão propagada no mercado internacional, passando a apresentar vantagens competitivas. Assim, além das vantagens da mão-de-obra barata e dos subsídios aos investimentos estrangeiros, o país tinha como política a permissividade em exaurir os recursos naturais e, ao mesmo tempo, poluir o meio ambiente. Desta forma, observou-se uma migração de indústrias poluidoras dos países do norte para os países do sul, na busca destes "benefícios" competitivos.

Na década de 80, porém, em grande parte como resultado do crescimento das pressões populares e governamentais, se inicia o que Layrargues (1998) chama de "apropriação ideológica", em que o setor empresarial se apropria de parte do ideário ecológico, se auto-intitulando o principal segmento capaz de levar adiante o projeto de uma sociedade ambientalmente sustentável.

Assim, enquanto os paradigmas vigentes nas sociedades industrializadas de consumo são apontados, pelos grupos ambientalistas originais, como a causa da primeira problemática ambiental, o setor empresarial postula exatamente o contrário, ou seja, que o mercado e o capital serão capazes de resolver todos os constrangimentos ambientais, dentro do atual e

hegemônico modelo de desenvolvimento econômico, sobretudo por meio da competitividade empresarial que estimularia o uso de tecnologias limpas, o desenvolvimento de produtos "verdes" e "ecologicamente corretos" e a visão de meio ambiente como nova possibilidade de negócio. A conscientização ecológica e a conseqüente pressão exercida pelos consumidores que buscam produtos "verdes" também são apontadas como exemplos de auto-regulação do mercado, assumindo, quase que "naturalmente", os constrangimentos ambientais. Paradoxalmente, se para alguns a civilização industrial tecnológica de consumo é apontada como determinante da crise ambiental, para outros, esta é justamente a solução (LAYRARGUES, 1998).

3.5.1.2 DEMAIS LEGISLAÇÕES

Além da Lei nº 9.433/97, pode-se citar também a Resolução CONAMA N° 5, de 15 de junho de 1988 que regulamenta o licenciamento de obras de saneamento básico; a Lei Estadual N° 7.750, de 31 de março de 1992, que dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento, a Resolução SMA N° 19, de 22 de março de 1996, que estabelece critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental dos Sistemas Urbanos de Esgotamento Sanitário, e a Resolução CONAMA nº 357, de 18 de março de 2005, que cria condições jurídicas para classificação das águas doces, salobras e salinas de acordo com suas utilizações e padrões de qualidade, indicando e definindo o reúso indireto. Esta resolução também regulamenta os procedimentos para o lançamento de efluentes nos corpos d'água e define as concentrações máximas para o lançamento de algumas substâncias. É importante observar que o lançamento de qualquer efluente não pode provocar a mudança de classe do corpo receptor.

Para Mierzwa e Hespanhol (2005), outra lei que deve ser considerada, muito embora não seja específica sobre o gerenciamento de recursos hídricos, é a Lei de Crimes Ambientais (N° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998), que dispõe sobre as sanções ambientais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

Em que pese a importância e necessidade de legislação específica que discipline a adoção das práticas de reúso pelos diferentes setores usuários dos recursos hídricos, é de fundamental relevância que tais práticas sejam criteriosamente adotadas, resguardando-se a saúde pública e observando-se os cuidados necessários para a preservação do patrimônio, equipamentos e segurança dos produtos e serviços oferecidos aos usuários.

Complementando a afirmativa acima, EPA (2004) afirma que ao estabelecer o grau exigido para águas de reúso ou, quando da elaboração de diretrizes para águas de reúso, devem ser consideradas as variáveis de acordo com o tipo de aplicação, o contexto regional e, sobretudo, a percepção dos riscos envolvidos. Dependendo das especificações do projeto, a qualidade de água exigida será diferente para cada caso, bem como os processos de tratamento e os critérios para operação e confiabilidade. Entretanto, o ponto inicial para qualquer projeto de reúso de água deve assegurar a saúde pública e segurança.

Portanto, é preciso, a partir de esforços conjuntos das entidades públicas e privadas, tornar de amplo conhecimento público os principais condicionantes, benefícios e limitações que essas práticas possuem, tanto para que não sejam criadas expectativas fantasiosas sobre o tema, como soluções de fácil implementação e resultados imediatos, quanto para que não se adotem essas medidas sem as precauções necessárias para a preservação da integridade de operadores e usuários, de bens, e de equipamentos (SINDUSCON, 2005).

3.5.2 REÚSO DE ÁGUA: APLICAÇÕES REAIS

Existem diversos exemplos de aplicação do reúso nas indústrias brasileiras, casos do chamado reúso indireto, quando uma água de bacia muito degradada passa a ser captada e tratada para uso industrial, e também do reúso direto, aquele no qual o

efluente da empresa é recuperado e reutilizado no processo original ou em aplicações “menos nobres”, como lavagem de pisos e equipamentos ou em reposição de torres de resfriamento.

No entanto, a maioria das empresas que implementam o reúso de água possui como característica principal a necessidade de águas de alta qualidade em seus sistemas, utilizando então processos avançados no tratamento de seus efluentes (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração) que possibilitam até sua desmineralização, ou seja, retiram os sais dissolvidos presentes na água, pois estes promovem, na maioria dos casos, incrustações em caldeiras, turbinas, reatores etc., ou pela necessidade de uso de água que não deixe “traços” no produto final, como é o caso das indústrias de alimentos e bebidas, principalmente, nas operações de lavagens de equipamentos e embalagens.

Embora seja uma prática bastante difundida e largamente utilizada no hemisfério Norte (principalmente Europa e EUA), são ainda tecnologias consideradas caras para a maioria dos empresários brasileiros. Furtado (2005) explica que apesar do metro quadrado de membrana para osmose reversa ter passado de US\$ 500 para US\$ 120 em oito anos, há quem acredite que, ao contrário das membranas de osmose reversa, as de ultrafiltração não devam ser “comoditizadas”. Isto é facilmente explicado pelo fato de que cada fabricante tenha desenvolvido um tipo de *design* e tecnologia para sua membrana. Depois de adquirido, o usuário torna-se dependente do fornecedor da tecnologia.

A Coats Correntes foi a pioneira no uso de água de reúso e, desde 1997, utiliza 70 m³/hora de água de reúso na lavagem e no tingimento de linhas. Esse pensamento ecológico possibilitou que a empresa ganhasse, pela terceira vez consecutiva, o Certificado Oeko-Tex, padrão 100, emitido pela Associação internacional de Testes e Pesquisas Ecológicas para área têxtil. Ela também recebeu um prêmio de Honra ao Mérito da ONG europeia Friends of The Earth. Coats conseguiu economizar 60% dos gastos com água depois que começou a consumir água de reúso. A empresa investiu aproximadamente US\$ 200 mil no processo, cuja infra-estrutura possibilita, ainda, que

ela reaproveite 40% da água de reúso por meio de uma estação de reciclagem. Os 60% restantes são pré-tratados dentro da estação de tratamento da indústria e depois devolvidas para a SABESP.

A Rhodia Têxtil, em Santo André/SP, iniciou seu projeto de implantação em 1989, culminando com o circuito fechado hoje atingido pela unidade produtora de fios de poliamida e de fibras de acetato de celulose da empresa de origem francesa. O motivo da opção pelo reúso foi, conforme já citado anteriormente, é que a água da região onde a indústria está instalada é a mais cara do Brasil (cerca de R\$ 15 /m³) e naquele período sinalizava para um agravamento de preço, o que por sinal fez muitas indústrias vizinhas migrarem para outras cidades e, em alguns casos, para outros estados.

Entre as etapas da implantação, a primeira foi deixar de captar água do rio Tamanduateí, transformando a estação de tratamento de água em uma de efluentes. Para isso, foram incluídos dois geradores de ozônio para desinfecção: um logo após a aeração do tanque biológico e antes de seguir para a coagulação e outro no final do tratamento. O primeiro provou conseguir, além da oxidação dos contaminantes, reduzir o consumo de hipoclorito e de cloreto férrico empregado para a coagulação. Essa fase foi finalizada em 1995, quando a Rhodia deixou de captar completamente água do rio, utilizando o efluente interno recuperado como make-up das torres de resfriamento. Em 1997 foi construída uma nova lagoa de aeração.

Furtado (2005) relata que com a substituição do sistema de troca iônica por uma unidade de osmose reversa o reúso tornou-se possível. A proporção de uso da água da Serviço Municipal de Água, Saneamento Básico e Infra-estrutura (SEMASA) de Itajaí, SC, e de poços era de quatro partes para três. Com as mudanças, toda a água de caldeiras hoje provém apenas dos poços situados a 200 metros de profundidade. A economia de água representou ganhos anuais de US\$ 4,4 milhões, ante o investimento total do projeto de US\$ 3 milhões (em tecnologias e redes novas e segregadas). Como aprimoramento do projeto, a Rhodia pretende até 2007 instalar uma unidade de ultrafiltração para polimento dos efluentes tratados, com vazão de 40 m³/h.

Outro exemplo é o da PETROBRAS localizada no estado de Minas Gerais, em sua unidade da Refinaria Gabriel Passos (REGAP), na cidade de Betim. Nesta unidade, estão sendo avaliados, por exemplo, processos de clarificação avançada e de filtração especial. Passam por teste também filtros de carvão ativado, unidades de membranas de osmose reversa e de eletrodialise reversa (para remoção de cloretos) e as de micro e ultrafiltração e sistemas de *membrane bio-reactor* (MBR), sendo estes últimos para remoção de sólidos suspensos, colóides, bactérias e vírus. As experiências começaram a gerar os primeiros resultados e algumas delas já são recomendadas às refinarias. Segundo a coordenadora da pesquisa, a engenheira Vânia Santiago, as tecnologias de membrana, incluindo a eletrodialise reversa, a osmose reversa e o MBR tiveram eficiência comprovada e serão implementados para projetos de reúso. Como necessitam de pré-tratamentos mais severos, para não afetar as membranas serão indicados também filtros de cascas de nozes, para remover óleos residuais, e filtros de carvão ativado, para combater compostos orgânicos não-biodegradáveis (FURTADO, 2005).

No setor público, a SABESP (2005) informou que cinco prefeituras da região metropolitana de São Paulo também usam água de reúso para efetuar a limpeza de ruas após as feiras livres, caminhões devidamente preparados seguem às estações de tratamento de esgotos de Barueri, Parque Novo Mundo e São Miguel Paulista para se abastecer da água de reúso. Atualmente, são aproveitados 34 milhões de litros de água mensalmente nestas práticas. Além do ganho ambiental com a maior oferta para o consumo humano, as empresas e prefeituras reduzem os gastos com água e pagam R\$ 0,36 por mil litros de água.

4 UNIVERSO DA ANÁLISE

4.1 CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA UTILIZADA COMO ESTUDO EM ESCALA REAL.

A empresa objeto do estudo de caso em escala real é a LABORMAX, sediada na cidade de Indaiatuba/SP, e criada, originalmente, com o intuito de fabricar embalagens de plástico para envase dos produtos químicos fabricados pela principal empresa do grupo a PRIORPAK (detergentes, amaciantes, água sanitária, desinfetantes, etc.), também, localizada no mesmo município. Desta forma, toda a produção de embalagens é utilizada internamente pelo mesmo grupo empresarial. Atualmente, cerca de 90% da matéria-prima constitui-se em frascos pós-consumo (**Figura 4.1** e **Figura 4.2**), alcançando o montante de 100 a 200 ton/mês, adquirida de três fontes:

- a) vasilhames danificados nos processos da PRIORPAK;
- b) material adquirido de cooperativas de coleta seletiva da cidade de Indaiatuba;
- c) material adquirido de aterros sanitários/lixões das cidades vizinhas.



Figura 4.1: FARDO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.2: LOTE DE EMBALAGENS ESTOCADO EM ÁREA DA LABORMAX – LOCAL DE CONSTRUÇÃO DO STAR⁽¹⁸⁾
Fonte: MENDES (2006)

As diferentes origens da matéria-prima geram dois tipos de lotes com características distintas em termos de contaminação, cujos reflexos são estendidos aos efluentes gerados. Nos lotes de vasilhames da própria PRIORPAK, a matéria-prima encontra-se praticamente limpa de contaminação externa, enquanto que a oriunda da coleta seletiva e aterros/lixões manifesta teores variados de contaminantes, dependendo do contato com outros resíduos urbanos e industriais, além da influência de sua origem, triagem, armazenamento, exposição a chuvas e solos e transporte até a indústria.

Além dos fornecedores atuais, a empresa pretende, em um futuro próximo, dar início ao uso de matéria-prima exclusivamente contaminada com óleos lubrificantes (frascos oriundos de postos de combustíveis, oficinas de manutenção de veículos e montadoras), porém, durante o período de levantamento de dados, já foram feitos testes com lotes de plásticos desse tipo. Em futuro remoto, investigar a possibilidade de utilizar embalagens de agrotóxicos.

¹⁸ STAR – Sistema de Tratamento de Águas Residuárias

A empresa ocupa uma área de 14.500 m², sendo 6.578 m² de construção, destinados, principalmente, ao armazenamento de matéria-prima, de embalagens fabricadas, dos setores de extrusão de embalagens, expedição, transporte e administração e, dentre os quais, 1.636 m², em galpão exclusivo, executam-se as operações de picagem, lavagem, secagem, estoque e reciclagem mecânica dos plásticos.

A reciclagem mecânica consiste em submeter os materiais plásticos a processos físicos, de compressão e aquecimento, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original. Os materiais termoplásticos, como é o caso da matéria-prima utilizada pela empresa, adequam-se vantajosamente ao processo, preservando, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais. As etapas encontram-se descritas a seguir, sendo apresentadas de forma sucinta no fluxograma apresentado na **Figura 4.3**.

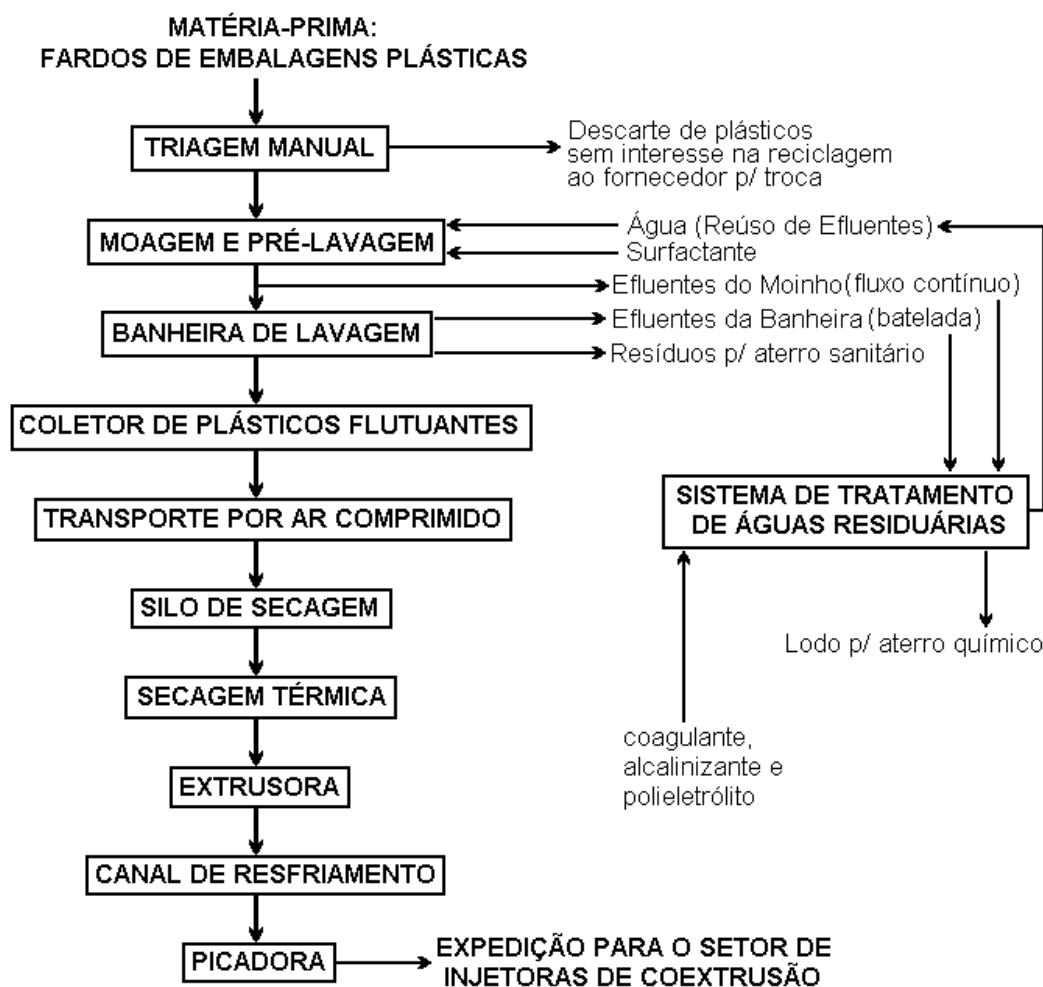


Figura 4.3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM DA LABORMAX
Fonte: MENDES (2006)

Separação Manual: Numa esteira (**Figura 4.4**) são realizadas a separação e triagem dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de plásticos, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, restos de alimentos, etc. Estes materiais considerados inadequados à LABORMAX são revendidos (caso de embalagens plásticas de materiais incompatíveis com o processo) ou encaminhadas para disposição em aterro (caso de restos de comida, pedaços de tecidos, tampas de garrafas, rótulos de plásticos, etc.). Por ser uma

etapa manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam esta tarefa. Pelas informações do empresário, trata-se da operação de maior alocação de mão-de-obra, já que, em média, um operário processa cerca de 15 kg/h de material.

Moagem e Pré-lavagem: As embalagens, ainda inteiras, são transportadas por esteira deslizante até moinho de facas rotativas provido de bicos injetores de água sob pressão. O uso da água, a injeção de surfactante, conjuntamente com a agitação intensa e atrito proporcionado pelo moinho de facas, são suficientes para proporcionar a pré-lavagem adequada dos lotes de embalagens plásticas de uso doméstico (também as de óleo lubrificante, porém, com maior dosagem de surfactante) para posterior continuidade do processo de reciclagem mecânica. A saída do moinho é provida de peneira vibratória com abertura de 5 mm, responsável pela separação dos plásticos picados da água utilizada na pré-lavagem. Sob ação da gravidade, a água é encaminhada a canaleta de drenagem instalada no piso do galpão industrial, direcionando o fluxo até o poço de sucção de efluentes brutos. Por sua vez, os plásticos são direcionados à entrada de canal (banheira) para continuidade da lavagem. O local de abrigo (**Figura 4.5**) desses equipamentos é provido de blindagem sonora em função da geração de altos índices de ruído.



Figura 4.4: VISTA DE ASPECTO DA ESTEIRA DE SEPARAÇÃO MANUAL DOS PLÁSTICOS DE INTERESSE (PEAD E PEBD)
Fonte: MENDES (2006)

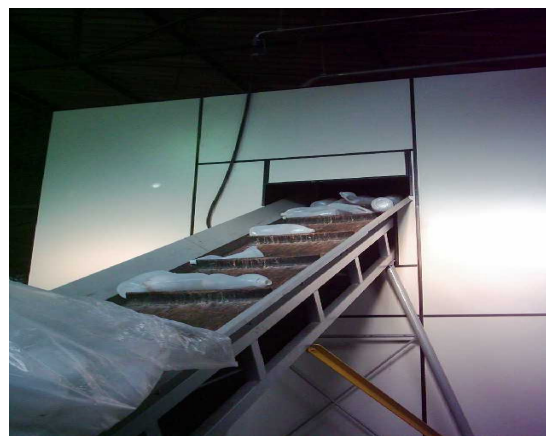


Figura 4.5: VISTA DE ESTEIRA DE TRANSPORTE ATÉ O MOINHO DE FACAS E PRÉ-LAVAGEM
Fonte: MENDES (2006)

Lavagem e Coleta de plásticos de interesse à reciclagem: A lavagem é complementada em banheira (em formato de canal) contendo água com regime de descarte por batelada, com dimensões de 1,00 m de largura, 1,30 m de altura e 5,20 m de comprimento, cujo volume útil é de, aproximadamente, 6,0 m³. Após a pré-lavagem, os plásticos percorrem o canal, impulsionados por sistemas de turbinas rotativas de eixo horizontal instaladas em série, providas de 3 pás que conferem ao fluxo de plásticos flutuantes um regime de escoamento longitudinal, conforme mostrado na **Figura 4.6**. Os materiais de maior densidade que a água, tais como, areia, silte e plásticos de resinas sem interesse à reciclagem pela empresa, entre outros, sedimentam, sendo acumulados por um período variável entre 7 a 15 dias, dependendo da deterioração da qualidade da água e da eficiência da lavagem dos plásticos. Os descartes para troca do banho são direcionados ao poço de sucção de efluentes brutos, enquanto os resíduos, após armazenamento em caçamba, seguem para aterro sanitário. A coleta dos plásticos flutuantes é feita por meio de equipamento de rotação contínua instalado na extremidade de jusante do canal de lavagem. O sistema é constituído de tambor rotativo de eixo horizontal, provido de canecas executadas em

chapa perfurada para assegurar o recolhimento dos plásticos e drenagem do excesso de água, conforme mostrado na **Figura 4.7**.



Figura 4.6: VISTA GERAL DO CANAL DE LAVAGEM E COLETA DE PLÁSTICOS FLUTUANTES
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.7: VISTA DO EQUIPAMENTO ROTATIVO DE COLETA DE PLÁSTICOS FLUTUANTES
Fonte: MENDES (2006)

Secagem: Os plásticos coletados são lançados em transportador rotativo tipo parafuso de Arquimedes (**Figura 4.8**), direcionando-os à câmara interligada a sistema de ventilação forçada, proporcionada por soprador tipo turbina. Impedidos de retornar pela presença da rosca sem fim, os plásticos são direcionados até tanque vertical ciclonado, conforme pode ser visualizado na **Figura 4.9**. Esse trajeto é responsável pela secagem dos plásticos picados e, ao final, estes são acondicionados em sacarias para posterior remessa as unidades de extrusão. Quando necessário, a secagem é complementada por equipamento térmico.



Figura 4.8: VISTA DO EQUIPAMENTO TIPO PARAFUSO DE ARQUIMEDES, PARA TRANSPORTE DOS PLÁSTICOS PICADOS E LAVADOS ATÉ O SECADOR
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.9: VISTA DO SILO CICLONADO PARA SECAGEM DOS PLÁSTICOS PICADOS E LAVADOS
Fonte: MENDES (2006)

Extrusão: Esse equipamento contempla um silo vertical de carga por gravidade de um cilindro, em cujo interior gira um parafuso de Arquimedes (rosca sem-fim), que promove o transporte do material plástico. Este é progressivamente aquecido por meio de resistências elétricas (até a temperatura de 180°C), plastificado e comprimido, sendo forçado através de orifícios de uma matriz montada no cabeçote existente na extremidade de jusante do cilindro. O sistema de extrusão tem como finalidade homogeneizar a massa plástica adicionada de eventuais aditivos e corantes, transformando-a em fios à similaridade de espaguete, submetidos a resfriamento através de mergulho em canal contendo água. A seguir, já endurecido, o material é picado e assume o formato de *pellets* (grãos de plástico), que se constituem na matéria-

prima para a fabricação de embalagens em outro setor da empresa. As Figuras 4.10 a 4.12, apresentam fotografias dos equipamentos e etapas descritos.



Figura 4.10.: VISTA DO SILO DE CARGA E EXTRUSORA EXISTENTE NA LABORMAX
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.11: VISTA DOS FIOS DE PLÁSTICOS (ESPAGUÊTES) FORMADOS NA EXTRUSÃO, SUBMETIDOS AO RESFRIAMENTO EM CANAL COM ÁGUA
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.12: VISTA DOS *PELLETS*
Fonte: MENDES (2006)

4.2 ESTUDOS LABORATORIAIS PRELIMINARES

Um grande problema na reciclagem de resíduos plásticos é o tratamento do efluente de lavagem, o qual contém uma alta carga poluidora e, desta forma, não pode ser descartado sem tratamento, justamente por causa destes elevados níveis de contaminação orgânica e inorgânica (BORDONALLI e MENDES, 2005).

Para Mierzwa (2002), no reúso de efluentes tratados, uma das principais preocupações é o processo de concentração de contaminantes específicos, que reduz o potencial de reúso e pode comprometer as atividades que empregarão essa água.

A definição do processo a ser implantado na empresa, objetivando o tratamento de efluentes e visando o reúso da água, teve como etapa preliminar, a realização de estudos de tratabilidade desenvolvidos no Laboratório de Estudos de Tratabilidade de Águas e Resíduos (LabPró), vinculado ao Departamento de Saneamento e Ambiente (DSA) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC), da UNICAMP.

Com base em resultados de estudos prévios realizados em parceria com a empresa São José Reciclagem, objeto de prestação de serviços desenvolvidos em 2004, via Funcamp (Fundação para o Desenvolvimento da Unicamp), descartou-se a alternativa de tratamento por processo biológico (lodos ativados por batelada), cujos resultados demonstraram eficiências muito aquém das obtidas por processo físico-químico (pré-filtração, coagulação, floculação, decantação e filtração), ambos simulados em equipamentos de bancada. É importante esclarecer que, na época, o enfoque do estudo tinha objetivo similar ao atual, porém, para embalagens plásticas de óleo lubrificante. Apesar da sabida diferença entre os dois tipos de efluentes, optou-se, apenas, pelo uso do aparelho de Jarteste, apto a simular os processos físico-químicos acima citados.

As etapas na fase de estudos em laboratório foram:

- a) recebimento de amostras compostas do efluente de lavagem dos plásticos gerados na LABORMAX. Destaca-se que, durante os estudos preliminares, foram necessárias duas coletas em dias distintos de operação normal da indústria, denominadas de amostras compostas 1 e 2;
- b) simulação do tratamento primário por filtração em manta não tecida, normalmente, utilizada para obras de drenagem (tipo manta não tecida¹⁹), objetivando a remoção dos sólidos suspensos e sedimentáveis, oriundos dos rótulos presentes nas embalagens plásticas originais e pequenos fragmentos de plástico;
- c) estudos de tratabilidade em instalações de bancada simulando processos físico-químicos, onde foram testados, individualmente ou em seqüência, os processos de correção de pH, coagulação, floculação e clarificação por decantação e filtração (novamente, em manta não tecida de material drenante, tipo Bidim);
- d) quantificação dos resíduos e lodos gerados, além de tipos e dosagens de produtos químicos consumidos no tratamento;
- e) escolha dos procedimentos e parâmetros de projeto e operação para o tratamento de efluentes que, conjugados, manifestaram o maior potencial de aplicação nas instalações em escala real.

4.2.1 PROCEDIMENTOS DE LAVAGENS DOS PLÁSTICOS

Foram realizados dois estudos específicos: um para embalagens plásticas que aqui chamaremos de domésticas, e outro para embalagens plásticas de óleos lubrificantes.

4.2.1.1. EMBALAGENS DOMÉSTICAS

A lavagem desse tipo de matéria-prima foi feita na própria empresa, segundo procedimentos normalmente adotados no processo até então. Tais procedimentos já foram descritos no item anterior.

¹⁹ A manta utilizada para as pesquisas foi a Bidim.

4.2.1.1 EMBALAGENS DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Os plásticos foram lavados em uma máquina de lavar do tipo “tanquinho” (**Figuras 4.13 e 4.14**) com lavagem por turbilhonamento, cuja capacidade é de 40 litros. Tais procedimentos visaram a simulação da lavagem que é realizada pela empresa.



Figura 4.13: VISTA DOS PLÁSTICOS SENDO LAVADOS NO TANQUINHO
Fonte: MENDES (2005)

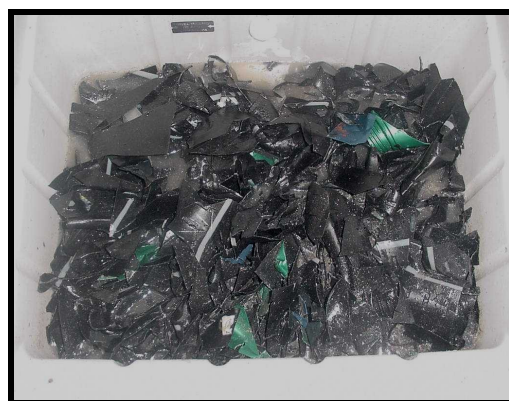


Figura 4.14: VISTA EM DETALHE DOS PLÁSTICOS JÁ LAVADOS
Fonte: MENDES (2005)

Após as lavagens, os efluentes foram submetidos a testes de tratabilidade por processo físico-químico, executando-se as operações de coagulação, floculação e decantação, em aparelho de Jarteste (Floteste) modificado (**Figura 4.15**), provido de seis jarros quadrados com volume útil de 2 litros, sistema de agitação por turbina tipo “Phipps and Bird” de (3”x 1”), com controle da rotação e sistema individual de aplicação de produtos químicos e coleta de amostras clarificadas. Foram realizados também ensaios de flotação utilizando-se uma câmara de saturação de água para fornecimento de ar (**Figura 4.16**).



Figura 4.15 – VISTA DO APARELHO DE JARTESTE OU FLOTESTE, ONDE FORAM REALIZADOS OS ESTUDOS DE TRATAMENTO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO DOS EFLUENTES GERADOS NAS LAVAGENS DOS PLÁSTICOS
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.16 – VISTA DA CÂMARA DE SATURAÇÃO DE ÁGUA PARA FORNECIMENTO DE AR NOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO
Fonte: MENDES (2005)

4.2.2 SIMULAÇÃO DA RETENÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS

Para cada ensaio foram utilizados, em média, 2 quilos de plástico colocados na máquina de lavar com 40 litros de água (nos primeiros ensaios foi utilizada água à temperatura ambiente e, nos ensaios subseqüentes, à 90° C) e submetidos a uma agitação constante durante 2 horas. Para cada bateria de testes, o plástico foi retirado da máquina de lavar através de peneiramento (**Figuras 4.17 e 4.18**) e a água foi submetida à filtração em manta sintética não tecida (**Figura 4.19**) para eliminar a grande quantidade de fibras e micro pedaços plásticos em suspensão existentes (**Figura 4.20**).



Figura 4.17: VISTA DA SIMULAÇÃO DO GRADEAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.18: VISTA DO ASPECTO DOS PLÁSTICOS LAVADOS E DOS RESÍDUOS GROSSEIROS RETIDOS NA OPERAÇÃO DE GRADEAMENTO
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.19: VISTA DO DETALHE DA MANTA NÃO TECIDA UTILIZADA NA OPERAÇÃO DE RETENÇÃO DOS SÓLIDOS GROSSEIROS APÓS GRADEAMENTO
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.20: VISTA DO DETALHE DOS RESÍDUOS GROSSEIROS RETIDOS NA MANTA NÃO TECIDA
Fonte: MENDES (2005)

Os resultados desses ensaios demonstraram a possibilidade de uso da manta não tecida para a operação de retenção de sólidos grosseiros presentes nos efluentes brutos gerados nas lavagens. A quantificação dos sólidos retidos demonstrou um valor

médio de 20 g/L, já considerando os sólidos retidos por gradeamento.

4.2.3 – SIMULAÇÃO DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA EMBALAGENS DE ÓLEO LUBRIFICANTE

4.2.3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS NOS ENSAIOS

Os efluentes pré-filtrados foram submetidos ao tratamento físico-químico, conforme descrito a seguir:

- a) preenchimento dos jarros com dois litros de amostra de efluente pré-filtrado;
- b) início da agitação de forma idêntica nos seis jarros, submetendo-os a um gradiente de velocidade de 800 s^{-1} ;
- c) correção do valor do pH das amostras (procedimento efetuado somente em alguns testes): adição de volume pré-calculado de solução de NaOH (0,1N) e/ou HCl (0,1N);
- d) mantendo-se a agitação conforme já mencionado, introdução simultânea das soluções de coagulante e/ou de polieletrólitos em dosagens pré-calculadas, para verificar sua influência na formação de flocos e clarificação das amostras (etapa de coagulação);
- e) após a introdução dos produtos químicos descritos no item anterior, manter a agitação por 5 (cinco) segundos (etapa de mistura rápida) e alterar a rotação das turbinas, de forma a submeter as amostras de efluentes a uma agitação num gradiente de velocidade de 60 s^{-1} , durante um período de 10 (dez) minutos (etapa de floculação);
- f) desligar as turbinas e manter as amostras em repouso para separação das fases sólidas e líquidas por um período de 10 minutos (etapa de clarificação por decantação);

- g) a verificação das melhores combinações de produtos químicos foi feita pela avaliação visual dos flocos formados e do aspecto final dos efluentes clarificados por sedimentação e por filtração em mantas não tecidas (idênticas às utilizadas nos ensaios de retenção de sólidos grosseiros).

4.2.3.2. PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Apresentam-se a seguir os produtos químicos utilizados nos ensaios desenvolvidos durante os estudos:

Para lavagem dos plásticos foram utilizados: soda (NaOH), sabão de coco da marca Carrefour, detergente cristal da marca Minuano.

Para coagulação foram utilizados os seguintes coagulantes: Cloreto Férrico; Sulfato Férrico; Sulfato de Alumínio; PAC – Hidroxicloreto de Alumínio (Panfloc – Hiperplus da Panamericana) (**Figura 4.21**).



Figura 4.21 – VISTA DO DETALHE DOS HIDROXICLORETOS DE ALUMÍNIO UTILIZADOS NOS MELHORES RESULTADOS

Fonte: MENDES (2005)

Foram também testados os polieletrólitos: G-9053 Nalco; G-999 Nalco; G-9047 K; K

133; K 144; K 233; A 3040.

4.2.3.3. RESULTADOS DAS LAVAGENS E ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS

Para lavagem dos plásticos foram realizados vários ensaios com diversas combinações dos produtos listados acima, a saber: soda; detergente; combinação de detergente e soda; sabão de coco; combinação de sabão de coco e soda (**Figuras 4.22 e 4.23**).

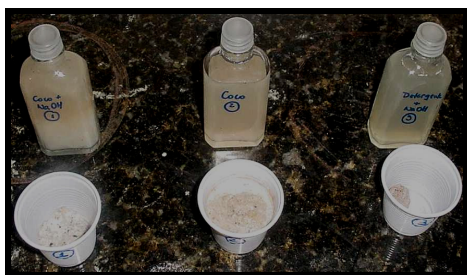


Figura 4.22 – VISTA DA COMPARAÇÃO VISUAL ENTRE OS EFLUENTES GERADOS NAS LAVAGENS
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.23 – VISTA DO ASPECTO DOS PLÁSTICOS LAVADOS
Fonte: MENDES (2005)

Os primeiros ensaios realizados foram com água à temperatura ambiente e adição de soda, cujos resultados mostraram-se bastante ineficientes, tanto no quesito da lavagem (remoção do óleo e dos rótulos de forma insatisfatória), quanto em relação à clarificação dos efluentes, após os testes de tratabilidade. Além disso, verificou-se uma significativa elevação do pH da tornando inviável sua tratabilidade e futuro reuso ou descarte na rede de esgotos municipal.

Os testes com uso de sabão de coco também se mostraram ineficazes, pois os efluentes resultantes da lavagem apresentaram-se com turbidez elevada e insuficiente remoção de óleo e rótulos das embalagens picadas de plástico.

A lavagem com detergente apresentou-se eficiente tanto com relação à remoção do

óleo e dos rótulos, quanto com relação à facilidade de tratamento dos efluentes em etapa posterior. No entanto, a fim de se obter resultados ainda mais eficazes, testaram-se várias temperaturas e concentrações de detergente, a fim de se encontrar a opção mais econômica. Desta forma foi utilizada água à, aproximadamente, 90° C. Sobre este aspecto, é importante comentar que, devido à baixa agitação fornecida no equipamento de lavagem utilizado no laboratório, houve a necessidade do uso da água pré-aquecida. Na situação em escala real é provável (mais tarde, comprovado) que, pelo uso de equipamento com maior poder de agitação, possa-se utilizar água na temperatura ambiente, evitando-se o consumo de energia decorrente e eliminando-se a necessidade de tratamento da água em altas temperaturas.

Após definido o método de lavagem, iniciaram-se os ensaios de clarificação do efluente gerado. Foi realizada uma série de ensaios e testes, sendo que os resultados mais favoráveis são resumidos a seguir:

Os ensaios realizados com K144 + sulfato de alumínio, K233 + sulfato de alumínio, A3040 + sulfato de alumínio, não demonstraram capacidade de coagulação e desmulsificação dos óleos durante a clarificação da água.

Dentre os testes efetuados com sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato de alumínio, o cloreto férrico apresentou melhor remoção de turbidez, no entanto, as dosagens necessárias para a obtenção desse resultado tornam inviável a utilização do mesmo, não só pela quantidade, mas também por conferir cor residual aos efluentes clarificados.

Investigou-se, também, melhor dosagem de coagulante (PAC) às amostras. As **Figuras 4.24 e 4.25** mostram balões de ensaio contendo efluente no momento da adição de diferentes dosagens de PAC, as **Figuras 4.26, 4.27 e 4.28** mostram mais detalhadamente a floculação e clarificação do efluente bruto com a adição de 2mL, 3mL e 4mL de PAC. Com esses ensaios, verificou-se que a dosagem que proporcionou maior eficácia de clarificação da água bruta foi de 0,4 ml de PAC.



Figura 4.24: VISTA DA COMPARAÇÃO ENTRE AMOSTRAS BRUTAS COM VARIAÇÃO NA DOSAGEM DE PAC
Fonte: MENDES (2005)



Figura 4.25: VISTA DA AMOSTRA BRUTA COM ADIÇÃO DE 4mL DE PAC
Fonte: MENDES (2005)



Figuras 4.26: VISTA DA CLARIFICAÇÃO DA AMOSTRA BRUTA COM ADIÇÃO DE 2 mL DE PAC
Fonte: MENDES (2005)



Figuras 4.27: VISTA DA CLARIFICAÇÃO DA AMOSTRA BRUTA COM ADIÇÃO DE 3 mL DE PAC
Fonte: MENDES (2005)



Figuras 4.28: VISTA DA CLARIFICAÇÃO DA AMOSTRA BRUTA COM ADIÇÃO DE 4mL DE PAC
Fonte: MENDES (2005)

4.2.3.4 CONCLUSÕES PARA OS ESTUDOS DE LAVAGEM E TRATABILIDADE DE FRASCOS CONTAMINADOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE

Os resultados do estudo de tratabilidade desenvolvido permitiram concluir que a simulação da lavagem dos plásticos executada em laboratório com uso de máquina de lavagem por turbilhonamento apresentou os melhores resultados tanto sob o aspecto de limpeza dos plásticos, como sob o de facilidade de tratamento posterior, nas seguintes condições:

- a) utilização de 20 litros de água aquecida a 90°C por kg de plásticos picados;
- b) uso de 20 mL/kg de plásticos, de detergente neutro transparente;
- c) agitação por um período de 2 horas;
- d) a geração de sólidos grosseiros removidos antes do tratamento subsequente foi de, aproximadamente, 20 g/L ou 50 mL/L de efluentes;
- e) a retenção de sólidos grosseiros, assim como a de lodo químico gerado após o tratamento físico-químico pode ser feita pelo uso de mantas filtrantes do tipo não tecidas, cujos resultados mostraram grande facilidade na drenagem da água e alta retenção de sólidos;
- f) o tratamento físico-químico demonstrou ser suficiente para a clarificação das amostras de efluentes pré-filtradas, permitindo sua reciclagem ou lançamento na rede pública de esgotos sanitários;
- g) o tratamento físico-químico pode ser feito com as operações de coagulação com o uso de PAC (Panfloc Hiperplus) em dosagens variando entre 0,5 e 5,0 mL/L, dependendo da qualidade dos efluentes (serão mais concentrados nas instalações em escala real devido ao menor uso de água), seguidas da

floculação por um período de 10 minutos com agitação leve ($G = 30\text{s}^{-1}$) e decantação por um período de mínimo de 5 minutos (em condições estáticas – batelada);

- h) a separação do lodo químico sedimentado poderá ser feita mediante execução de descargas de fundo do reator de tratamento físico-químico operado em bateladas.

4.2.4. SIMULAÇÃO DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA EMBALAGENS DOMÉSTICAS

Para cada ensaio de Jarreste foram utilizados, em média, 12 litros (2 L/jarro) de efluentes coletados em escala real e submetidos, previamente, à filtração em manta sintética não tecida, tipo Bidim (**Figura 4.29**), simulando-se o pré-tratamento necessário para a remoção dos sólidos grosseiros.

Os efluentes pré-filtrados foram submetidos ao tratamento físico-químico, utilizando-se equipamento de Jarreste (**Figura 4.30**), conforme descrito a seguir:

1. preenchimento dos jarros com dois litros de amostra de efluente pré-filtrado;
2. início da agitação de forma idêntica nos seis jarros, submetendo-os a um gradiente de velocidade de 800s^{-1} , para a etapa de mistura rápida;
3. a correção do valor do pH das amostras não se fez necessária, pois o efluente bruto apresentou pH próximo do neutro (7,25 para a primeira amostra e 6,48 para a segunda);
4. mantendo-se a agitação conforme já mencionado, introdução simultânea das soluções de coagulante em dosagens pré-calculadas, para verificar sua influência na formação de flocos e clarificação das amostras (etapa de coagulação);

5. após a introdução dos produtos químicos descritos no item anterior, a agitação foi mantida por 5 (cinco) segundos (etapa de mistura rápida) e, logo em seguida, alterada, de forma a submeter as amostras de efluentes a uma agitação em gradiente de velocidade de 60 s^{-1} , durante um período de 10 (dez) minutos (etapa de floculação);
6. as turbinas foram desligadas e as amostras mantidas em repouso para separação das fases sólidas e líquidas por um período de 10 minutos (etapa de clarificação por decantação);
7. a verificação das melhores dosagens de coagulantes foi feita pela avaliação visual dos flocos formados e do aspecto final dos efluentes clarificados por sedimentação e por filtração em mantas não tecidas (idênticas às utilizadas nos ensaios de retenção de sólidos grosseiros), além da caracterização qualitativa dos melhores resultados, determinando-se os valores de turbidez, cor aparente, pH, DQO e Fosfatos (este último parâmetro foi monitorado por solicitação da empresa).



Figura 4.29: VISTA DO ASPECTO DO LODO FILTRADO EM MANTA TIPO BIDIM, SIMULANDO O PRÉ-TRATAMENTO
Fonte: MENDES (2006)

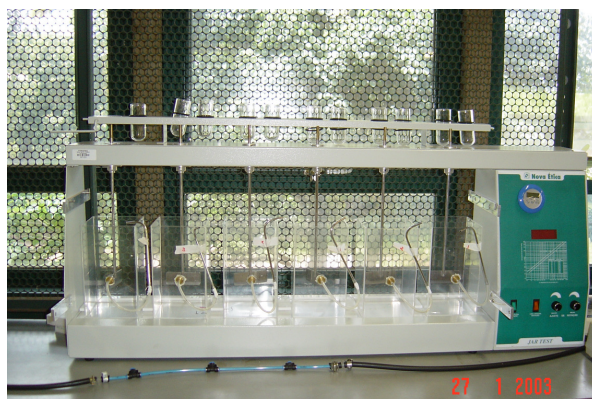


Figura 4.30: VISTA DO EQUIPAMENTO DE JARTESTE UTILIZADO PARA O DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS
Fonte: MENDES (2006)

4.2.4.1 PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Apresentam-se a seguir os coagulantes utilizados nos ensaios desenvolvidos durante os estudos: Cloreto Férrico; Sulfato de Alumínio; PAC – Hidroxicloreto de Alumínio (Panfloc – Hiperplus da Panamericana).

As soluções dos coagulantes para uso nos ensaios foram preparadas conforme apresentado no **Quadro 4.1**.

QUADRO 4.1: COAGULANTES TESTADOS E FORMA DE PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES EMPREGADAS

COAGULANTE	VOLUME PREPARADO (mL)	QUANTIDADE DO PRODUTO COMERCIAL	CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO
Hidroxicloreto de Alumínio (PAC) - Panfloc Hiperplus, da Panamericana	100	1 mL	10 mL/L
$\text{FeCl}_3 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ da Synth	500	5 gramas	10 g/L
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{H}_2\text{O}$ da Synth	500	5 gramas	10 g/L

Fonte: BORDONALLI (2005)

4.2.4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS PARA ESCOLHA DO COAGULANTE

Utilizando-se da amostra composta 1, foram desenvolvidos três ensaios independentes, utilizando-se os três coagulantes já mencionados. Os resultados são apresentados nos **Quadros 4.2 a 4.4**.

QUADRO 4. 2: RESULTADOS DO TESTE COM PAC

JARRO	QUANTIDADE DE COAGULANTE (mL/2L)	TURBIDEZ (UT)	COR (UC)	pH	Volume do Lodo (cm/cm)
1	Efluente bruto sem filtragem	---	---	7,3	---
2	Efluente bruto filtrado	68	445	7,4	---
3	5	13	158	7,3	---
4	10	08	109	7,4	---
5	15	06	95	7,5	---
6	20	05	89	7,4	1/15

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

QUADRO 4. 3: RESULTADOS DO TESTE COM FeCl₃

JARRO	QUANTIDADE DE COAGULANTE (mL/2L)	TURBIDEZ (UT)	COR (UC)	pH	Volume do Lodo (cm/cm)
1	Efluente bruto sem filtragem	---	---	7,3	---
2	Efluente bruto filtrado	68	445	7,4	---
3	5	12	131	7,3	---
4	10	11	117	7,3	---
5	15	10	105	7,0	---
6	20	9	101	6,8	0,8/15

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

QUADRO 4.4: RESULTADOS DO TESTE COM $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

JARRO	QUANTIDADE DE COAGULANTE (mL/2L)	TURBIDEZ (UT)	COR (UC)	pH	Volume do Lodo (cm/cm)
1	Efluente bruto sem filtragem	---	---	7,3	---
2	Efluente bruto filtrado	68	445	7,4	---
3	5	25	235	7,4	---
4	10	19	203	7,3	---
5	15	10	142	7,1	---
6	20	9	110	7,0	0,6/15

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

Os resultados evidenciaram um melhor desempenho do PAC em comparação com os outros coagulantes, em termos de remoção de turbidez e cor aparente. Além disso, a observação visual das amostras durante o processo de floculação, demonstraram que o uso desse coagulante apresentou o surgimento quase que imediato dos flocos (após cerca de 1 minuto da aplicação do produto), fato que, estendido para a escala real, representa a possibilidade de emprego de reator de floculação com menor volume útil. Outro fator que influenciou na escolha do PAC como coagulante para os testes subsequentes, decorreu da menor variação do valor de pH da amostra clarificada quando comparado com o valor da amostra bruta, o que, sob condições de reúso da água, com reaplicações de coagulante, significariam menor necessidade de consumo de alcalinizante, minimizando, assim, o custo de operação.

4.2.4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM USO DE PAC PARA A AMOSTRA COMPOSTA 2

Utilizando-se da amostra composta 2, deu-se prosseguimento aos ensaios preliminares com uso apenas do PAC, objetivando-se sua eficácia frente a uma nova amostra com características distintas da primeira, principalmente quanto a presença de sólidos grosseiros e turbidez, dessa vez, gerada em condições extremas, frente a execução de descargas e limpezas gerais do canal de complementação da lavagem de plásticos.

Conforme pode ser observado pelos resultados apresentados no Quadro 4.5, que, mesmo com a alteração considerável de qualidade da amostra composta 2 em comparação com a amostra composta 1, em termos de turbidez e cor aparente, verificou-se que, apesar da necessidade de aumento de dosagem e conseqüente aumento da quantidade de lodo gerado, os resultados de clarificação da amostra foram satisfatórios, obtendo-se, por exemplo, 99 % de remoção de turbidez, com consumo de, aproximadamente, 250 mL de PAC (em sua formulação comercial) / m³ de efluente bruto pré-filtrado. Considerando-se o produto testado e o custo, aproximado de R\$ 1,50 / Kg (na época), o custo unitário referente a esse insumo resultaria num valor aproximado de R\$ 0,50 / m³ de efluente tratado.

Quadro 4.5: RESULTADOS DO TESTE COM PAC PARA A AMOSTRA COMPOSTA 2.

JARRO	QUANTIDADE DE COAGULANTE (mL/2L)	TURBIDEZ (UT)	COR (UC)	pH	Volume do Lodo (cm/cm)
1	Efluente bruto filtrado	970	9600	6,48	
2	10	880	6780	6,46	---
3	20	760	5540	6,50	---
4	30	23	169	6,55	1,2
5	40	11	102	6,46	1,5
6	50	10	83	6,47	1,8

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

As **Figuras 4.31, 4.32 e 4.33** permitem a visualização das amostras dos efluentes bruto e clarificado após o tratamento físico-químico. Nota-se, visualmente, uma substancial modificação no aspecto entre as duas amostras, destacando-se a alteração de cor e, principalmente a grande redução de turbidez após o tratamento físico-químico e sedimentação do lodo.

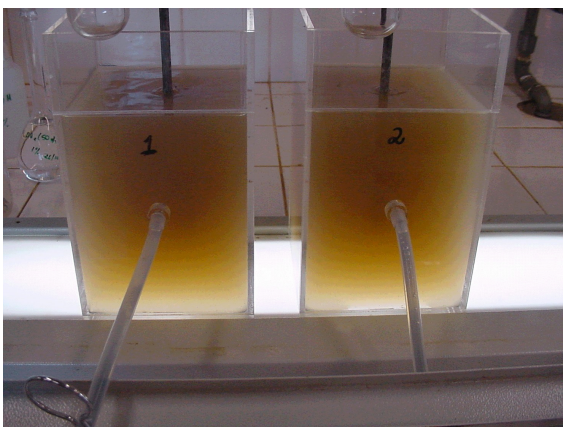


Figura 4.31: VISTA DO ASPECTO VISUAL DO EFLUENTE BRUTO PRÉ-FILTRADO (JARRO 1) E COM 10 ML/2L DE PAC (JARRO 2)
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.32: VISTA DO ASPECTO DO EFLUENTE APÓS 10 MINUTOS DE REPOUSO (JARROS 1, 2 E 3)
Fonte: MENDES (2006)

A determinação do volume de sólidos sedimentáveis em cone Inhoff, foi obtida a partir da extração de 1000 mL de efluente dos jarros dos melhores resultados (jarros 5 e 6) obtidos nos ensaios de JarTest. Estas amostras foram homogeneizadas e permaneceram em descanso por um período de 30 minutos para medição do volume de lodo sedimentado. Os resultados de 50 e 53 mL / L, para as condições impostas aos jarros 5 e 6, respectivamente, podem ser visualizados nas **Figuras 4.33 e 4.34**.



Figura 4.33: VISTA DO ASPECTO VISUAL DO EFLUENTE APÓS 10 MINUTOS DE REPOUSO, JARROS 4, 5 E 6
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.34: VISTA DO ASPECTO DO LODO SEDIMENTADO (JARROS 5 E 6)
Fonte: MENDES (2006)

A eficiência de remoção de DQO foi feita para os efluentes clarificados dos jarros 5 e 6, além de um outro jarro adicional (7), submetido a uma dosagem de 60 mL / 2L, cujos resultados de turbidez e cor remanescente, foram ligeiramente piores aos manifestados no jarro 6, quais sejam: 14 UT e 120 UC. Os resultados foram feitos a partir de trélicas de cada uma das amostras brutas e tratadas e são apresentados na **Quadro 4.6**.

Quadro 4.6: RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO

AMOSTRA	DQO (mg / L)			MÉDIA
	1	2	3	
BRUTA	4.135	4.285	3.885	4.102
JARRO 5	292	314	302	303
JARRO 6	274	289	277	280
JARRO 7	444	474	467	462
EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO (JARRO 6)				93,2 %

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

Considerando-se que o Jarro 6 demonstrou o menor residual de DQO, por solicitação da LABORMAX, foram determinados os valores de fosfatos totais presentes nas amostras bruta pré-filtrada e clarificada, proveniente do Jarro 6, cujos resultados foram iguais a 9,98 mg/L e 0,14 mg/L, respectivamente, resultando numa eficiência de remoção próxima a 98,6 %.

Com o objetivo de estimar a quantidade de sólidos grosseiros presentes nas amostras brutas, foram realizadas pesagens da manta tipo bidim empregada como elemento filtrante (vide Figura 3.12), antes, e após a filtragem de um volume igual a 500 mL da segunda amostra fornecida. Os resultados obtidos foram, respectivamente, de: 24,66 g e 26,22 g. Desta forma, conclui-se que a concentração estimada de sólidos grosseiros secos retidos na pré-filtragem, corresponde à cerca de 3,12 g/L.

4.2.4.4 CONCLUSÕES DOS ESTUDOS PRELIMINARES PARA LAVAGEM E TRATABILIDADE DE FRASCOS COMUNS

Os resultados do estudo de tratabilidade desenvolvido permitiram concluir que:

- a) o tratamento físico-químico desse tipo de efluente, considerando-se as amostras fornecidas, constitui-se em alternativa viável e econômica, através da utilização de Hidroxicloreto de Alumínio (PAC-Panfloc Hiperplus, fornecido pela Panamericana) como coagulante único, seguido das operações de floculação em gradiente médio de velocidade igual a 60 s^{-1} , por um período de 10 minutos e clarificação por sedimentação em condições de repouso, por um período de 10 minutos;
- b) as dosagens ótimas de coagulante demonstraram ser função da qualidade do efluente bruto pré-filtrado em manta tipo Bidim, variando entre valores de 50 e 250 mL do produto comercial (Panfloc Hiperplus, da Panamericana) para cada 1000 L de efluentes;

- c) a geração de sólidos grosseiros a serem removidos antes do tratamento subsequente foi de, aproximadamente, 3,12 g/L;
- d) as eficiências de remoção de DQO, Turbidez e Fosfatos, corresponderam a valores de 93,2 %, 99,0 % e 98,6 %, respectivamente, confirmando seu potencial para reúso no próprio processo de lavagens de embalagens plásticas;
- e)** o volume de lodo adensado gerado na decantação resultou em valores variáveis entre 50 e 53 mL / L para as condições estabelecidas ns ensaios realizados, quais sejam, uso de Cone Imhoff, com um período de sedimentação igual a 30 minutos.

4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS IMPLANTADO

As principais características da instalação quanto a vazões encontram-se relacionadas a seguir:

- a) quantidade de plásticos reciclados / hora = 600 kg
- b) turno único (atualmente) = 8 horas/dia (4.800 kg plásticos/dia)
- c) volume de água por kg de plástico reciclado = 2 a 3 L
- d) quantidade de água consumida no processo = 12 m³/dia
- e) vazão média horária durante o período de funcionamento da indústria = 1,5 m³/hora;
- f) vazão Nominal do sistema de tratamento = 2,0 m³/hora.

Para Giordano (1999), os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reúso dos efluentes tratados.

Desta forma, em virtude das características do efluente, dos resultados apresentados nos estudos em bancada, da localização da empresa e da área disponível para a instalação do STAR, optou-se pelo tratamento convencional que, de acordo com

Azevedo Netto (1987), é o mais utilizado para uso no tratamento de efluentes industriais.

Para Westerhoff e Chowdhury (1996), o tipo de fonte de abastecimento de água, superficial ou subterrânea, provoca variações no arranjo do sistema de tratamento, já que as características da água bruta influenciam na escolha das técnicas de tratamento. No presente caso, em se tratando de efluentes, a mesma afirmação é válida. Para MIERZWA e HESPANHOL (2005), em termos práticos, o que realmente interessa no processo de coagulação, floculação e clarificação é a dosagem e a condição ótima para a aplicação do coagulante, etapa de grande importância no tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem desta.

Os autores explicam que isto ocorre porque as reações químicas envolvidas são muito rápidas e dependem da energia da agitação, da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água. Caso essas condições estejam corretas, existirão todas as condições para o sucesso da instalação, evidentemente, quando as etapas complementares sejam projetadas e operadas de forma adequada.

As etapas do processo de tratamento implantado na LABORMAX estão descritas resumidamente a seguir, também, visualizadas no fluxograma apresentado na **Figura 4.35**.

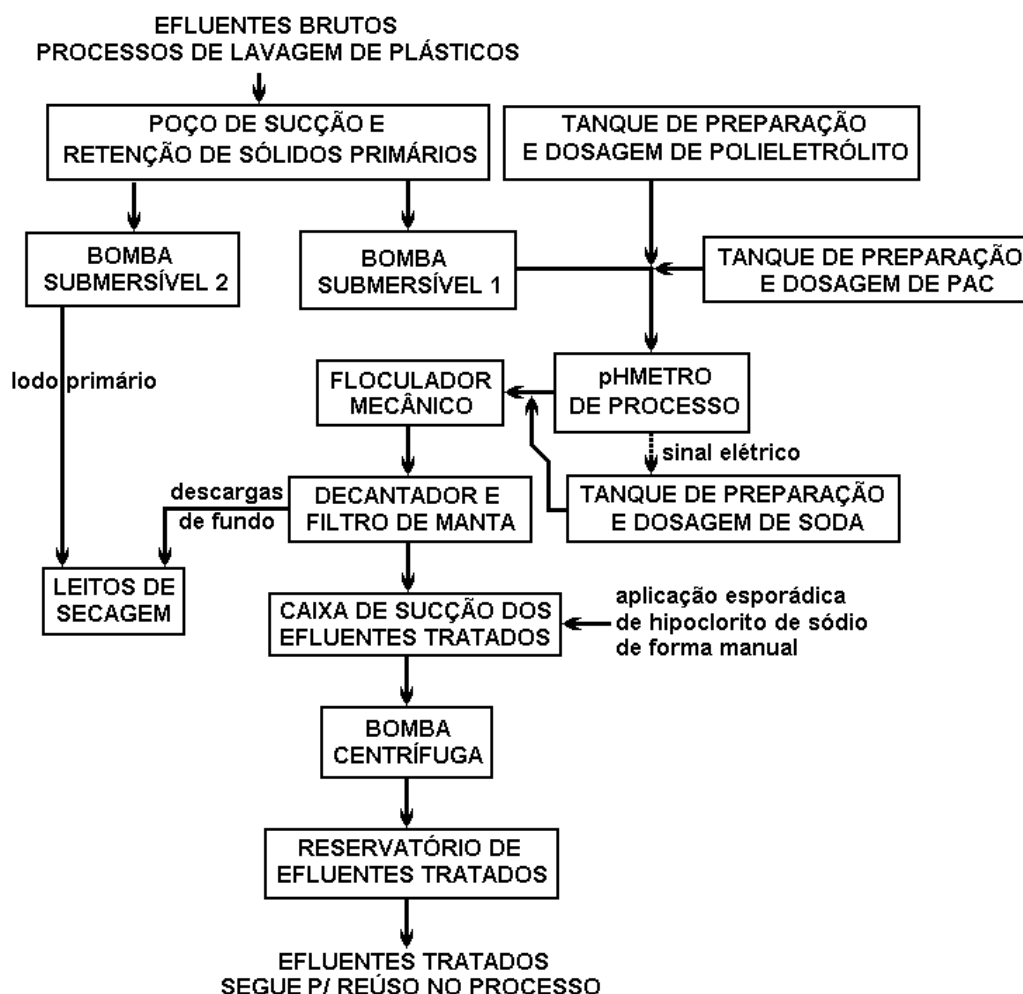


Figura 4.35 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES VISANDO SEU REÚSO PELA LABORMAX

Fonte: MENDES (2005)

- I. **Poço de Sucção e Retenção de Sólidos Primários** - dentre as unidades do STAR, essa é a única pré-existente (**Figura 4.35**), sendo mantida no fluxograma de processo implantado, com algumas alterações. O efluente bruto, além dos líquidos percolados no sistema de desidratação dos lodos e dos esgotos sanitários provenientes de bebedouros e lavatórios, chegam a este poço, cujas dimensões aproximadas são: altura útil de 1,5 m, comprimento de 2,8 m e largura de 1,8 m,

com volume útil de 7,5 m³. Nele, encontrava-se instalada uma bomba submersível (1) (tipo Vortex, da ABS Bombas, modelo Robby 50, com potência de 0,4 cv), com capacidade de bombeamento de 3,4 m³ / h, numa altura manométrica de 5,0 m. Sua finalidade consiste em recalcar os efluentes brutos até a unidade de floculação mecânica, com ajuste de vazão proporcionado por tubulação de retorno ao poço de sucção, provida de válvula tipo esfera.

Algumas adaptações foram realizadas nesse poço (**Figura 4.37**), tendo em vista que os efluentes brutos possuem elevada concentração de sólidos grosseiros, provenientes dos rótulos das embalagens picadas, além de pequenos fragmentos plásticos que escapam do processo de reciclagem. Dessa forma, o poço foi subdividido em duas câmaras, tendo-se instalado nova bomba submersível (2) na primeira metade. A passagem de água entre as duas câmaras dá-se por meio de aberturas providas de telas removíveis (abertura de 5 mm), de modo que a maioria dos sólidos grosseiros fique retida na câmara de montante. Dessa câmara, tais sólidos são bombeados diretamente ao sistema de desidratação de lodos (originalmente constituídos de leitos de secagem).

A **Figura 4.38** mostra o único dispositivo de tratamento pré-existente à construção do STAR, constituído, de uma simples retenção de sólidos por peneiramento (em tela plástica de # 2 mm), seguido por uma filtração em manta não tecida, tipo Bidim.



Figura 4.36: VISTA DO POÇO DE SUCÇÃO DE EFLUENTES BRUTOS PRÉ-EXISTENTE
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.37: VISTA DO POÇO DE SUCÇÃO E RETENÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS, APÓS ADAPTAÇÕES
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.38: VISTA DO DISPOSITIVO DE TRATAMENTO EXISTENTE ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA STAR
Fonte: MENDES (2006)

II - Tanques de Preparação e Dosagem de Produtos Químicos - por recalque o efluente segue até o floculador mecânico, através de tubulação de PVC rígido de 50 mm, provida de rotâmetro e ponto de injeção do coagulante, proveniente de tanque de preparação e bomba dosadora, conforme mostrado nas **Figuras 4.39 e 4.40**, para o caso do PAC. Os demais produtos químicos (Soda Cáustica e Polieletrólito), também são manipulados de forma semelhante, cada um com seu respectivo tanque de preparação e bomba dosadora. No caso da soda cáustica, sua aplicação é controlada por pHmetro de processo (instalado no início de dezembro de 2006), atuante sobre o

liga/desliga da bomba dosadora na faixa compreendida entre 8,0 e 9,0, valores considerados ideais para a otimização da clarificação dos efluentes após alguns meses de operação em valores mais baixos. Destaca-se aqui, a grande dificuldade de controle desse parâmetro de forma manual, já que, com o contínuo reúso dos efluentes, a tendência manifestada sobre o valor do pH dos efluentes brutos foi de queda contínua.



Figura 4.39 – VISTA DO TANQUE DE PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DILUÍDA DE PAC (1:3, NA INAUGURAÇÃO, HOJE, TAL QUAL)
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.40 – VISTA DA BOMBA DOSADORA DA SOLUÇÃO DE PAC
Fonte: MENDES (2006)

Os pontos de aplicação dos demais produtos químicos são, respectivamente, a tomada de entrada do floculador e o próprio, para a soda cáustica e polieletrólito. O eletrodo de monitoramento do valor do pH encontra-se instalado em ponto imediatamente a montante da entrada da soda cáustica.

III. Floculação Mecânica - após a coagulação, o efluente com as partículas já desestabilizadas é submetido ao processo de floculação, passando pela unidade, em sentido ascendente. Neste tanque, com auxílio de uma turbina mecânica, ambos, previamente existentes na indústria, (eram utilizados para a preparação de químicos na Priorpak), é feita a agitação lenta onde as partículas sólidas colidem entre si, oferecendo assim, condições para a formação de flocos maiores e mais densos. O tanque é executado em chapa de aço inoxidável, no formato cilíndrico, com diâmetro de 1,00 m e altura útil de 1,50 m, cujo volume útil corresponde a 1,20 m³. Para as condições operacionais previstas, essa unidade permitirá a manutenção de um período de floculação teórico de 48 minutos, que, apesar da grande possibilidade de ocorrência de “curto-circuitos” por constituir-se em um único reator, atende satisfatoriamente às necessidades do processo em questão. Testes de campo foram desenvolvidos para adequar a rotação da turbina ao valor do gradiente de velocidade ideal para a formação dos flocos, tendo-se obtido o valor de 30 rpm. As **Figuras 4.41 e 4.42** permitem a visualização de maiores detalhes dessa unidade.



Figura 4.41 – VISTA DE DETALHE INTERNO DO FLOCULADOR MECÂNICO E TURBINA
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.42 – VISTA DAS UNIDADES DE FLOCULAÇÃO, DECANTAÇÃO E DE RECEPÇÃO DE EFLUENTE TRATADO
Fonte: MENDES (2006)

IV. Decantação - O efluente floculado segue para a unidade de decantação, executada em alvenaria de blocos, no formato quadrado em planta (2,0 m x 2,0 m), com altura útil de 2,0 m. Seu fundo é constituído de quatro troncos piramidais invertidos e idênticos, com altura de 0,70 m e paredes inclinadas a 60°, de forma que haja condições propícias ao acúmulo e adensamento gravimétrico do lodo sedimentado (**Figura 4.43**). Sobre os troncos, dispôs-se a tubulação de distribuição de água floculada no eixo central, transversal do decantador, com diâmetro de 50 mm, provida de orifícios de 1", a cada 0,20 m, dispostos em ângulo de 90 °, voltados para baixo, perfazendo um total de 20 orifícios. A interligação entre o floculador e o decantador é feita por essa tubulação, por gravidade, com extremidade de montante (na saída do floculador), afogada, evitando-se eventuais fluxos vertentes, onde poderia ocorrer a quebra dos flocos formados. A água clarificada é coletada por manifold / filtro, executado em tubulações de 40 mm de diâmetro, dispostas no formato de quadro com interconexões internas, conforme mostrado na Figura 4.43. Essas tubulações atuam como unidades filtrantes da água clarificada, proporcionada pela presença de revestimento duplo, interno de enkamat e, externo de manta não tecida. No caso, a manta interna, tem como finalidade, separar a manta não tecida da parede externa da tubulação, permitindo maximizar a área filtrante. Esse dispositivo de coleta foi idealizado, principalmente pelos resultados de testes iniciais desenvolvidos no STAR, cuja operação deu-se sem a inclusão da câmara de retenção de sólidos grosseiros junto ao poço de sucção. Nessas circunstâncias, houve excessivo arraste de sólidos de baixa sedimentabilidade (fragmentos de plástico), cuja remoção só pode ser feita dessa forma. O dispositivo foi idealizado para permitir retrolavagens e/ou substituições esporádicas já que foi prevista a construção de manifold sobressalente;

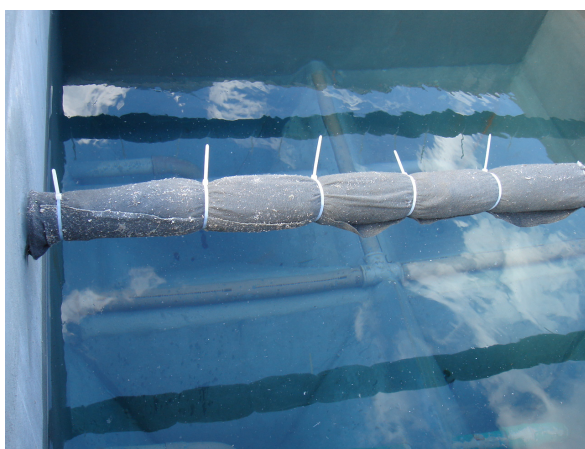


Figura 4.43: DETALHE DOS TRONCOS DE PIRÂMIDE PARA ACÚMULO E ADENSAMENTO DO LODO SEDIMENTADO NO DECANTADOR
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.44: MANIFOLD / FILTRO DE COLETA DE EFLUENTE CLARIFICADO, PROVIDO DE CINCO TRECHOS DE TUBULAÇÃO REVESTIDOS COM MANTAS
Fonte: MENDES (2006)

V. Caixa de Sucção de Efluentes Tratados - Os efluentes clarificados são direcionados à caixa cilíndrica executada em aço inoxidável, útil para armazenamento, medição de vazão (volumétrica) e sucção para recalque ao reservatório de armazenamento e/ou retrolavagens do manifold / filtro. Tal unidade pode ser visualizada na **Figura 4.45**. A desinfecção dos efluentes tratados é proporcionada pela aplicação manual de hipoclorito de sódio, conforme a necessidade, evitando-se a exalação de odores desagradáveis no setor de pré-lavagem. Inicialmente, tal aplicação foi prevista de forma contínua, porém, até o momento, não implementada.



Figura 4.45: CÂMARA CILÍNDRICA DE RECEBIMENTO DO EFLUENTE CLARIFICADO PARA POSTERIOR RECALQUE AO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PARA REÚSO

Fonte: MENDES (2006)

VI. Leitos de secagem: Cada um dos troncos de pirâmide invertidos presentes no decantador possui tubulação específica para sucção do lodo sedimentado / adensado ali depositado. Em função do funcionamento intermitente do STAR, previu-se a realização de descargas de fundo no início de funcionamento diário do sistema, permitindo ao lodo sedimentado, um longo período de adensamento de um dia para o outro. Além destes, foram previstas as descargas de fundo do floculador e da câmara de retenção de sólidos grosseiros. Os leitos de secagem foram executados em número de oito unidades, sendo seis para recepção dos lodos secundários (floculador e decantador) e dois, para o lodo primário (sólidos grosseiros). Sua construção foi feita de forma convencional, ou seja: tubulação de drenagem instalada no fundo, leito de pedra britada, camada de areia e tijolos maciços de barro, assentados em espelho, com frestas (2,5 cm) de espaçamento para percolação da água presente no lodo. Suas

dimensões em planta são de 1,5 m x 1,5 m, com profundidade útil de 0,60 m. As tubulações de drenagem de fundo direcionam seu fluxo até o poço de sucção de efluentes brutos. A **Figura 4.46** apresenta detalhe dessa instalação, durante as obras.

Devido a diversos problemas de ordem operacional provocados pela excessiva presença de sólidos grosseiros e lodos gerados no tratamento desse tipo de efluente, a etapa de desaguamento e desidratação de sólidos e lodos através dos leitos de secagem tornou-se deficiente, principalmente sob o aspecto da necessidade de limpezas freqüentes, troca de materiais filtrantes e alto teor de umidade nos resíduos gerados, o que causavam sobrecarga nos leitos dificultando a percolação da fase líquida. Tais problemas podem ser melhor visualizados na **Figura 4.47**.



Figura 4.46: VISTA DOS LEITOS DE SECAGEM EM FASE DE CONSTRUÇÃO
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.47: VISTA DOS LEITOS DE SECAGEM EM FASE INICIAL DE OPERAÇÃO
Fonte: MENDES (2006)

Desta forma, por iniciativa da própria equipe operacional, foram feitos testes de armazenamento do excesso de lodo em “big bags”, previamente suspensos em estrutura metálica de sustentação, normalmente utilizada para essa finalidade no processo produtivo, facilitando os procedimentos de transporte por empilhadeiras. A disponibilidade desse equipamento, no presente caso, é bastante grande, decorrência de seu uso para acondicionamento e transporte dos plásticos lavados e *pellets*

reciclados. Nesse teste, visualizado na **Figura 4.48**, de forma quase que inesperada, houve excelente retenção de sólidos e eficiente drenagem da água presente no lodo pelos poros do tecido com que os “big bags” são confeccionados.

Tendo em vista os resultados apresentados, optou-se, pelo abandono do uso dos leitos de secagem e estruturação de diversos *big bags* sobre cada um deles, utilizando-se a existência das tubulações de drenagem de fundo para a condução da água drenada até o poço de sucção. O aspecto do final do lodo pode ser observado na **Figura 4.49**.



Figura 4.48: TESTE DE ARMAZENAMENTO DE LODO EM “BIG BAGS”
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.49: ASPECTO DO LODO APÓS 24 HORAS DE DRENAGEM DE LÍQUIDOS
Fonte: MENDES (2006)

4.4 ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE DADOS

4.4.1 TESTES INAUGURAIS DO STAR

O início dos testes de funcionamento do STAR deu-se em 12/11/2005, quando as obras ainda encontravam-se inacabadas, principalmente quanto aos leitos de secagem. Nessa data, foram testados todos os equipamentos eletro-mecânicos, ajustada a

rotação da turbina do floculador, calibrada a vazão de efluente bruto para o STAR e desenvolvida a primeira batelada de tratamento, quando foram levantados os seguintes aspectos:

- a) vazamento na estrutura do decantador, indicando necessidade de nova impermeabilização das paredes internas;
- b) carga excessiva de sólidos grosseiros no efluente bruto. Tal fato já era esperado, função dos resultados obtidos nos testes de laboratório preliminares relativos à amostra composta 2. A recomendação de instalação de pré-filtro antes da aplicação do coagulante não foi concretizada, função das dificuldades operacionais causadas pela constante necessidade de lavagens e trocas da manta não tecida no sistema de tratamento rudimentar pré-existente ao STAR. Como alternativa, sugeriu-se a divisão do poço de sucção existente em duas câmaras, conforme já mencionado anteriormente, de forma que a maior parte dos sólidos grosseiros pudessem ser retidos na câmara de montante, evitando-se seu acúmulo e excessiva manifestação de perda de carga nos filtros coletores de água clarificada do decantador, conforme mostra a **Figura 4.50**. A correção do problema só foi implementada cerca de um ano após os testes inaugurais, ou seja, em outubro de 2006;
- c) necessidade de complementação das obras dos leitos de secagem, através da inclusão da camada de areia e de tijolos assentados em espelho sobre esta. No caso, essa complementação nunca foi realizada por completo, sendo que, apenas quatro dos oito leitos de secagem foram efetivamente concluídos. Durante o primeiro ano de operação, conseqüentemente, vários problemas relativos ao excesso de sólidos grosseiros e de lodo químico foram enfrentados, o que gerou a necessidade do uso dos “big bags”;
- d) apesar dos problemas mencionados, sob o aspecto da clarificação dos efluentes, os primeiros testes foram considerados satisfatórios e, iniciaram-se as primeiras operações de lavagens de plásticos com o reúso de efluentes. A **Figura 4.51**

apresenta o aspecto das amostras bruta, decantada e clarificada nos testes inaugurais realizados.



Figura 4.50: PRESENÇA EXCESSIVA DE SÓLIDOS GROSSEIROS NO FILTRO COLETOR DE ÁGUA DECANTADA
Fonte: MENDES (2006)



Figura 4.51: ASPECTO DAS AMOSTRAS BRUTA, DECANTADA E CLARIFICADA FINAL, OBTIDAS NOS TESTES INAUGURAIS
Fonte: MENDES (2006)

4.4.2 ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL E LEVANTAMENTO DE DADOS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS E DO STAR

Tendo em vista os diversos problemas já mencionados na inauguração do STAR, aliados a intermitência da operação do processo produtivo pela falta de fornecimento de matéria-prima, o acompanhamento operacional e levantamento de dados foi efetivamente iniciado em julho de 2006, após a regularização no fornecimento de matéria-prima de forma contínua. A coleta de amostras para avaliação do desempenho do STAR deu-se a partir de outubro de 2006, quando outras implementações foram incorporadas ao processo de tratamento, quais sejam:

- a) instalação de tanque de preparação e dosagem de polieletrólito e soda cáustica. O uso do primeiro produto manifestou-se adequado como auxiliar de floculação e, principalmente, na etapa de desaguamento do lodo. A soda cáustica por sua vez era, até então, utilizada de forma aleatória e esporádica afetando a clarificação dos efluentes tratados;
- b) instalação do pHmetro de processo para ajuste automático da dosagem de soda cáustica. Durante o primeiro ano de operação, verificou-se que o contínuo reúso dos efluentes tratados provocavam acidificação dos efluentes brutos gerados e, conseqüentemente, a necessidade de correção do valor do pH para a etapa de coagulação. Foi observado que a faixa ideal de pH para coagulação com uso de PAC para este tipo de efluente e seu respectivo reúso situou-se entre 8,0 e 9,0. A partir desta implementação os resultados de clarificação dos efluentes passaram a ter um comportamento mais estável, o que até então não era observado devido ao fato da aplicação manual depender de extrema atenção do operador do sistema, cujas atividades não eram exclusivas a operação do STAR;
- c) instalação dos *big bags* como unidades de desaguamento e desidratação dos lodos.

Os resultados de campo foram obtidos por instrumentos e medições em pontos específicos de monitoramento, de acordo com o resumo descrito no **Quadro 4.7**:

Quadro 4.7: PARÂMETROS OPERACIONAIS, PROCEDIMENTOS E LOCAIS DE MONITORAMENTO

Parâmetro	Local	Monitoramento	Modo
Vazão de efluente bruto tratado Caracterização qualitativa	Tubulação de acesso à câmara de floculação	✓ Vazão ✓ Período de funcionamento ✓ Coleta de amostras (1)	Rotâmetro
Vazão de efluente clarificado Caracterização qualitativa	Tanque de sucção de efluente clarificado	✓ Vazão ✓ Volume diário tratado ✓ Coleta de amostras (1)	Volumétrico
Resíduos gerados na banheira de complementação da lavagem	Banheira	✓ Volume de resíduos desidratados produzidos ✓ Custo unitário de disposição	Pesagem
Sólidos grosseiros e lodo químico produzidos Caracterização qualitativa	Big bags	✓ Volume de lodo desidratado produzido ✓ Coleta de amostras (2) ✓ Custo unitário de disposição	Volumétrico Pesagem
Consumo de água de reposição de fornecimento externo	Reservatório de água de processo	✓ Volume afluente ✓ Custo unitário ✓ Coleta de amostras (3)	Volumétrico Frequência
Consumo de energia na ECR	Equipamentos eletro-mecânicos	✓ Período de funcionamento ✓ Custo unitário	Anotações em planilha
Consumo de produtos químicos	Bombas dosadoras e tanques de preparação	✓ Volume consumido de PAC, NaOH, polieletrólito e Hipoclorito de Sódio ✓ Custos unitários	Volumétrico
Custos de mão-de-obra	STAR Reciclagem de plásticos	✓ Número de operadores ✓ Horas trabalhadas ✓ Honorários e encargos sociais	Anotações em planilha
Custos de transporte no processo produtivo	Reciclagem de plásticos	✓ Custo unitário (R\$/kg)	Anotações em planilha
) Matéria-prima	Reciclagem de plásticos	✓ Custo unitário (R\$/kg) ✓ Peso processado ✓ Peso de material trocado ✓ Peso de material recusado	Pesagem Anotações em planilha
pH do efluente bruto	Poço de sucção	✓ pH (4)	Sonda de pH
pH de clarificação	Tanque de sucção de efluente clarificado	✓ pH	Sonda de pH
Perda de carga no filtro de coleta de água clarificada	N.A. interno no decantador	✓ Variação do N.A. x tempo de operação (5)	Visual
(1 a 3) amostras compostas, caracterizadas conforme parâmetros apresentados na Tabela 4.2; (4) Parâmetro que permite ajustar a dosagem de NaOH; (5) Parâmetro que alerta para a retrolavagem e/ou substituição do filtro de coleta de água clarificada			

Tabela 4.1: PARÂMETROS E METODOLOGIAS UTILIZADAS NAS ANÁLISES

PARÂMETRO	MONITORAMENTO (ver Tabela 4.1)	MÉTODOS DE ANÁLISE
pH	(1) e (3)	SMEWW 4500-H ⁺ B
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)		SMEWW 2540-C
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)		SMEWW 2540-D
Condutividade (µS/cm)		SMEWW 2510
Turbidez (UT)		SMEWW 2130
Cor Verdadeira (UC)		SMEWW 2120
Óleos e Graxas (mg/L)		SMEWW 5520-D
Surfactantes (mg/L)		SMEWW 5540-C
D.Q.O. (mg/L)		SMEWW 5220-D
D.B.O. (mg/L)		SMEWW 5210-B
Sólidos Totais (mg/L)	amostras 1, 2 e 3	SMEWW 2540-B

É preciso destacar aqui a importância do item de determinação do SDT por ser um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes mais comuns apresentam para remover esse tipo de contaminante. Além disso, este fator auxilia a avaliação do potencial de reúso, uma vez que uma carga de sais vai sendo incorporada à água conforme o efluente é reutilizado - seja devido ao processo de evaporação da água ou por causa da adição de compostos químicos.

Desta forma, para que a prática de reúso seja exeqüível, é preciso avaliar devidamente a evolução da concentração de SDT no sistema, o que permite determinar o potencial máximo de reúso de efluentes, sem que se ultrapasse os padrões de qualidade requeridos e os limites máximos para lançamento de efluentes (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para sua melhor compreensão, os resultados do presente trabalho são apresentados nos seguintes itens:

- a) aspectos operacionais do processo de reciclagem e tratamento de efluentes;
- b) desempenho da STAR através de dados qualitativos dos efluentes brutos e tratados;
- c) custos comparativos do processo global considerando três cenários: o tratamento de efluentes e seu reúso, o tratamento e descarte na rede pública, e,
- d) a hipótese do tratamento ser executado por terceiros.

Foi ainda analisada a questão da viabilidade econômica do empreendimento e conseqüente período de retorno do investimento no STAR.

5.1 RESULTADOS REFERENTES AOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PE E DO STAR

Com o intuito de minimizar o consumo de água, a LABORMAX implementou o reúso total dos efluentes tratados no STAR nas operações de pré-lavagem (moinho) e lavagem (banheira) dos plásticos em processo de reciclagem. Além destes dois pontos de geração de efluentes, somam-se as águas cinzas, provenientes de instalações sanitárias do tipo bebedouro, tanque e lavatório; para complementar as perdas inerentes ao processo (evaporação, respingos e arraste com resíduos e lodo químico),

são incorporados de forma parcial as águas pluviais precipitadas sobre as áreas impermeabilizadas do STAR e da cobertura do galpão de reciclagem.

A maior parte matéria-prima adquirida é transformada em *pellets* para uso na fabricação de novas embalagens, porém, parcela é destinada a troca por novos lotes, já que, no caso, interessam apenas os plásticos tipo PEAD, PEBD e PEBDL; o restante é descartado como resíduo, gerados nas operações de triagem e descargas de fundo da banheira, sendo então, encaminhados para aterro sanitário.

Os dados levantados nesta etapa ocorreram nos meses de julho a dezembro de 2006 e encontram-se sistematizados na **Tabela 5.1**. Foram abordados os parâmetros operacionais mais significativos, tanto do processo produtivo de reciclagem de plásticos, quanto das águas e efluentes inerentes ao processo de tratamento. Com estes dados, foram gerados gráficos, apresentados nas **Figuras 5.1 a 5.8**, grande parte deles considerando as respectivas médias obtidas no período.

Tabela 5.1: REGISTRO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS OPERACIONAIS DO PROCESSO PRODUTIVO E DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

REGISTRO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS								
PARÂMETRO			PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS (2006)					
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1 - ÁGUA E EFLUENTES - QUANTITATIVOS								
1.1	reposição de água potável p/ resfriamento e sanitários	m³/mês	35,0	32,0	28,0	25,0	28,0	22,0
1.2	reuso de esg. sanitários no processo (águas cinzas)	m³/mês	10,5	9,6	8,4	7,5	8,4	6,6
1.3	lançamento de esg. sanitários na rede pública	m³/mês	8,4	7,7	6,7	6,0	6,7	5,3
1.4	reposição de água potável p/ lavagem de plásticos	m³/mês	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0
1.5	reposição de águas pluviais p/ processo (estimativa)	m³/mês	0,6	4,6	8,0	10,1	1,5	4,4
1.6	produção de efluentes no moinho	m³/mês	136,5	149,5	130,0	136,5	100,0	123,5
1.7	descarte de efluentes na banheira	m³/mês	24,0	18,0	24,0	18,0	24,0	6,0
1.8	total de efluentes gerados	m³/mês	171,6	181,7	170,4	172,1	133,9	140,5
1.9	descarte de efluente para tratamento externo	m³/mês	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0
1.10	estimativa de perdas (evaporação + lodo)	m³/mês	11,1	14,2	16,4	17,6	9,9	11,0
1.11	total de efluentes reciclados	m³/mês	160,5	167,5	154,0	154,5	124,0	129,5
2 - PROCESSO PRODUTIVO - FUNCIONAMENTO								
2.1	número de funcionários no setor de reciclagem	unid.	12	11	12	12	12	11
2.2	número de dias de operação	d/mês	21	23	20	21	20	19
2.3	número médio de horas de operação do moinho	h/mês	105	115	100	105	100	95
3 - MATERIA-PRIMA								
3.1	compra mensal	ton/mês	85	40	65	146	28	72
3.2	disponibilidade no estoque (pré-existente: 35ton)	ton/mês	61	27	6	60	35	50
3.3	processada	ton/mês	59	74	86	92	53	58
3.4	produção de pellets	ton/mês	50	63	73	78	45	49
3.5	disponibilizada para troca	ton/mês	7	9	10	10	7	7
3.6	sobras c/ destino ao fornecedor	ton/mês	2	2	3	4	1	2
4 - PRODUTOS QUÍMICOS								
4.1a	compra de tensoativo p/ lavagem de plásticos	L/mês	200	200	200	200	200	200
4.1b	estoque de tensoativo ao final do mês (15L pré ex.)	L/mês	15	20	20	15	15	15
4.1c	consumo de tensoativo	L/mês	200	195	200	205	200	200
4.1d	dosagem média de tensoativo/ton de plástico reciclado	L/ton	3,40	2,63	2,33	2,23	3,78	3,47
4.2a	compra de hidróxido de sódio (50%)	L/mês	600	600	600	600	600	600
4.2b	estoque de h. de sódio ao final do mês (90L pré ex.)	L/mês	60	90	60	30	60	90
4.2c	consumo de hidróxido de sódio	L/mês	630	570	630	630	570	570
4.2d	dosagem média de hidróxido de sódio	kg/m³	5,58	4,77	5,62	5,57	6,47	6,17
4.3a	compra de hidroxicloreto de alumínio	kg/mês	360	360	580	625	600	600
4.3b	estoque de h. de alum. ao final do mês (60 kg pré ex.)	kg/mês	60	60	60	100	100	100
4.3c	consumo de hidroxicloreto de alumínio	kg/mês	360	360	580	585	600	600
4.3d	dosagem média de hidroxicloreto de alumínio	kg/m³	2,10	1,98	3,40	3,40	4,48	4,27
4.4a	compra de polieletrólito	kg/mês	0	0	0	25	0	0
4.4b	estoque de polieletrólito ao final do mês	kg/mês	0	0	0	24	23	22
4.4c	consumo de polieletrólito	kg/mês	0	0	0	1	1	1
4.4d	dosagem média de polieletrólito	g/m³	0	0	0	5,8	7,5	7,1
4.5a	compra de hipoclorito de sódio	L/mês	10	10	10	10	10	10
4.5b	estoque de h. de sódio ao final do mês (10L pré ex.)	L/mês	10	10	10	10	10	10
4.5c	consumo de hipoclorito de sódio	L/mês	10	10	10	10	10	10
4.5d	dosagem média de hipoclorito de sódio	mL/m³	58	55	59	58	75	71
5 - LODO E RESÍDUOS - GERAÇÃO								
5.1	resíduos da banheira p/ aterro sanitário (seco)	ton/mês	0,30	0,40	0,45	0,50	0,25	0,30
5.2	lodo desidratado p/ aterro industrial	ton/mês	2,30	3,00	3,50	3,70	2,10	2,30

5.1.1 DADOS SOBRE O PROCESSO PRODUTIVO

Na seqüência são apresentados dados sobre a **geração de efluentes em função da matéria-prima produzida**:

Da consulta a **Figura 5.1**, nos valores das médias pode-se calcular a geração unitária de efluentes em função da quantidade de plásticos reciclados:

$$162 \text{ m}^3 \text{ de efluentes} / 59,7 \text{ toneladas de pellets} = 2,7 \text{ m}^3/\text{ton.};$$

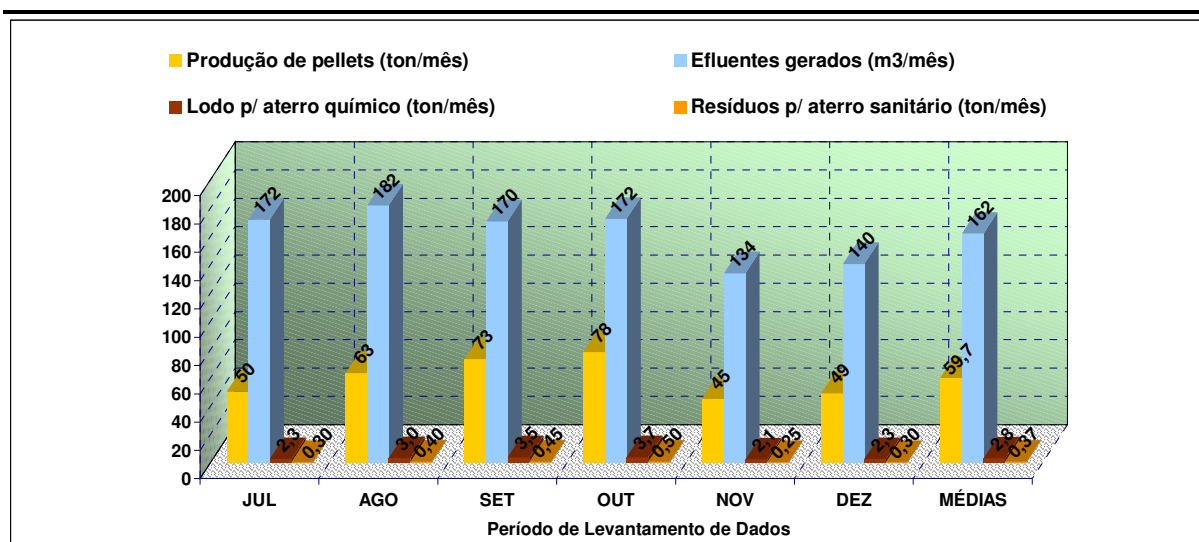


Figura 5.1: GRÁFICO DE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE EFLUENTES E RESÍDUOS – 2006

Na **Figura 5.2**, apresentam-se informações sobre a origem dos efluentes calculados no item anterior. Destaca-se que a maior parcela (80,0%) é proveniente do consumo de água no moinho. Os efluentes gerados de forma intermitente na banheira, que atualmente tem o seu volume renovado a cada mês, corresponderam as gerações médias de 11,8%. O restante, 5,3% e 3,0%, correspondem ao reaproveitamento das águas cinzas e pluviais, respectivamente.

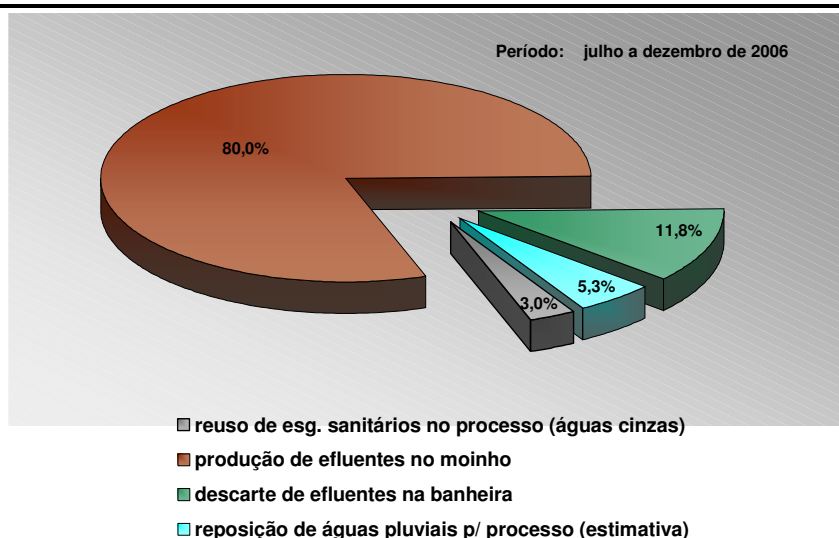


Figura 5.2: GRÁFICO DE GERAÇÃO MÉDIA DE EFLUENTES DE ACORDO COM A ORIGEM

Na **Figura 5.3**, são apresentados, de forma resumida, dados sobre todos os tipos de água envolvidos no processo. Conforme pode ser observado, houve uma única renovação da água utilizada no processo de lavagem de plásticos, executada no mês de novembro, correspondente a 30 m³. Esse procedimento provocou a necessidade de descarte dos efluentes para tratamento externo. Destacam-se dados como os apresentados na **Figura 5.4**, relativos à perda de água e proporção de recuperação para reúso dos efluentes tratados.

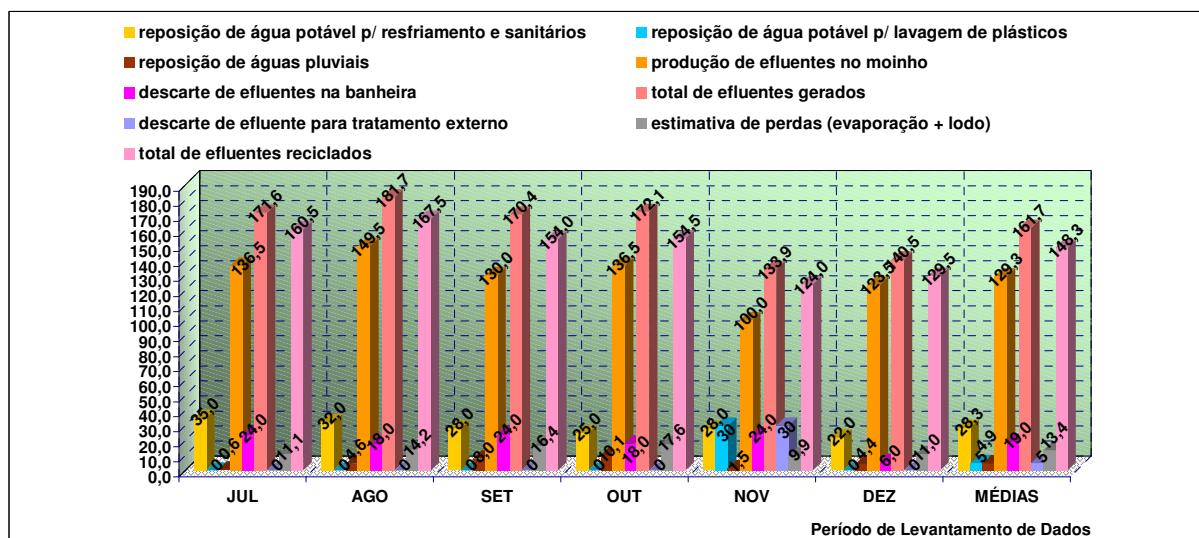


Figura 5.3: GRÁFICO DE DADOS QUANTITATIVOS DE ÁGUA E EFLUENTES – 2006

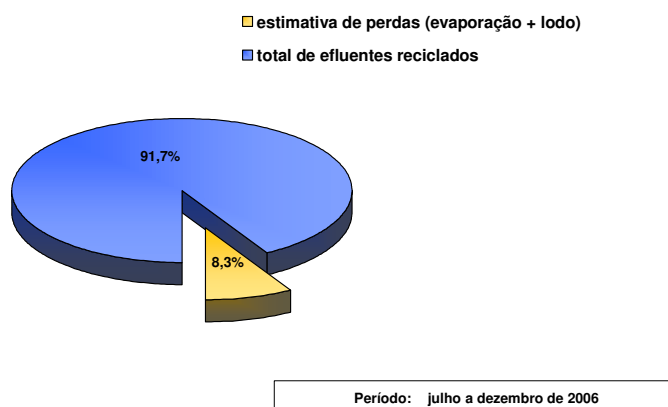


Figura 5.4: GRÁFICO DE MÉDIAS DE REÚSO E PERDAS DOS EFLUENTES BRUTOS

Para a **geração de resíduos**;

da mesma forma que o executado para a geração de efluentes unitários, os dados apresentados na Tabela 5.1 e Figura 5.1 permitem a obtenção da geração média unitária de resíduos destinados a aterro sanitário, conforme o constante na **Figura 5.5**. Foram apresentados os dados correlacionando-os à produção de plásticos e geração de efluentes.

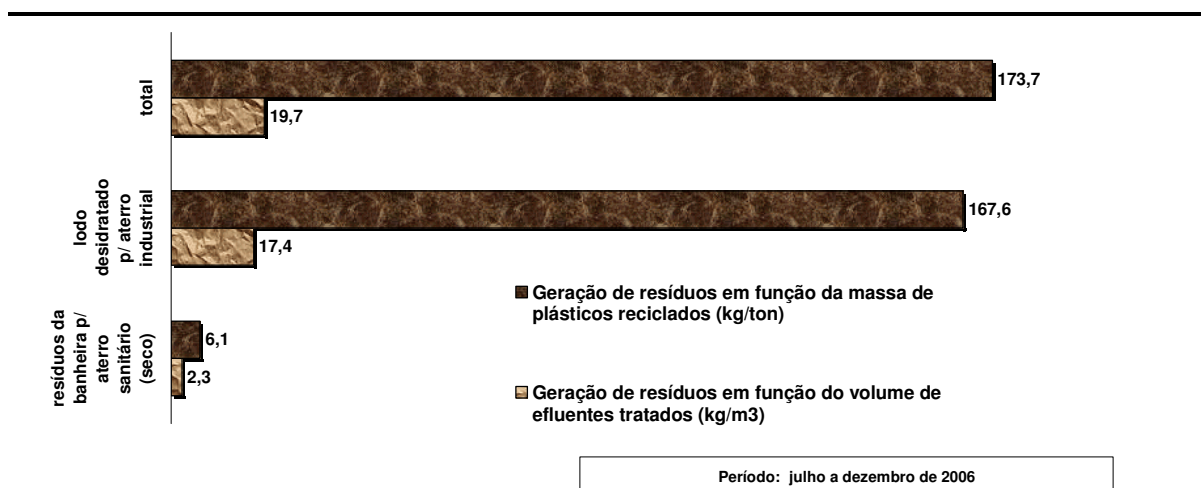


Figura 5.5: GRÁFICO DE GERAÇÃO MÉDIA UNITÁRIA DE RESÍDUOS NO PROCESSO PRODUTIVO E TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para determinação do **índice de aproveitamento de matéria-prima**, foi elaborada;

a **Figura 5.6** apresenta as porcentagens do total de plásticos adquiridos que efetivamente são transformados em *pellets* para fabricação de novas embalagens. São também apresentados os dados referentes aos materiais não utilizados pela LABORMAX por não serem polímeros do tipo PE e, portanto, trocados por novos lotes

de matéria-prima.

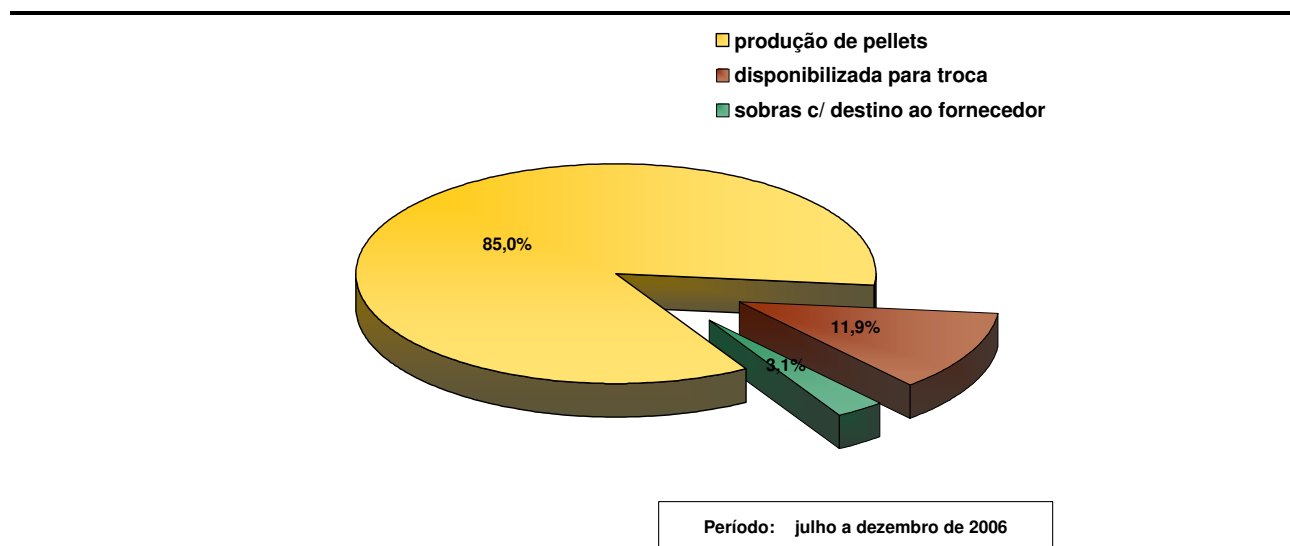


Figura 5.6: GRÁFICO DE ÍNDICES MÉDIOS DE APROVEITAMENTO DE MATÉRIA-PRIMA NA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PEAD

5.1.2 DADOS SOBRE O STAR

As **Figuras 5.7 e 5.8** apresentam os principais dados relativos ao **consumo e dosagens de produtos químicos** utilizados no tratamento de efluentes visando ao reúso. Destaca-se que o uso de polieletrólito passou a ser executado somente a partir de outubro de 2006 quando testes para o uso deste produto foram recomendados por parte do fornecedor do PAC. Em função dos bons resultados demonstrados, principalmente quanto ao desaguamento do lodo, o produto passou a ser usado sistematicamente no processo de tratamento dos efluentes.

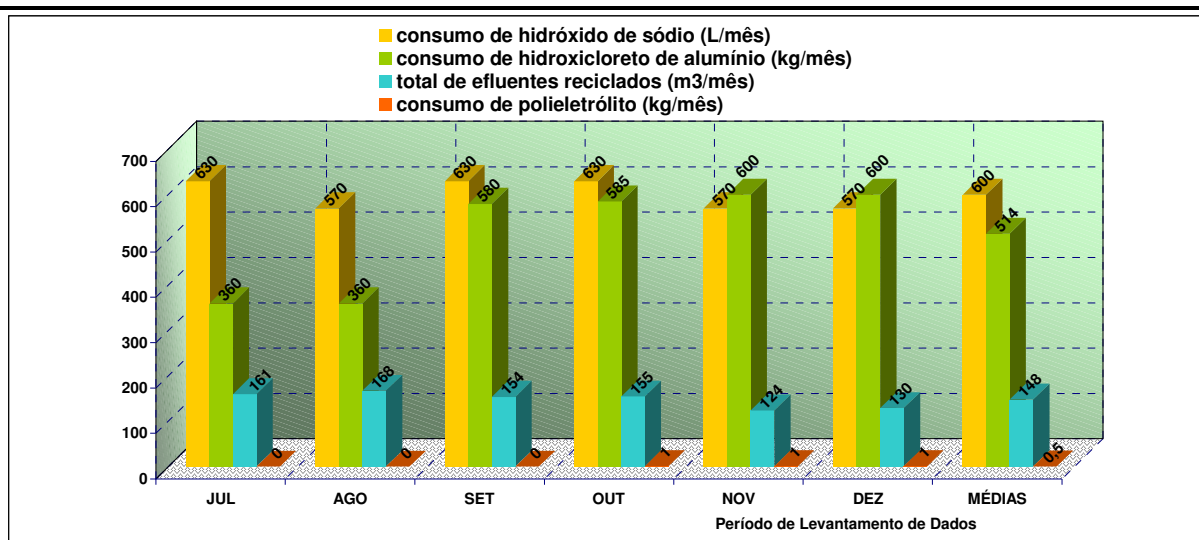


Figura 5.7: GRÁFICO DE PRODUTOS QUÍMICOS E TRATAMENTO DE EFLUENTES - 2006

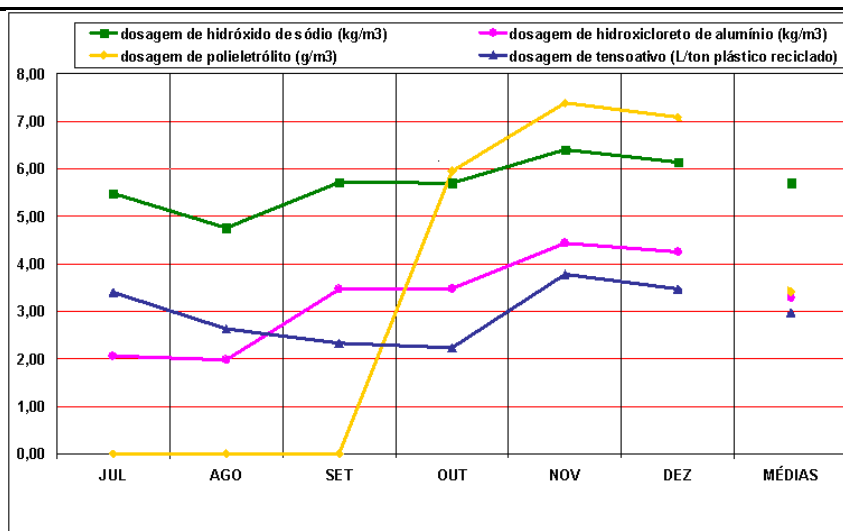


Figura 5.8: GRÁFICO DE DOSAGENS DE PRODUTOS QUÍMICOS NO PROCESSO E TRATAMENTO DE EFLUENTES - 2006

Com relação ao **lodo gerado no processo**;

as Figuras 5.1 e 5.5, apresentadas anteriormente demonstram os dados relativos a produção de lodo Classe I, cujo destino é aterro industrial. Os dados apresentados referem-se a geração unitária correlacionada com o volume de efluentes tratados e a quantidade de plásticos reciclados.

O uso dos *big bags* para desagüamento do lodo manifestou resultados satisfatórios quanto aos aspectos econômicos, operacionais e logísticos já que:

- a) são de baixo custo - aproximadamente, R\$ 10,00 por unidade;
- b) são apropriados para o lançamento do lodo tal qual é descartado de suas fontes geradoras, constituindo-se após o desagüamento nos recipientes de armazenamento e transporte até o local de destino apropriado (aterro industrial). Esta vantagem pode ser considerada excepcional, já que a maior dificuldade no uso de soluções de desaguamento sem o emprego de equipamentos (centrífugas, filtros-prensa, mesas desaguadoras etc.) consiste nas operações de remoção e traslado do lodo desidratado das unidades de processo e acondicionamento do mesmo;
- c) são de fácil transporte com o uso de empilhadeiras;
- d) manifestam grande capacidade de drenagem dos líquidos percolados, sem, contudo, permitir o escape de sólidos em excesso, observação que pode ser comprovada pela observação visual do retorno da fase líquida ao poço de sucção;
- e) permitem o acondicionamento de grande volume de material, cerca de 900 L.

A análise do comportamento dos *big bags* como unidades de desagüamento não pode ser feita com detalhes em função do seu reduzido tempo de operação dos mesmos e, principalmente por serem utilizados, duas vezes ao dia na recepção de novas descargas de lodo, seja do decantador, ou da câmara de retenção de sólidos

grosseiros. Desta forma, não houve oportunidade de executar coletas de amostras do lodo em processo de desagüamento por diversos períodos, acompanhando a redução do teor de umidade em função do tempo. Os resultados obtidos sobre este aspecto referem-se às concentrações de sólidos das amostras de lodo tal qual e de outras duas, uma para dois dias de desagüamento e outra nas condições finais de estocagem, aguardando transporte para o aterro químico. Esses dados resultaram de amostras compostas coletadas durante as descargas para os *big bags* e dos próprios, retiraram-se, após homogeneização, volumes de 200 mL, pesados tal qual, e após a secagem em estufa até a obtenção de peso constante. Os resultados são apresentados na **Tabela 5.2.**

Tabela 5.2: VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS (PORCENTAGEM EM MASSA) EM AMOSTRAS DE LODO TAL QUAL E APÓS 2 E 30 DIAS DE DESAGUAMENTO

COLETA	LODO PRIMÁRIO	LODO QUÍMICO	“BIG-BAGS”	
			2 dias	30 dias
1	8,3	2,7	12,4	29,1
2	5,8	1,8	9,5	32,5
3	9,5	2,5	13,6	25,7
4	8,0	3,1	11,1	28,9

Fonte: ORSI BORDONALLI (2005)

5.2 DESEMPENHO DO STAR POR MEIO DE DADOS QUALITATIVOS DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

Os dados apresentados neste item referem-se às características qualitativas dos efluentes brutos e tratados coletados no STAR de outubro de 2006 a janeiro de 2007. As amostras de efluente bruto foram coletadas em derivação da tubulação de recalque ao floculador, em ponto a montante da introdução dos produtos químicos utilizados no tratamento. Desta forma, representa as características qualitativas do que foi efetivamente tratado no STAR, lembrando que parcela dos sólidos grosseiros já havia

sido removida na câmara inicial do poço de sucção, cujo direcionamento é feito diretamente aos *big bags* para desagüamento.

As amostras de efluentes tratados foram coletadas nos mesmos períodos das amostras brutas, junto à caixa de sucção que permite o bombeamento dos efluentes para reúso nas lavagens de plásticos. Todas as coletas foram feitas em amostras compostas de alíquotas tomadas a cada meia hora durante uma manhã ou tarde de funcionamento do moinho.

Após a incorporação das melhorias ao STAR já mencionadas anteriormente, destacando-se a câmara de remoção de sólidos grosseiros e respectiva bomba, o pHmetro de ajuste automático da dosagem de soda cáustica, o sistema de preparo e dosagem de polieletrólito e o uso efetivo dos *big bags* como unidades de desagüamento do lodo, programou-se a renovação da água presente no circuito para o início de novembro; antes, porém, foi feita uma coleta das amostras até então circulantes no sistema (coletada em 26/10/2006). Essa estratégia permitiu o acompanhamento da evolução dos parâmetros de qualidade durante um ciclo de três meses (novembro a janeiro), sem renovação da água, a não ser pela admissão de parcela das águas pluviais precipitadas na indústria, repondo o volume perdido por evaporação, respingos e arraste com os plásticos lavados e lodos gerados no tratamento, conforme já mencionado anteriormente.

Nas **Tabelas 5.3 e 5.4** são apresentados, respectivamente, as eficiências médias e os valores obtidos para todos os parâmetros de qualidade monitorados durante o período, incluindo a água “nova”, cuja introdução ocorreu na data de 06/11/2006. As coletas foram programadas com intervalos menores no início, prolongando-os até a última, que ocorreu na data de 17/01/2007. Todos os resultados foram transformados em gráficos apresentados nas **Figuras 5.9 a 5.21**, onde podem ser comparados os valores obtidos nos efluentes brutos e tratados, além dos valores do pH, parâmetro considerado de fundamental importância para o desempenho do STAR, já que, no caso, a clarificação é proporcionada pela coagulação dos efluentes. Excluíram-se das figuras os parâmetros de cor aparente, Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Sólidos Suspensos Fixos (SSF),

cujos resultados não foram considerados significativos para a análise do desempenho do STAR.

Com o contínuo reúso dos efluentes tratados, os valores do pH manifestaram uma tendência à acidificação, exigindo um contínuo controle da dosagem de alcalinizante para o tratamento dos efluentes. Nas figuras apresentadas, pode-se observar que os valores referentes aos efluentes brutos sistematicamente demonstraram valores menores que os obtidos para os tratados para todas as amostras coletadas a partir da renovação da água circulante no processo. O único caso em que isso não ocorreu foi na primeira coleta, referente a água presente no sistema após um período contínuo de reúso de cerca de seis meses. Nessa época, conforme já mencionado, o ajuste do pH era feito de forma manual, introduzindo-se volumes aleatórios de soda cáustica no próprio poço de sucção e, dessa forma, justifica-se o valor elevado do pH da respectiva amostra.

Como já era de se esperar, a partir da renovação da água, dia-a-dia, houve acréscimo na concentração de sais dissolvidos, tanto nos efluentes brutos, como tratados. Tais dados podem ser observados nas **Figuras 5.14, 5.16 e 5.19**, respectivamente dos parâmetros Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF) e condutividade. A agregação de sais é proveniente do material removido dos plásticos durante suas lavagens e, principalmente, da adição dos produtos químicos inerentes ao tratamento, destacando-se o coagulante (sal de alumínio) e a soda cáustica (sal de sódio), além do hipoclorito de sódio, como desinfetante (sódio e cloretos). Esclarece-se que tais sais referem-se a sólidos fixos, ou seja, de natureza inorgânica, cuja presença máxima na água, depende de sua solubilidade, no caso alta. Dessa forma, espera-se que num sistema de circuito hídrico fechado, sem inclusão de etapa de tratamento de desmineralização (troca iônica ou osmose reversa), suas concentrações naturalmente serão crescentes até seu limite de solubilidade. Já no caso de sólidos de natureza orgânica, tanto suspensos (SSV) quanto dissolvidos (SDV), tem-se de moléculas de maior dimensão, várias delas passíveis de remoção pela coagulação com um sal inorgânico como o PAC utilizado no caso, aliado a presença do polieletrólito.

Assim, justificam-se as remoções observadas nos parâmetros relacionados a presença de tais substâncias, tais como DBO, DQO, óleos e graxas, surfactantes, SSV e SDV, sem a manifestação de aumento de suas concentrações com o contínuo reúso dos efluentes tratados.

Sob o aspecto da clarificação dos efluentes, verifica-se que houve excelente desempenho do sistema de tratamento implantado, confirmado pelo parâmetro turbidez, apresentado na Figura 5.9. As amostras de efluente tratado demonstraram, sistematicamente, aspecto límpido, dando segurança e confiabilidade ao reúso local da água que, no caso em pauta, com absoluta convicção, pode-se afirmar que, para a finalidade de seu uso na LABORMAX, seu padrão de qualidade não precisa ser elevado como por exemplo, o exigido para fins potáveis. Quanto ao parâmetro cor, destaca-se que seus valores sempre foram elevados nas amostras brutas e tratadas, em geral superiores ao limite máximo de detecção do equipamento utilizado para sua determinação (550 UC). Com relação a isso, pode-se comentar que, de fato, apesar da baixa turbidez, que demonstra a boa eficiência de remoção dos sólidos suspensos e coloidais, sempre existiu um residual de cor, inclusive de tonalidades variáveis em função dos lotes de plásticos lavados. Por várias ocasiões, foi possível relacionar a cor residual na água de reúso à presença de resíduos de corantes nas embalagens plásticas recicladas.

A **Tabela 5.3** apresenta os valores médios das eficiências obtidas no processo de tratamento para os diversos parâmetros de qualidade analisados, onde podem ser observados os valores baixos de remoção de SDT, e até negativos para condutividade e SDF, conforme já foi comentado. Destacam-se as altas eficiências de remoção de turbidez, óleos e graxas e próximos a 60% para DBO, DQO, STV e surfactantes.

Tabela 5.3: DESEMPENHO MÉDIO DO STAR

PARÂMETRO	MÉDIA		REMANESCENTE (%)	EFICIÊNCIA DO STAR (%)
	EFLUENTES BRUTOS	EFLUENTES TRATADOS		
Turbidez (UT)	798	32	4	96
Condutividade (μS/cm)	12026	13764	114	-14
DBO (mg/L)	2229	956	43	57
DQO (mg/L)	4978	1997	40	60
Óleos e Graxas (mg/L)	77	6	8	92
ST (mg/L)	16083	10819	67	33
SST (mg/L)	7770	2871	37	63
SSF (mg/L)	4177	1717	41	59
SSV (mg/L)	3593	1154	32	68
SDT (mg/L)	8603	8196	95	5
SDF (mg/L)	6370	6830	107	-7
SDV (mg/L)	2089	1242	59	41
STF (mg/L)	10547	8546	81	19
STV (mg/L)	5682	2396	42	58
Surfactantes (mg/L)	41	15	37	63

Tabela 5.4: REGISTRO DOS PARÂMETROS QUALITATIVOS DAS AMOSTRAS COMPOSTAS DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

PARÂMETROS	26/10/2006		6/11/2006			07/11/206		8/11/2006		10/11/2006		13/11/2006		16/11/2006		20/11/2006		22/11/2006		6/12/2006		21/12/2006		17/1/2007	
	Br.	Tr.	Nova	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.	Br.	Tr.
pH	10,5	7,0	8,0	6,0	7,4	7,0	7,2	6,9	7,5	7,0	7,3	7,9	8,9	7,2	7,3	7,5	8,5	7,8	8,4	6,4	7,2	7,6	9,2	7,3	9,1
Turbidez (UT)	1320	174	1	856	19	2016	31	503	22	687	24	125	28	791	19	453	17	367	7	906	13	271	18	1280	16
Cor Aparente (UC)	>550	>550	<5	>550	>550	>550	>550	>550	>550	>550	>550	>550	139	>550	444	>550	>550	>550	323	>550	491	>550	528	>550	>550
Condutividade (µS/cm)	27700	27300	136,4	1035	8710	817	5380	6570	8850	10610	10880	10630	11240	13100	13910	13400	13900	14590	15830	14280	15310	14390	15090	17190	18770
DBO (mg/L)	3713	2920	< 2	1544	230	2469	185	1213	189	2555	143	1863	836	1831	756	2657	790	2127	1851	3543	1586	1429	1218	1800	765
DQO (mg/L)	7400	6000	< 2	3070	544	5370	368	2600	298	5200	267	2750	1740	3700	1678	5340	1568	4800	2700	7330	3150	5880	3000	6290	2650
Óleos e Graxas (mg/L)	88	23	11	62	12	98	4	50	6	49	5	9	3	147	4	89	4	6	1	227	4	8	3	94	3
ST (mg/L)	68504	47716	214	4604	4240	8040	5636	5556	5980	6716	5491	6871	6152	10116	5856	12443	7813	12018	7856	12248	10200	31712	10734	14172	12151
SST (mg/L)	41158	19420	56	3500	1304	6782	2066	2456	1262	2398	1718	1927	2370	3782	2034	2664	1135	2835	1125	2042	715	21500	610	2192	687
SSF (mg/L)	14052	10992	52	1010	1076	1848	1638	2063	649	1903	1217	1421	1280	2319	573	915	850	1097	729	1564	676	20700	464	1232	456
SSV (mg/L)	27106	8428	4	2490	228	4934	428	393	613	495	501	506	1090	1463	1461	1749	285	1738	396	478	39	800	146	960	231
SDT (mg/L)	27346	28296	158	1104	2936	1258	3570	3100	4718	4318	3773	4944	5962	6334	3822	9779	6678	12659	7523	10206	9485	10212	10124	11980	11464
SDF (mg/L)	23156	23828	70	488	2380	480	3016	1893	4399	2521	3128	2900	3380	3573	3029	7634	5694	8573	5493	7960	8252	7664	8746	9592	10612
SDV (mg/L)	4190	4468	88	616	556	778	554	1207	319	1797	645	2044	1492	2761	793	2145	984	2348	1634	2246	1233	2548	1378	2388	852
STF (mg/L)	37208	34820	122	1498	3456	2328	4654	3956	5048	4424	4345	4321	4660	5892	3602	8549	6544	9670	6222	9524	8928	28364	9210	10824	11068
STV (mg/L)	31296	12896	92	3106	784	5712	982	1600	932	2292	1146	2550	2582	4224	2254	3894	1269	4086	2030	2724	1272	3348	1524	3348	1083
Surfactantes (mg/L)	57	4,3	< 0,1	84	44	48	14	23	21	61	32	17	4,1	11	5,2	45	13	65	14	25	8,8	22	9,9	38	15

Br.= Amostra Bruta

Tr = Amostra Tratada

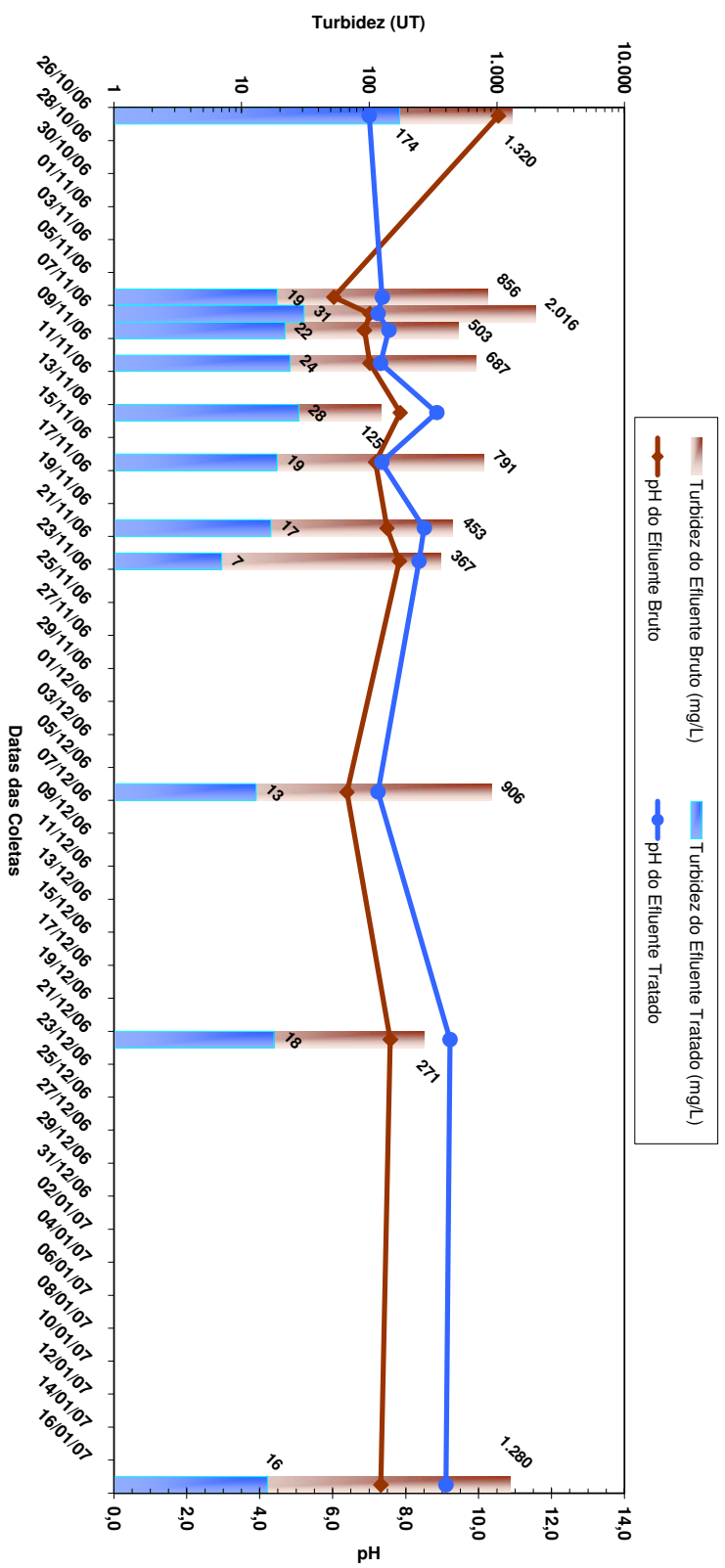


Figura 5.9: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE TURBIDEZ DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

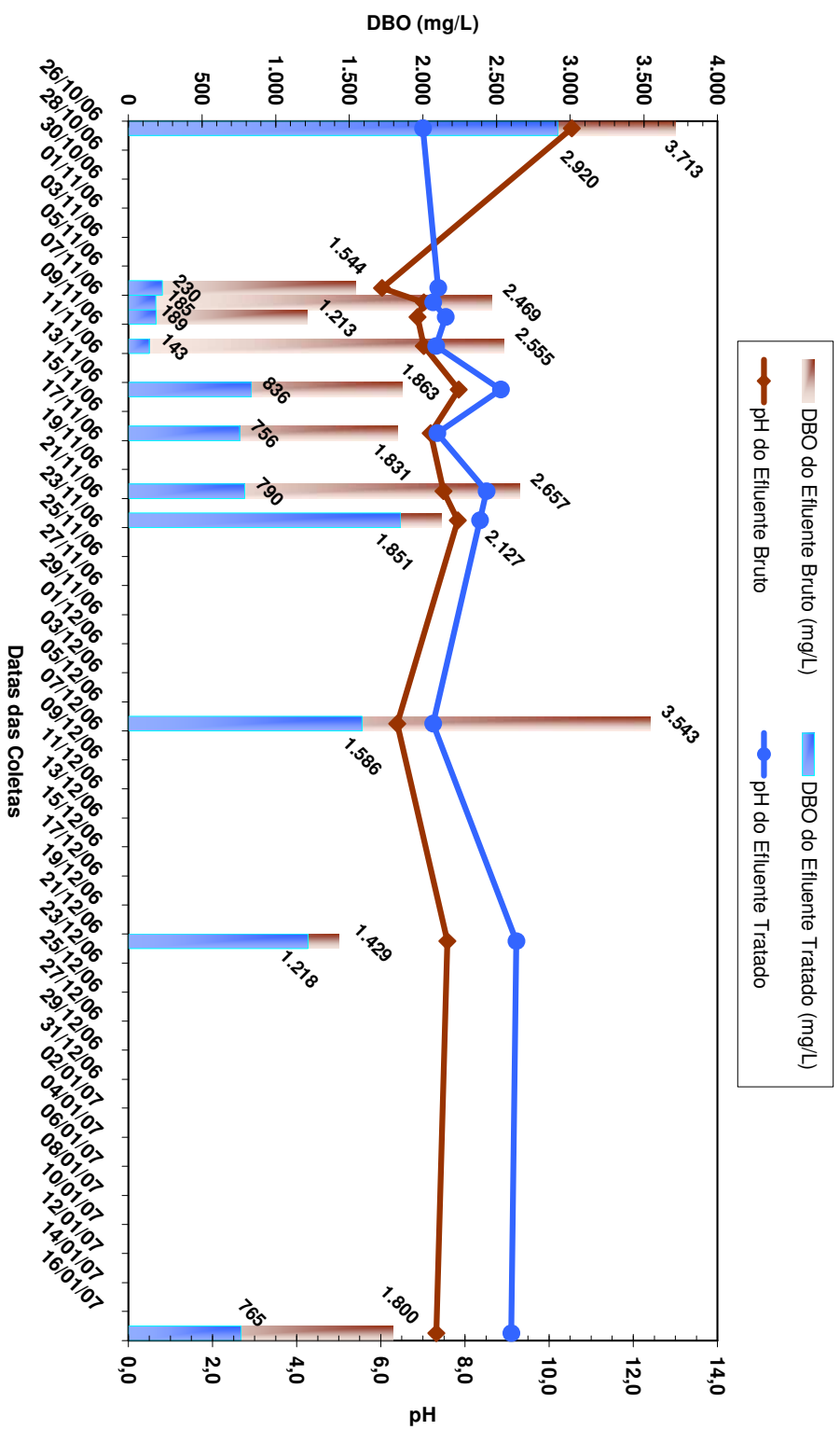


Figura 5.10: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE DBO DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

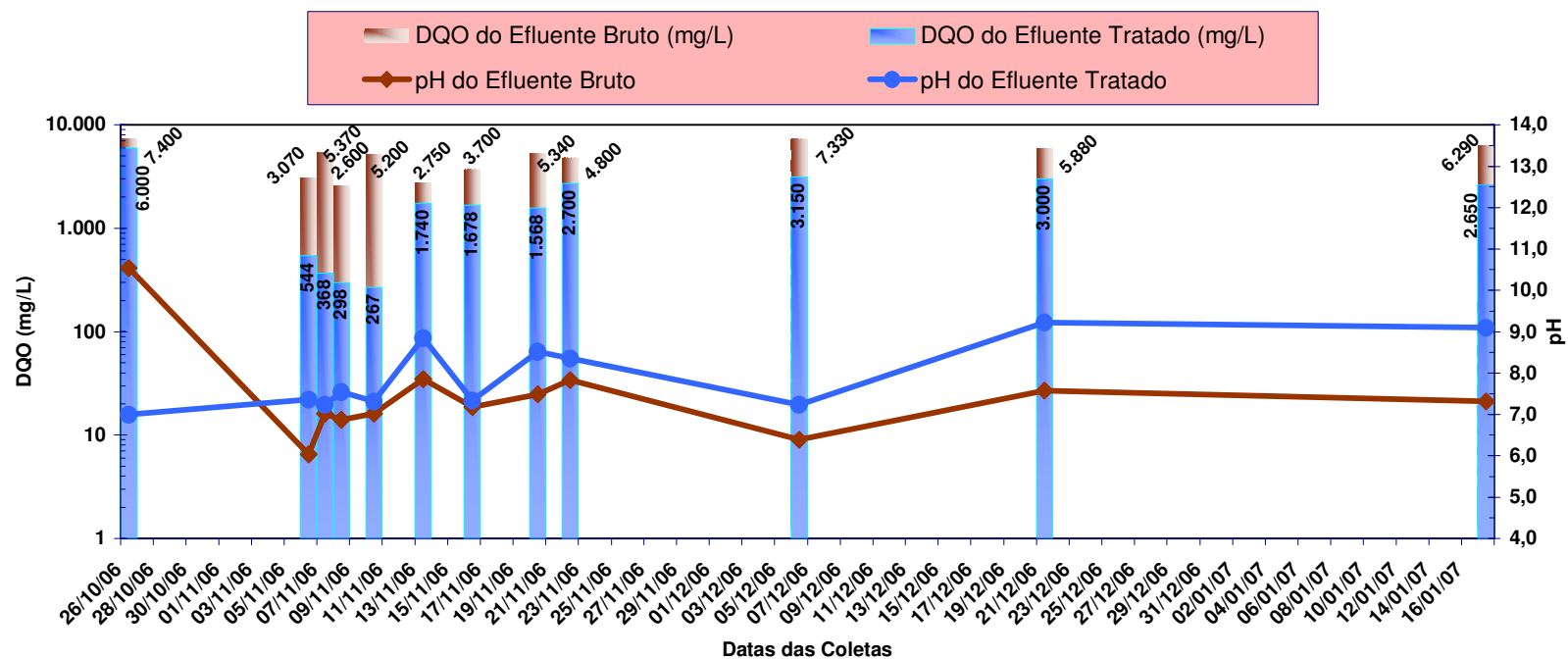


Figura 5.11: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE DQO DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

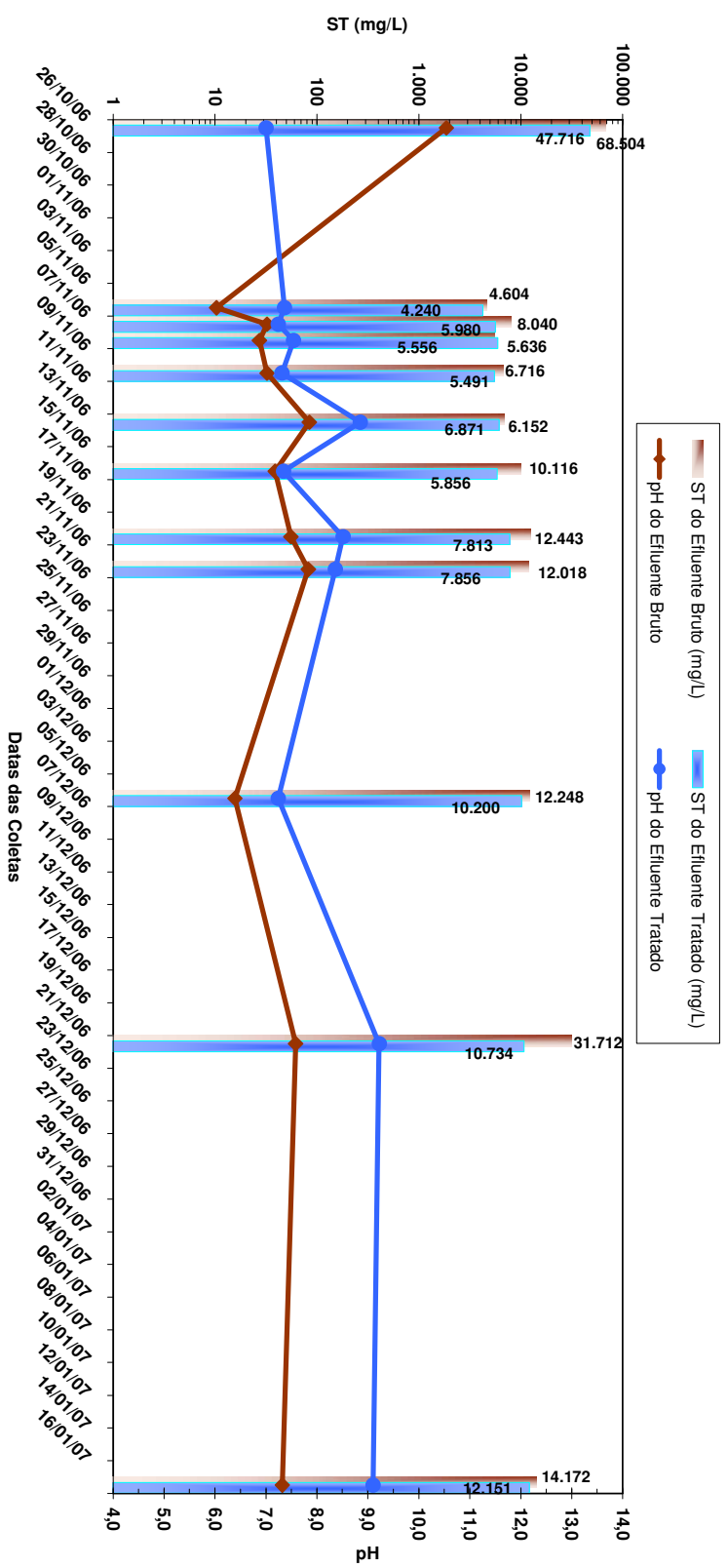


Figura 5.12: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE ST DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

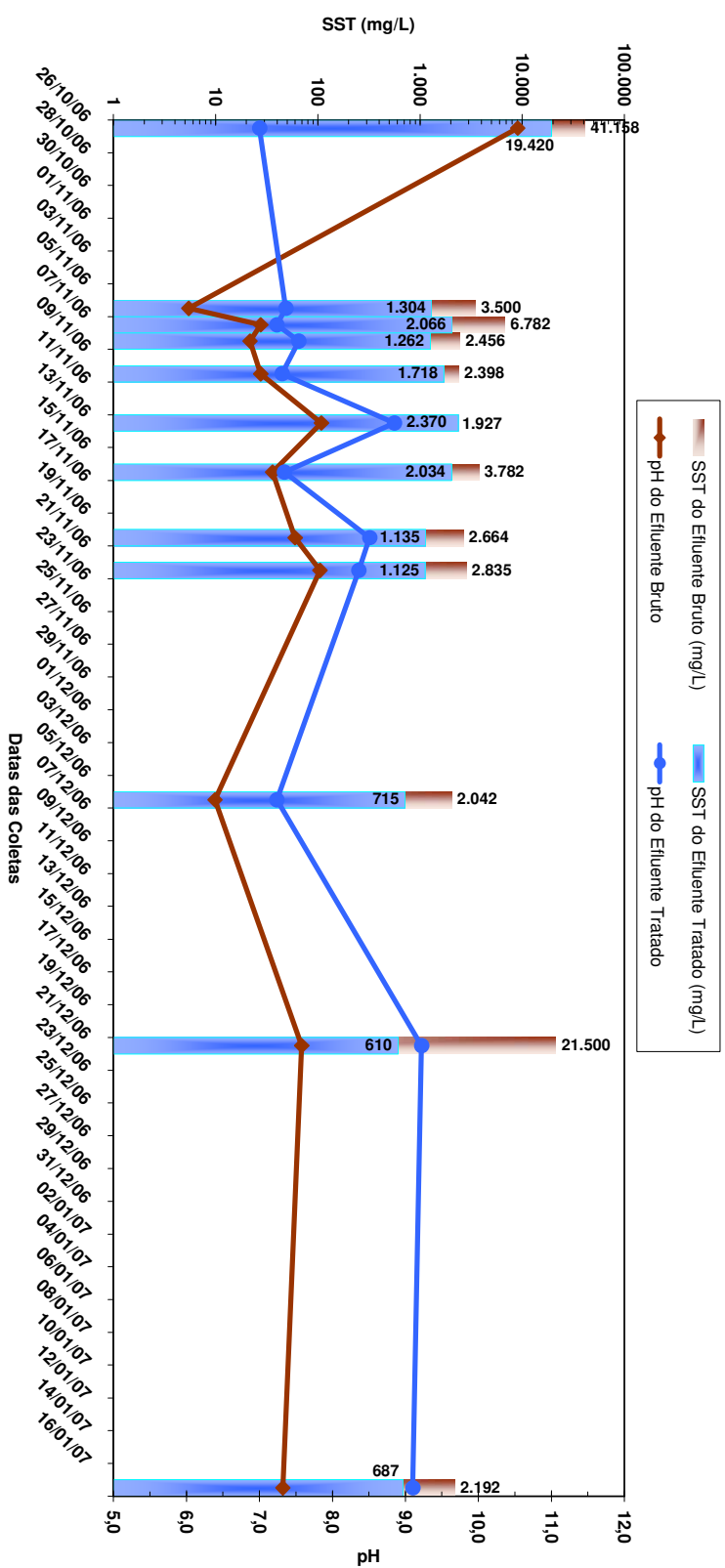


Figura 5.13: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE SST DOS EFLOENTES BRUTOS E TRATADOS

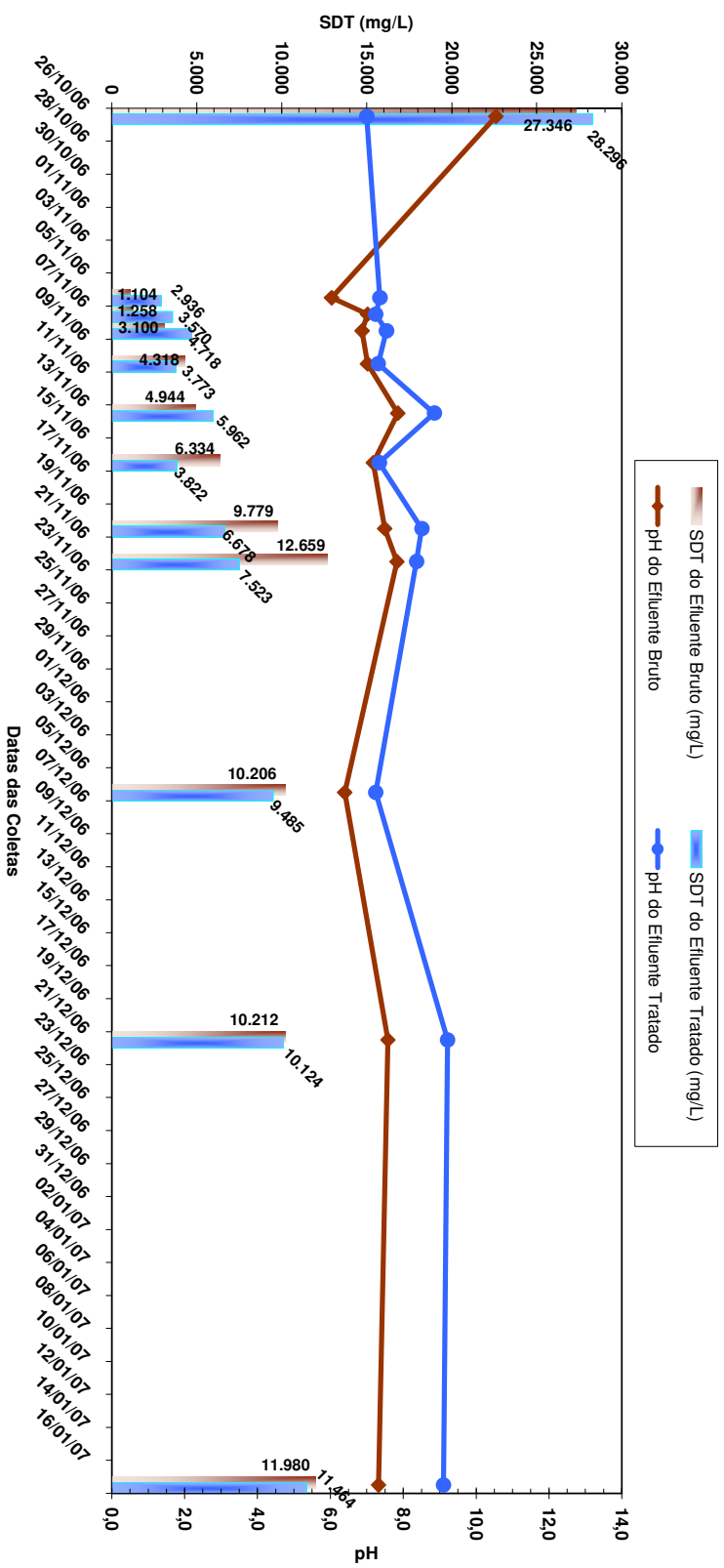


Figura 5.14: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE SDT DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

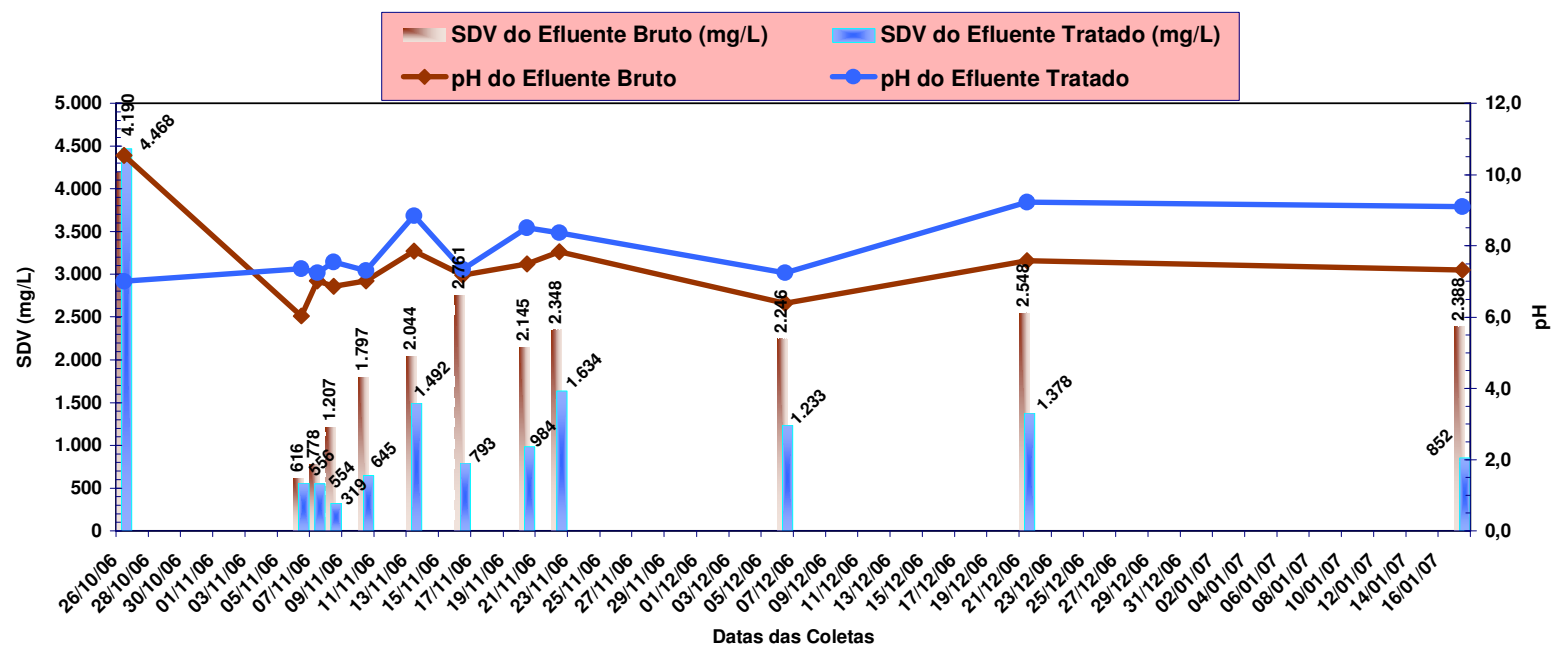


Figura 5.15: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE SDV DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

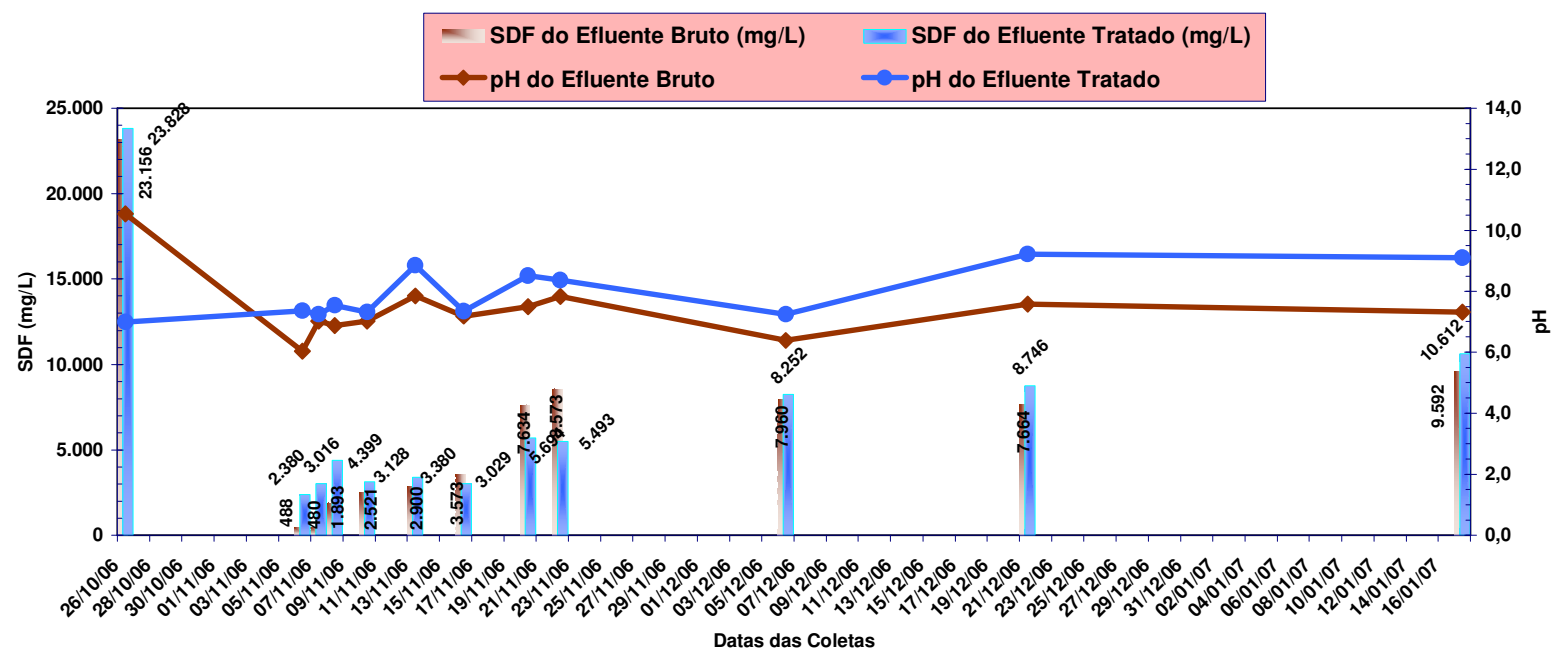


Figura 5.16: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE SDF DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

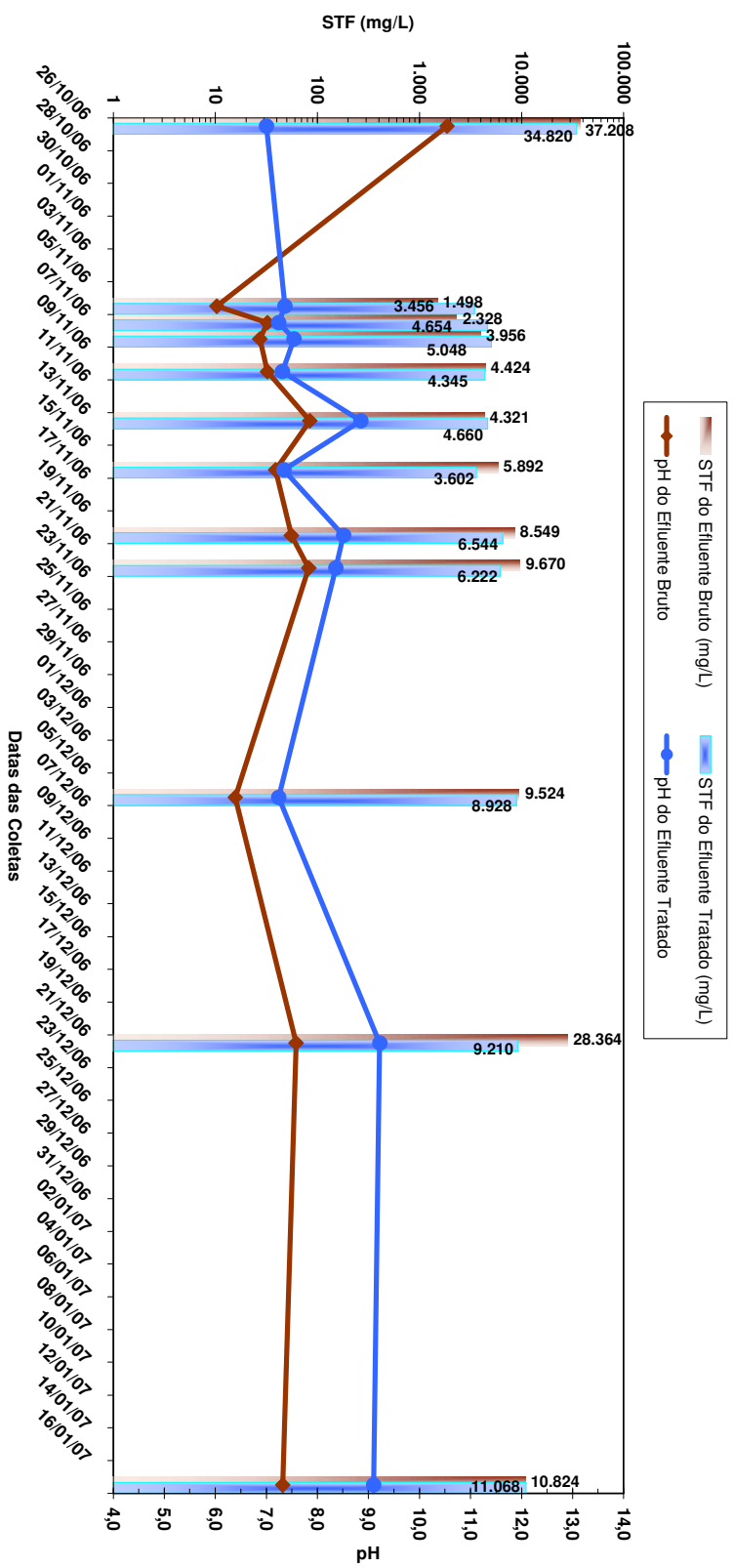


Figura 5.17: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE STF DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

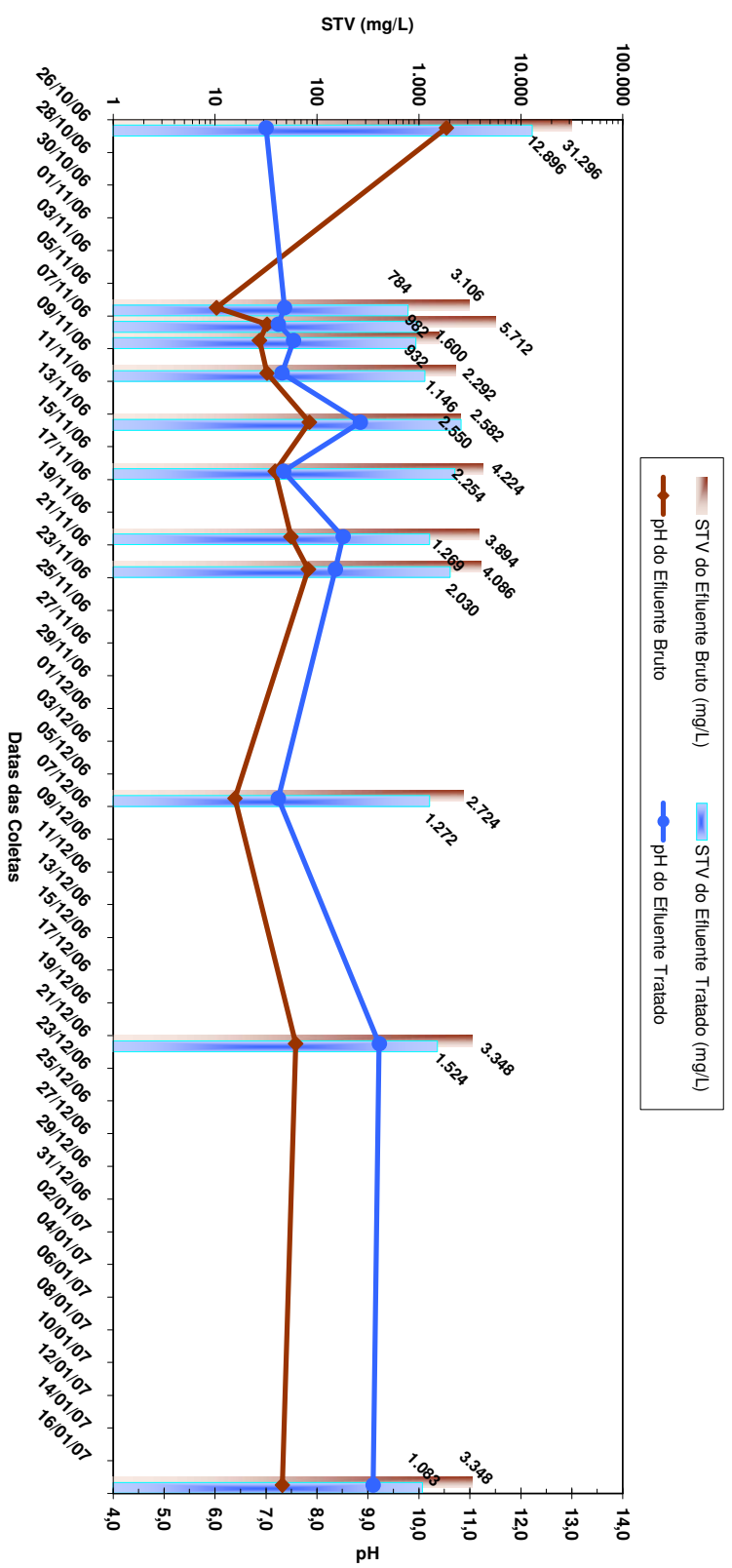


Figura 5.18: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE STV DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

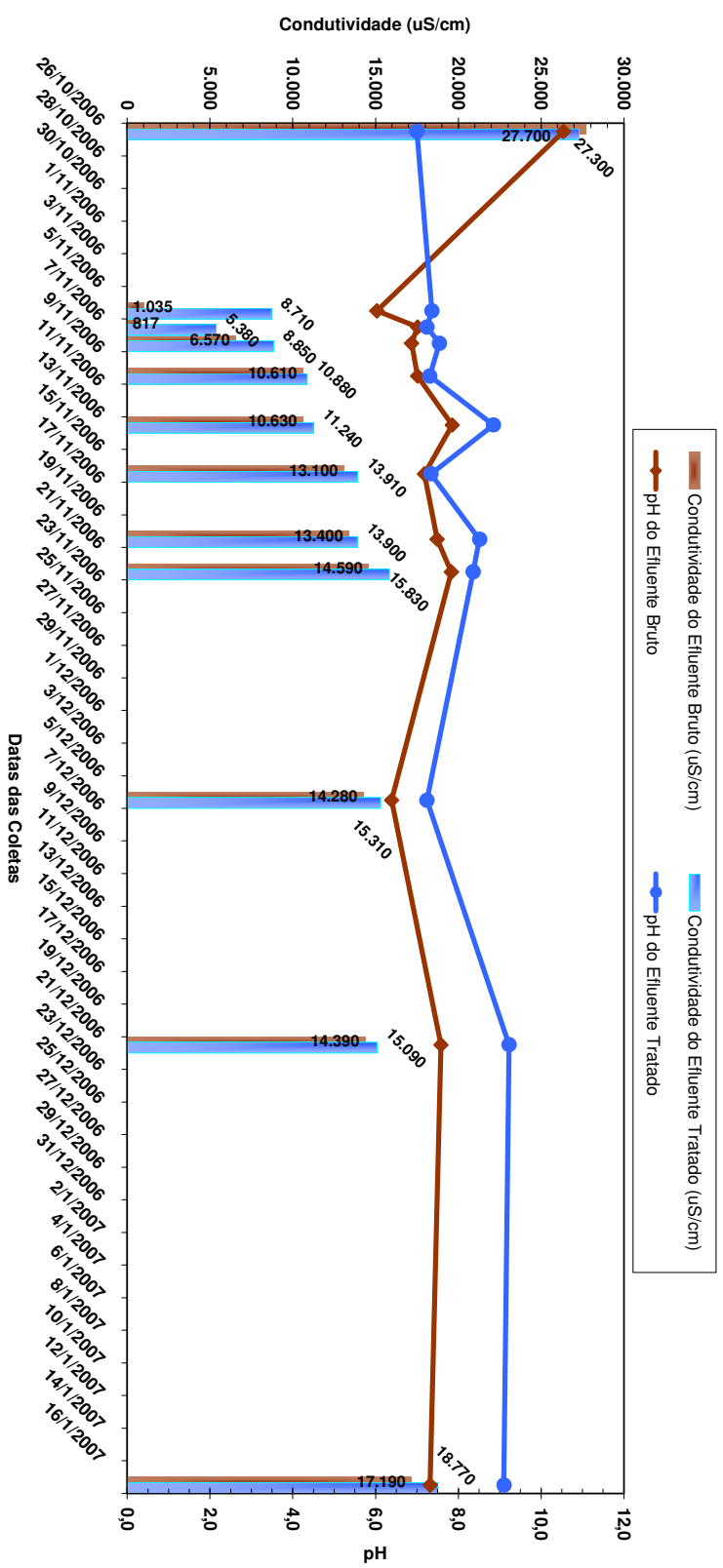


Figura 5.19: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE DOS EFFLUENTES BRUTOS E TRATADOS

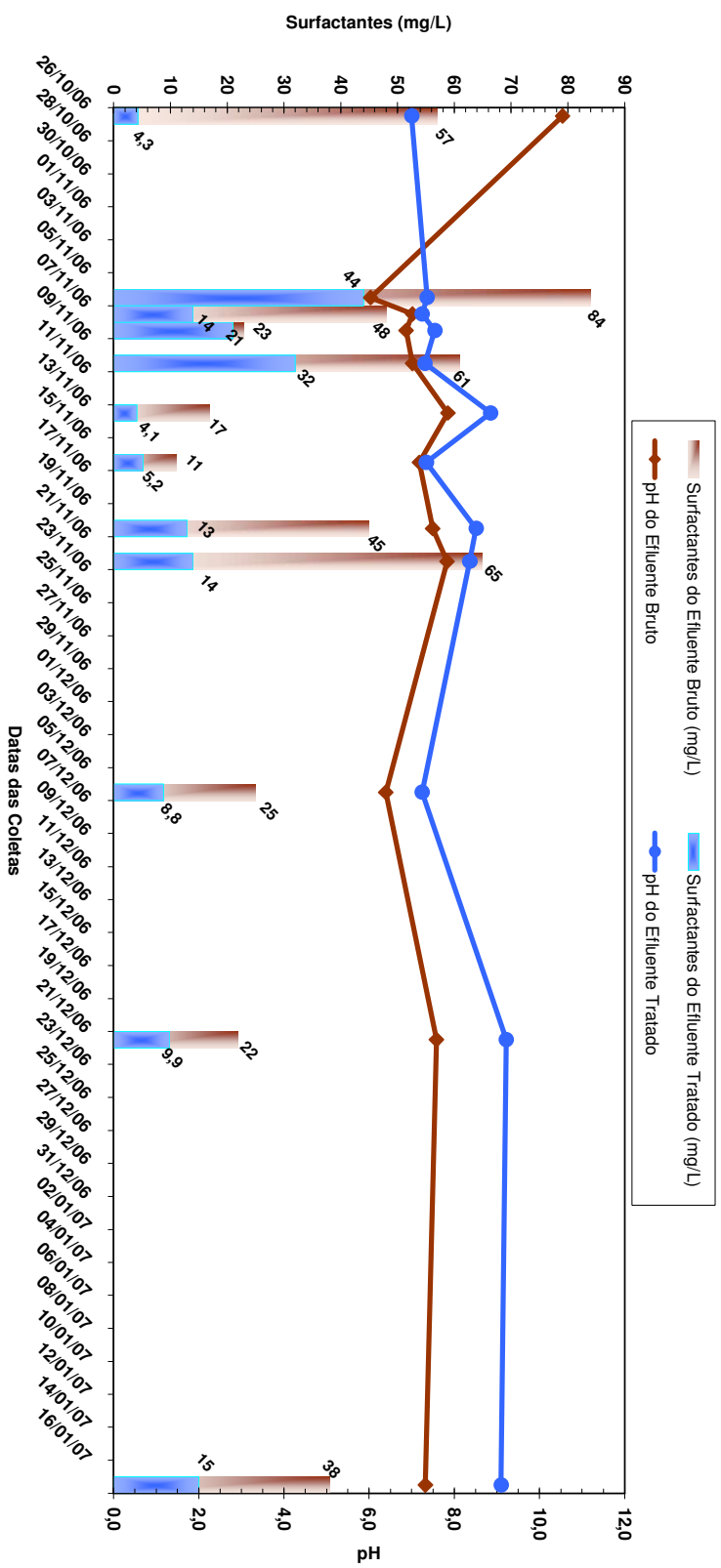


Figura 5.20: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE SURFACTANTES DOS EFLOENTES BRUTOS E TRATADOS

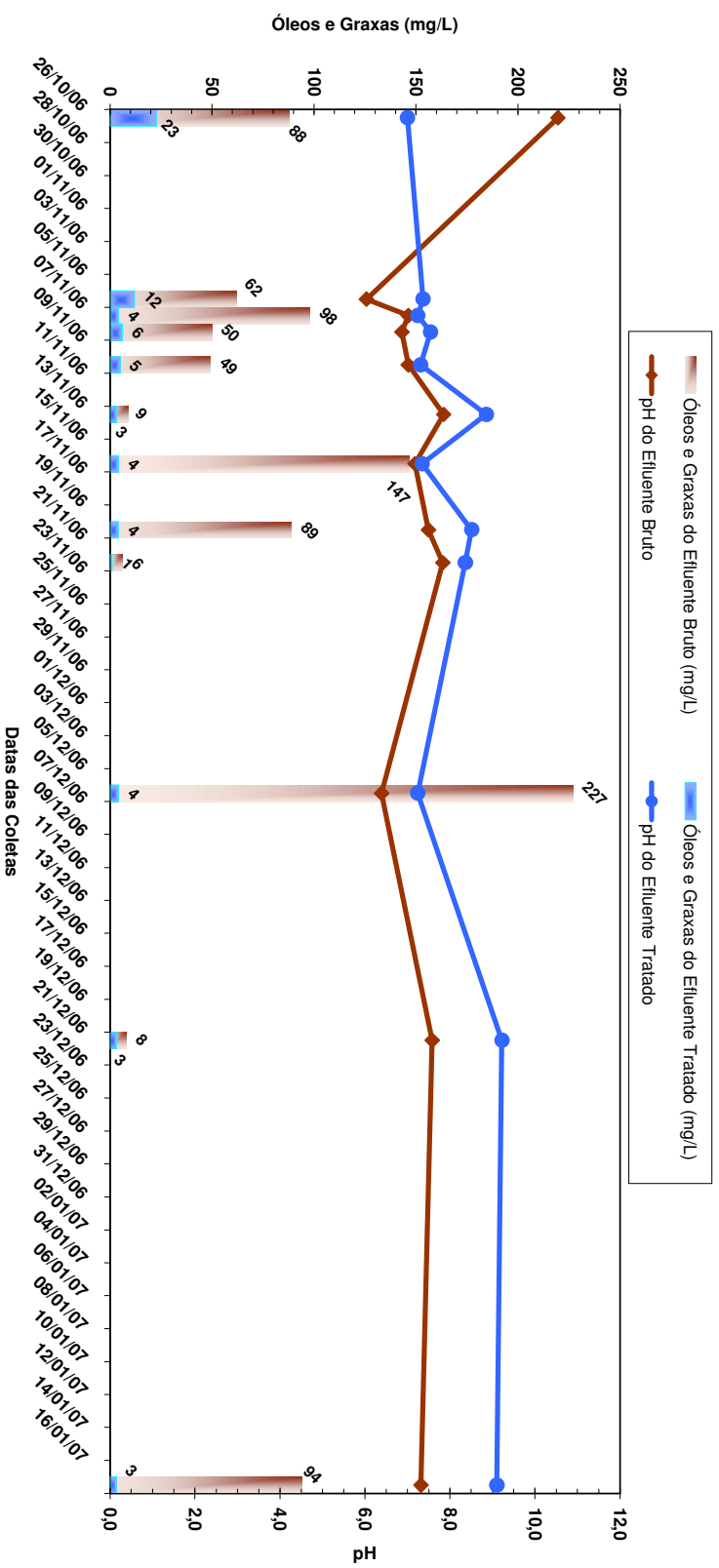


Figura 5.21: GRÁFICO DE DADOS DE VARIAÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DOS EFLOENTES BRUTOS E TRATADOS

5.3 CUSTOS COMPARATIVOS DO CENÁRIO GLOBAL

As tabelas e gráficos a seguir apresentam os custos comparativos do processo global (reciclagem incluindo tratamento de efluentes), considerando três cenários:

- a) o tratamento de efluentes e seu reúso;
- b) o tratamento e descarte na rede pública;
- c) a hipótese do tratamento ser executado por terceiros.

Foi possível, ainda, incluir um quarto cenário, no qual a empresa fabricante de embalagens não lançasse mão da reciclagem de plásticos e utilizasse apenas matéria-prima virgem.

Na análise comparativa de custos, considerou-se que no cenário empregado atualmente pela empresa (a), haverá (conforme ocorreu durante o período de levantamento dos dados) a necessidade de descarte do volume total de água presente no circuito hídrico, enviando-o a tratamento por terceiros, uma vez por semestre, com a conseqüente necessidade de admissão de água “nova” no sistema.

Conforme pode ser observado, a incidência de maior peso no custo do processo de reciclagem recaiu sobre a energia elétrica consumida em todos os equipamentos e, muito próximos a este, os custos da matéria-prima, ambos com cerca de 32%, em qualquer dos cenários, excetuando-se o quarto, evidentemente. De forma decrescente, seguem-se a mão-de-obra, transporte, produtos químicos, destinação adequada de lodo e resíduos e, por fim, o custo para reposição de água e destinação adequada dos efluentes residuais, para o cenário (a).

Destaca-se que, negligenciando-se a possibilidade de fechamento do circuito hídrico e do tratamento de efluentes pela própria empresa que o gera, o peso do custeio do insumo “água de processo” passa a ter um peso considerável, passando de 0,24%,

para 0,93% e, finalmente, para 5,27%, respectivamente, para os cenários (a), (b) e (c). Tal fato evidencia a importância econômica da implementação de sistemas de tratamento de efluentes industriais, principalmente se forem aptos ao fechamento total, ou mesmo que parcial do circuito hídrico, implementado por ações de reúso de efluentes tratados.

5.3.1 CENÁRIO 1: RECICLAGEM INCLUINDO TRATAMENTO E REÚSO DE EFLUENTES

A **Tabela 5.5** e **Figuras 5.22 e 5.23** apresentam os dados relativos aos custos no cenário adotado pela empresa onde o estudo foi realizado.

Como destaque adicional, pode-se concluir que o custo final dos *pellets* produzidos nesse cenário correspondeu ao valor de R\$ 2,67/kg.

Tabela 5.5: DADOS SOBRE O LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA O PROCESSO GLOBAL, CONSIDERANDO O TRATAMENTO DE EFLUENTES E SEU REÚSO

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - RECICLAGEM + TRATAMENTO COM REÚSO DE EFLUENTES									
PARÂMETRO			PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS (2006)						
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1 - ÁGUA E EFLUENTES - REPOSIÇÃO E TRATAMENTO EXTERNO									
1.1	reposição de água potável p/ fins sanitários		m³/mês	35,0	32,0	28,0	25,0	28,0	22,0
	custo unitário	4,50 R\$/m³	R\$/mês	157,50	144,00	126,00	112,50	126,00	99,00
1.2	reposição de água potável p/ processo		m³/mês	-	-	-	-	30,00	-
	custo unitário	4,50 R\$/m³	R\$/mês	-	-	-	-	135,00	-
1.3	lançamento de esg. sanitários na rede pública		m³/mês	8,4	7,7	6,7	6,0	6,7	5,3
	custo unitário	4,45 R\$/m³	R\$/mês	37,38	34,18	29,90	26,70	29,90	23,50
1.4	descarte de efluente para tratamento externo		m³/mês	-	-	-	-	30,00	-
	custo (inclui transp.)	49,40 R\$/m³	R\$/mês	-	-	-	-	1.482,00	-
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	194,88	178,18	155,90	139,20	1.772,90	122,50
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	2.563,56					
2 - PROCESSO PRODUTIVO - MAO DE OBRA, ENERGIA E TRANSPORTE									
2.1	honorários e encargos sociais dos funcionários		R\$/mês	23.529,41	29.647,06	34.352,94	36.705,88	21.176,47	23.058,82
2.2	custos de energia elétrica		R\$/mês	55.889,46	61.212,27	53.228,06	55.889,46	53.228,06	50.566,66
2.3	transporte e manejo de cargas		R\$/mês	17.647,06	22.235,29	25.764,71	27.529,41	15.882,35	17.294,12
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	97.065,93	113.094,62	113.345,71	120.124,76	90.286,88	90.919,60
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	624.837,51					
3 - MATERIA-PRIMA (INCLUI IMPOSTOS)									
3.1	compra mensal		ton/mês	85	40	65	146	28	72
	custo médio unitário	0,80 R\$/kg	R\$/mês	68.000,00	32.000,00	52.000,00	116.800,00	22.400,00	57.600,00
3.2	processada		ton/mês	59	74	86	92	53	58
3.3	produção de pellets		ton/mês	50	63	73	78	45	49
	custo médio unitário	4,50 R\$/kg	R\$/mês	225.000,00	283.500,00	328.500,00	351.000,00	202.500,00	220.500,00
3.4	disponibilizada para troca		ton/mês	7	9	10	10	7	7
	custo médio unitário	0,80 R\$/kg	R\$/mês	5.600,00	7.200,00	8.000,00	8.000,00	5.600,00	5.600,00
3.5	sobras c/ destino ao fornecedor		ton/mês	2	2	3	4	1	2
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	62.400,00	24.800,00	44.000,00	108.800,00	16.800,00	52.000,00
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	308.800,00					
4 - PRODUTOS QUÍMICOS - PROCESSO E TRATAMENTO									
4.1	compra de tensoativo p/ lavagem de plásticos		L/mês	200	200	200	200	200	200
	custo médio unitário	4,45 R\$/kg	R\$/mês	890,00	890,00	890,00	890,00	890,00	890,00
4.2	compra de hidróxido de sódio (50%)		L/mês	600	600	600	600	600	600
	custo médio unitário	0,98 R\$/kg	R\$/mês	588,00	588,00	588,00	588,00	588,00	588,00
4.3	compra de hidroxicloreto de alumínio		kg/mês	360	360	580	625	600	600
	custo médio unitário	1,65 R\$/kg	R\$/mês	594,00	594,00	957,00	1.031,25	990,00	990,00
4.4	compra de polieletrólito		kg/mês	-	-	-	25,0	-	-
	custo médio unitário	25,00 R\$/kg	R\$/mês	-	-	-	625,00	-	-
4.5	compra de hipoclorito de sódio		L/mês	10	10	10	10	10	10
	custo médio unitário	1,75 R\$/L	R\$/mês	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	2.089,50	2.089,50	2.452,50	3.151,75	2.485,50	2.485,50
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	14.754,25					
5 - LODO E RESÍDUOS (INCLUI TRANSPORTE)									
5.1	resíduos da banheira p/ aterro sanitário (seco)		ton/mês	0,30	0,40	0,45	0,50	0,25	0,30
	custo médio unitário	82,50 R\$/ton	R\$/mês	24,75	33,00	37,13	41,25	20,63	24,75
5.2	lodo desidratado p/ aterro industrial		ton/mês	2,30	3,00	3,50	3,70	2,10	2,30
	custo médio unitário	222,67 R\$/ton	R\$/mês	512,14	668,01	779,35	823,88	467,61	512,14
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	536,89	701,01	816,47	865,13	488,23	536,89
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	3.944,62					
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	162.287,21	140.863,31	160.770,58	233.080,84	111.833,52	146.064,49
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	954.899,94					

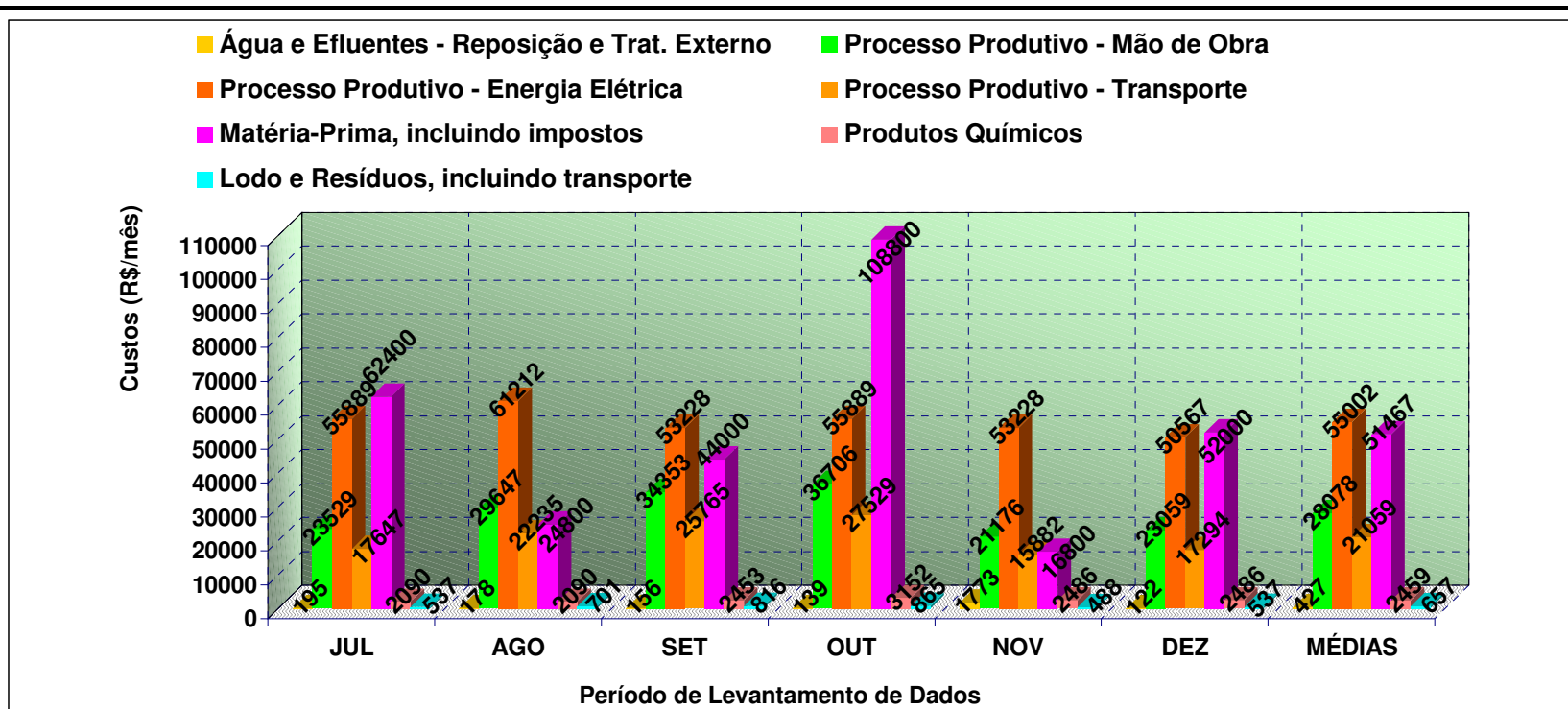
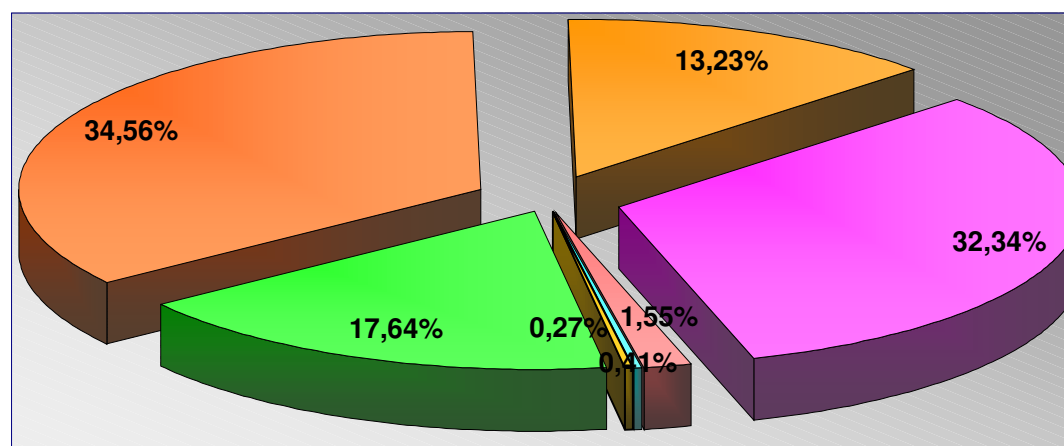


Figura 5.22: GRÁFICO DE CUSTOS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE PEAD CORRELACIONADO AO TRATAMENTO COM REÚSO DOS EFLUENTES - 2006

-
- Água e Efluentes - Reposição e Tratamento Externo
 - Processo Produtivo - Energia Elétrica
 - Matéria-Prima, incluindo transporte
 - Lodo e Resíduos, incluindo transporte
 - Processo Produtivo - Mão de Obra
 - Processo Produtivo - Transporte
 - Produtos Químicos



Período: julho a dezembro de 2006

Figura 5.23: GRÁFICO DE CUSTOS PERCENTUAIS DA RECICLAGEM CORRELACIONANDO AO TRATAMENTO COM REÚSO DE EFLUENTES

5.3.2 CENÁRIO 2: RECICLAGEM INCLUINDO TRATAMENTO SEM REÚSO DE EFLUENTES

A **Tabela 5.6** e **Figuras 5.24 e 5.25** apresentam os dados relativos aos custos no cenário de tratamento de efluentes pela própria empresa, porém com descarte dos efluentes tratados na rede pública.

Como destaque adicional, pode-se concluir que o custo final dos *pellets* produzidos nesse cenário correspondeu ao valor de R\$ 2,69/kg.

Tabela 5.6: LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA O PROCESSO GLOBAL, CONSIDERANDO O TRATAMENTO DE EFLUENTES SEM REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - RECICLAGEM + TRATAMENTO SEM REÚSO DE EFLUENTES									
PARÂMETRO			PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS (2006)						
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1 - ÁGUA E EFLUENTES - REPOSIÇÃO E TRATAMENTO INTERNO									
1.1	reposição de água potável p/ fins sanitários	m³/mês		35,0	32,0	28,0	25,0	28,0	22,0
	custo unitário	4,50	R\$/m³	R\$/mês	157,50	144,00	126,00	112,50	99,00
1.2	reposição de água potável p/ processo	m³/mês		160,5	167,5	154,0	154,5	124,0	129,5
	custo unitário	4,50	R\$/m³	R\$/mês	722,25	753,75	693,00	695,25	582,75
1.3	lançamento de esg. sanitários na rede pública	m³/mês		28,0	25,6	22,4	20,0	22,4	17,6
	custo unitário	4,45	R\$/m³	R\$/mês	124,60	113,92	99,68	89,00	99,68
1.4	lançamento de efluentes tratados na rede pública	m³/mês		171,6	181,7	170,4	172,1	133,9	140,5
	custo unitário	4,45	R\$/m³	R\$/mês	763,66	808,48	758,19	765,71	595,94
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	1.768,01	1.820,15	1.676,87	1.662,46	1.379,62	1.385,07
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	9.692,19					
2 - PROCESSO PRODUTIVO - MAO DE OBRA, ENERGIA E TRANSPORTE									
2.1	honorários e encargos sociais dos funcionários	R\$/mês		23.529,41	29.647,06	34.352,94	36.705,88	21.176,47	23.058,82
2.2	custos de energia elétrica	R\$/mês		55.889,46	61.212,27	53.228,06	55.889,46	53.228,06	50.566,66
2.3	transporte e manejo de cargas	R\$/mês		17.647,06	22.235,29	25.764,71	27.529,41	15.882,35	17.294,12
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	97.065,93	113.094,62	113.345,71	120.124,76	90.286,88	90.919,60
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	624.837,51					
3 - MATERIA-PRIMA (INCLUI IMPOSTOS)									
3.1	compra mensal	ton/mês		85	40	65	146	28	72
	custo médio unitário	0,80	R\$/kg	R\$/mês	68.000,00	32.000,00	52.000,00	116.800,00	22.400,00
3.2	processada	ton/mês		59	74	86	92	53	58
3.3	produção de pellets	ton/mês		50,00	63,00	73,00	78,00	45,00	49,00
	custo médio unitário	4,50	R\$/kg	R\$/mês	225.000,00	283.500,00	328.500,00	351.000,00	202.500,00
3.4	disponibilizada para troca	ton/mês		7	9	10	10	7	7
	custo médio unitário	0,80	R\$/kg	R\$/mês	5.600,00	7.200,00	8.000,00	8.000,00	5.600,00
3.5	sobras c/ destino ao fornecedor	ton/mês		2	2	3	4	1	2
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	62.400,00	24.800,00	44.000,00	108.800,00	16.800,00	52.000,00
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	308.800,00					
4 - PRODUTOS QUÍMICOS - PROCESSO E TRATAMENTO									
4.1	compra de tensoativo p/ lavagem de plásticos	L/mês		200	200	200	200	200	200
	custo médio unitário	4,45	R\$/kg	R\$/mês	890,00	890,00	890,00	890,00	890,00
4.2	compra de hidróxido de sódio (50%)	L/mês		600	600	600	600	600	600
	custo médio unitário	0,98	R\$/kg	R\$/mês	588,00	588,00	588,00	588,00	588,00
4.3	compra de hidroxiclreto de alumínio	kg/mês		360	360	580	625	600	600
	custo médio unitário	1,65	R\$/kg	R\$/mês	594,00	594,00	957,00	1.031,25	990,00
4.4	compra de polieletrólito	kg/mês		-	-	-	25	-	-
	custo médio unitário	25,00	R\$/kg	R\$/mês	-	-	625,00	-	-
4.5	compra de hipoclorito de sódio	L/mês		10	10	10	10	10	10
	custo médio unitário	1,75	R\$/L	R\$/mês	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	2.089,50	2.089,50	2.452,50	3.151,75	2.485,50	2.485,50
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	14.754,25					
5 - LODO E RESÍDUOS (INCLUI TRANSPORTE)									
5.1	resíduos da banheira p/ aterro sanitário (seco)	ton/mês		0,30	0,40	0,45	0,50	0,25	0,30
	custo médio unitário	82,50	R\$/ton	R\$/mês	24,75	33,00	37,13	41,25	24,75
5.2	lodo desidratado p/ aterro industrial	ton/mês		2,30	3,00	3,50	3,70	2,10	2,30
	custo médio unitário	222,67	R\$/ton	R\$/mês	512,14	668,01	779,35	823,88	512,14
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	536,89	701,01	816,47	865,13	488,23	536,89
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	3.944,62					
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	163.860,34	142.505,28	162.291,55	234.604,10	111.440,24	147.327,06
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	962.028,57					

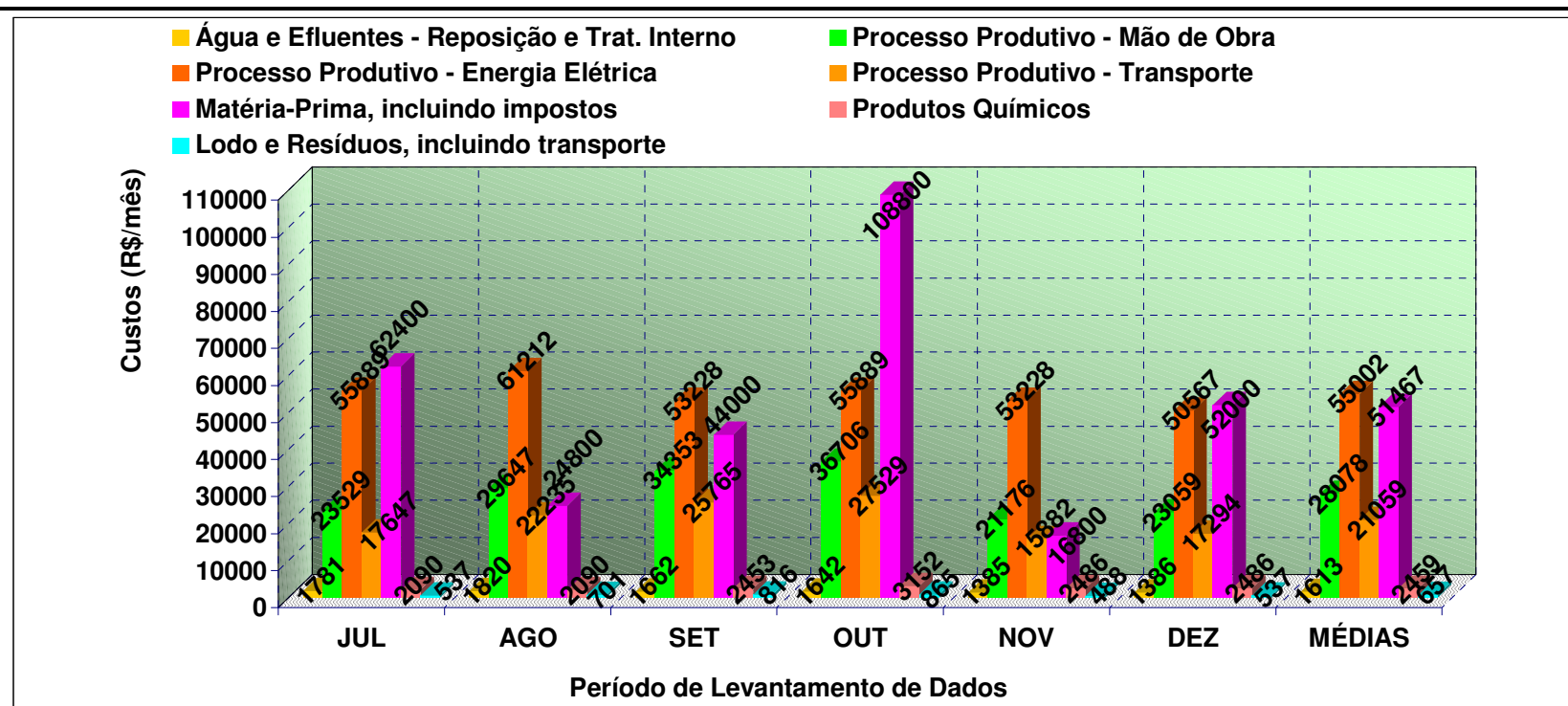


Figura 5.24: GRÁFICO DE CUSTOS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE PEAD CORRELACIONADO AO TRATAMENTO SEM REÚSO DOS EFLUENTES - 2006

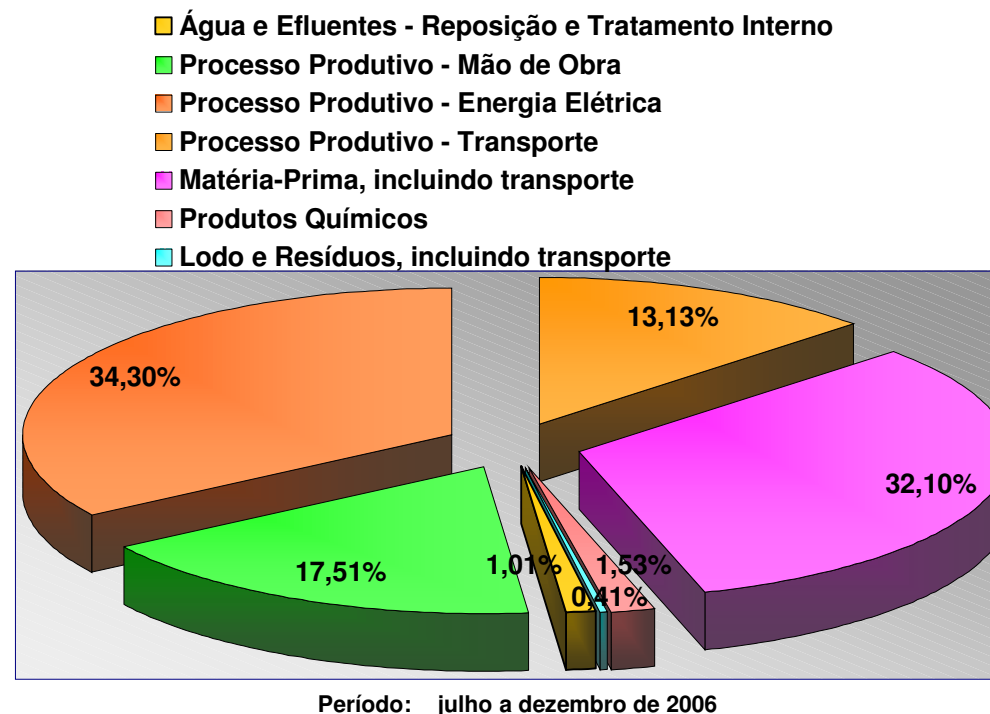


Figura 5.25: GRÁFICO DE CUSTOS PERCENTUAIS DA RECICLAGEM CORRELACIONANDO AO TRATAMENTO SEM REÚSO DE EFLUENTES

5.3.3 CENÁRIO 3: RECICLAGEM INCLUINDO TRATAMENTO REALIZADO POR TERCEIROS

A **Tabela 5.7** e **Figuras 5.26 e 5.27**, apresentam os dados relativos aos custos no cenário com a realização do tratamento de efluentes por terceiros.

Como destaque adicional, pode-se concluir que o custo final dos *pellets* produzidos nesse cenário correspondeu ao valor de R\$ 2,78/kg.

Tabela 5.7: DADOS SOBRE O LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA O PROCESSO GLOBAL, CONSIDERANDO O TRATAMENTO DE EFLUENTES SENDO REALIZADO POR TERCEIROS

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - RECICLAGEM COM TRATAMENTO EXTERNO DE EFLUENTES									
PARÂMETRO			PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS (2006)						
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1 - AGUA E EFLUENTES - REPOSIÇÃO E TRATAMENTO EXTERNO									
1.1	reposição de água potável p/ fins sanitários	m³/mês	35,0	32,0	28,0	25,0	28,0	22,0	
	custo unitário	4,50 R\$/m³	R\$/mês	157,50	144,00	126,00	112,50	126,00	99,00
1.2	reposição de água potável p/ processo	m³/mês	160,5	167,5	154,0	154,5	124,0	129,5	
	custo unitário	4,50 R\$/m³	R\$/mês	722,25	753,75	693,00	695,25	558,00	582,75
1.3	lançamento de esg. sanitários na rede pública	m³/mês	28,0	25,6	22,4	20,0	22,4	17,6	
	custo unitário	4,45 R\$/m³	R\$/mês	124,60	113,92	99,68	89,00	99,68	78,32
1.4	descarte de efluente para tratamento externo	m³/mês	171,6	181,7	170,4	172,1	133,9	140,5	
	custo (inclui transp.)	49,40 R\$/m³	R\$/mês	8.477,53	8.974,99	8.416,77	8.500,26	6.615,65	6.938,23
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	9.481,88	9.986,66	9.335,45	9.397,01	7.399,33	7.698,30
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	53.298,63					
2 - PROCESSO PRODUTIVO - MAO DE OBRA, ENERGIA E TRANSPORTE									
2.1	honorários e encargos sociais dos funcionários	R\$/mês	23.529,41	29.647,06	34.352,94	36.705,88	21.176,47	23.058,82	
2.2	custos de energia elétrica	R\$/mês	54.771,68	59.988,03	52.163,50	54.771,68	52.163,50	49.555,33	
2.3	transporte e manejo de cargas	R\$/mês	17.647,06	22.235,29	25.764,71	27.529,41	15.882,35	17.294,12	
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	95.948,15	111.870,38	112.281,15	119.006,97	89.222,32	89.908,27
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	618.237,23					
3 - MATERIA-PRIMA (INCLUI IMPOSTOS)									
3.1	compra mensal	ton/mês	85	40	65	146	28	72	
	custo médio unitário	0,80 R\$/kg	R\$/mês	68.000,00	32.000,00	52.000,00	116.800,00	22.400,00	57.600,00
3.2	processada	ton/mês	59	74	86	92	53	58	
3.3	produção de pellets	ton/mês	50	63	73	78	45	49	
	custo médio unitário	4,50 R\$/kg	R\$/mês	225.000,00	283.500,00	328.500,00	351.000,00	202.500,00	220.500,00
3.4	disponibilizada para troca	ton/mês	7	9	10	10	7	7	
	custo médio unitário	0,80 R\$/kg	R\$/mês	5.600,00	7.200,00	8.000,00	8.000,00	5.600,00	5.600,00
3.5	sobras c/ destino ao fornecedor	ton/mês	2	2	3	4	1	2	
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	62.400,00	24.800,00	44.000,00	108.800,00	16.800,00	52.000,00
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	308.800,00					
4 - PRODUTOS QUÍMICOS - PROCESSO E TRATAMENTO									
4.1	compra de tensoativo p/ lavagem de plásticos	L/mês	200	200	200	200	200	200	
	custo médio unitário	4,45 R\$/kg	R\$/mês	890,00	890,00	890,00	890,00	890,00	890,00
4.2	compra de hidróxido de sódio (50%)	L/mês	600	600	600	600	600	600	
	custo médio unitário	0,98 R\$/kg	R\$/mês	588,00	588,00	588,00	588,00	588,00	588,00
4.3	compra de hidroxicloreto de alumínio	kg/mês	360	360	580	625	600	600	
	custo médio unitário	1,65 R\$/kg	R\$/mês	594,00	594,00	957,00	1.031,25	990,00	990,00
4.4	compra de polieletrólito	kg/mês	-	-	-	25	-	-	
	custo médio unitário	25,00 R\$/kg	R\$/mês	-	-	-	625,00	-	-
4.5	compra de hipoclorito de sódio	L/mês	10	10	10	10	10	10	
	custo médio unitário	1,75 R\$/L	R\$/mês	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	2.089,50	2.089,50	2.452,50	3.151,75	2.485,50	2.485,50
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	14.754,25					
5 - RESÍDUOS (INCLUI TRANSPORTE)									
5.1	resíduos da banheira p/ aterro sanitário (seco)	ton/mês	0,30	0,40	0,45	0,50	0,25	0,30	
	custo médio unitário	82,50 R\$/ton	R\$/mês	24,75	33,00	37,13	41,25	20,63	24,75
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	24,75	33,00	37,13	41,25	20,63	24,75
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	181,50					
CUSTOS TOTAIS MENSAIS			R\$/mês	169.944,28	148.779,54	168.106,22	240.396,98	115.927,78	152.116,82
CUSTO NO SEMESTRE			R\$	995.271,61					

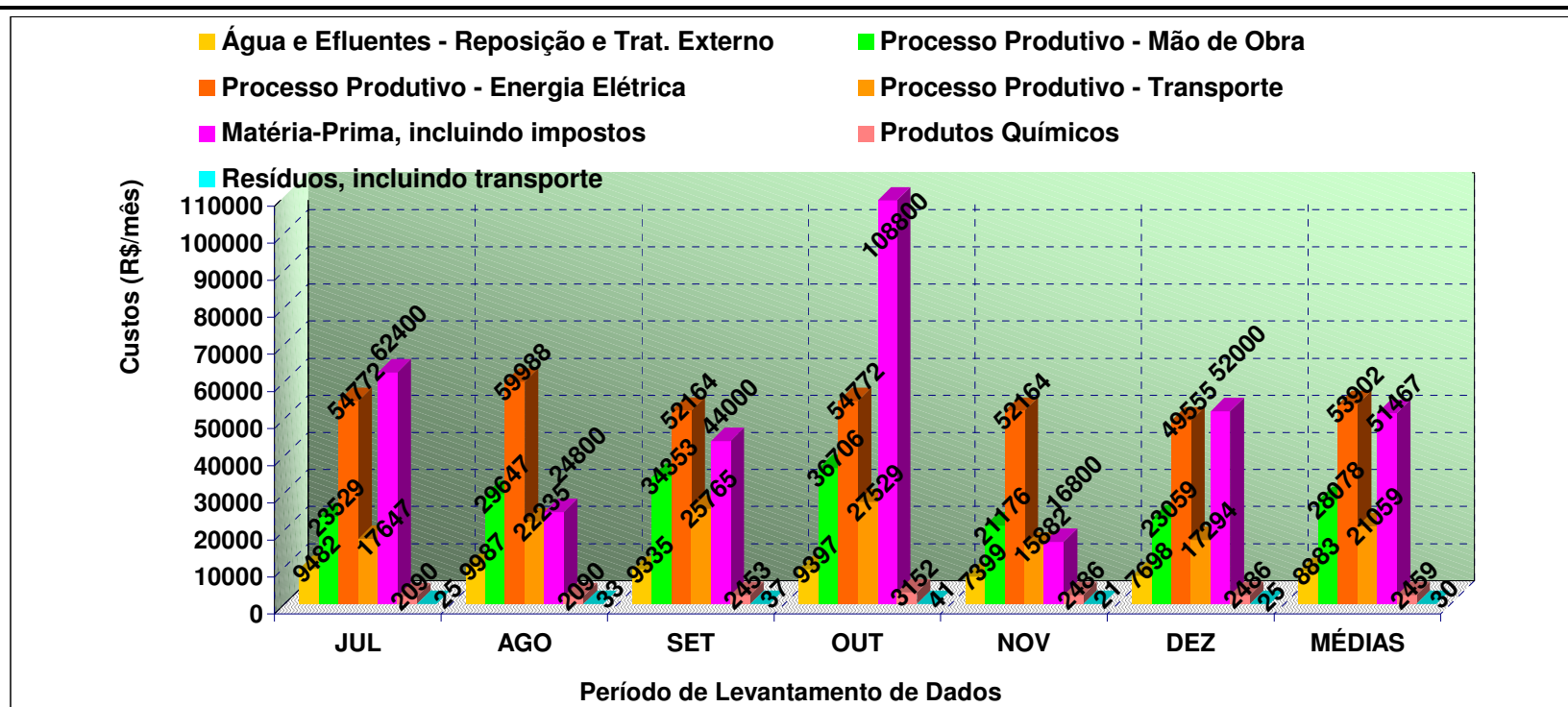
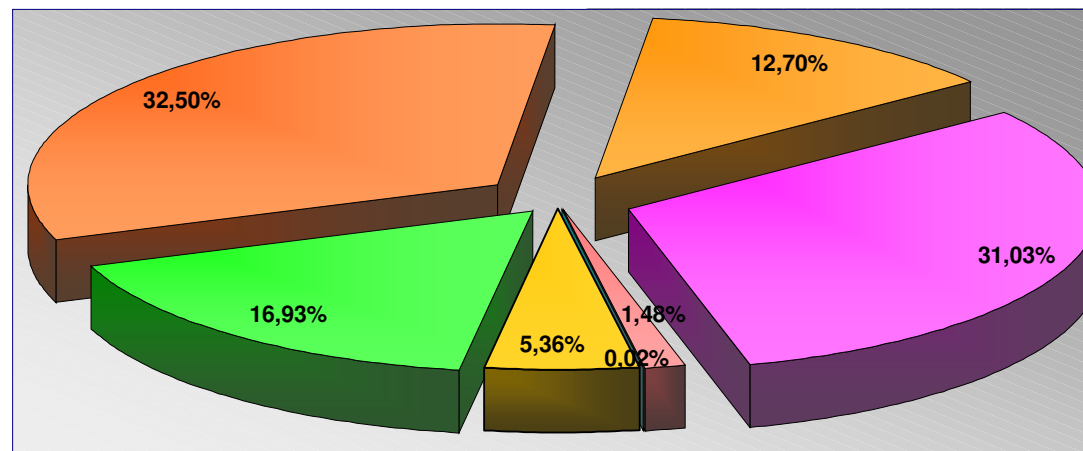


Figura 5.26: GRÁFICO DE CUSTOS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE PEAD CORRELACIONADO COM TRATAMENTO EXTERNO DOS EFLUENTES - 2006

-
- Água e Efluentes - Reposição e Trat. Total Ext.
 - Processo Produtivo - Mão de Obra
 - Processo Produtivo - Energia Elétrica
 - Processo Produtivo - Transporte
 - Matéria-Prima, incluindo transporte
 - Produtos Químicos
 - Lodo e Resíduos, incluindo transporte



Período: julho a dezembro de 2006

Figura 5.27: GRÁFICO DE CUSTOS PERCENTUAIS DA RECICLAGEM CORRELACIONANDO AO TRATAMENTO SEM REÚSO DE EFLUENTES

5.3.4 CENÁRIO 4: COMPRA DE MATÉRIA-PRIMA VIRGEM

Admitindo-se que o custo médio da matéria-prima virgem, no período analisado, foi de R\$ 4,50 (valor incluído nas Tabelas 5.4 a 5.6 para análise comparativa de custos com a reciclagem), para a mesma quantidade de pellets produzidos no processo de reciclagem, seria necessário um montante de R\$ 1.611.000,00 no semestre. Comparando-se com os custos do cenário adotado pela empresa, tais custos resultariam num montante de R\$ 954.648,00, o que resulta numa economia de 40,7%. Torna-se evidente a vantagem econômica do processo de reciclagem de plásticos, no caso de embalagens de PE.

Essa vantagem, no caso da empresa objeto desse estudo, é evidenciada pela total utilização dos *pellets* produzidos em novas embalagens fabricadas pelo próprio grupo empresarial. Caso isso não ocorresse, segundo informações do proprietário, a revenda dos *pellets* reciclados seria impraticável economicamente, já que seu valor unitário, considerando todos os impostos incidentes sobre a venda, no Brasil, atingiria valor que o mercado não absorveria em função de maior dificuldade de manutenção da qualidade final das embalagens produzidas pelo material reciclado, compensando assim, a utilização de matéria-prima virgem, aos custos mencionados acima.

Outro fato que merece destaque consiste no processo de coextrusão, adotado pela empresa deste estudo. Nesse processo, as embalagens novas fabricadas recebem duas camadas de material. A camada interna, com cerca de 70% da massa de plásticos utilizada, é feita com material reciclado de categoria inferior, conferindo problemas na manutenção dos padrões visuais de uniformidade da textura e cor, exigidos pelos consumidores finais dos produtos. A solução para o problema decorre do uso de material reciclado de melhor qualidade na camada externa, viabilizado pela coextrusão nas injetoras lá instaladas.

5.3.5 ANÁLISE DO RETORNO DO INVESTIMENTO NO STAR

Os custos de construção do STAR, para o caso em questão, foram influenciados pelo aproveitamento de diversas unidades já existentes na empresa, tais como reservatórios, tanques de aço inoxidável, turbina do floculador, entre outros, cujos valores foram estimados a custos de mercado como se fossem novos. Os dados são resumidos em:

a) equipamentos:

- bombas dosadoras e tanques de preparação de produtos químicos:
 - ✓ Hidroxicloreto de alumínio: R\$ 2.150,00
 - ✓ Soda cáustica: R\$ 3.850,00
 - ✓ Polieletrólito: R\$ 3.850,00
- bombas centrífugas:
 - ✓ Câmara de retenção de sólidos grosseiros: R\$ 1.760,00
 - ✓ Recalque dos efluentes brutos: R\$ 1.760,00
 - ✓ Recalque dos efluentes tratados: R\$ 1.250,00
- pHmetro de processo: R\$ 2.865,00
- rotâmetros: R\$ 830,00
- floculador, incluindo tanque e turbina: R\$ 8.500,00
- caixa de sucção de efluentes tratados: R\$ 1.950,00
- reservatório de água para reúso: R\$ 2.120,00

b) obras civis, incluindo limpeza e preparação do terreno, fundações, estrutura, revestimentos, impermeabilizações e materiais diversos (tintas, brita, areia, cimento, ferragens, escadas, grelhas etc.):

R\$ 38.670,00

c) instalações hidráulicas e elétricas, incluindo mão-de-obra:

R\$ 5.340,00

TOTAL: R\$ 74.895,00

Tendo por base os dados apresentados na **Figura 5.28**, sem levar em consideração a incidência de juros, verifica-se que o capital investido é recuperado num período aproximado de 12 meses.

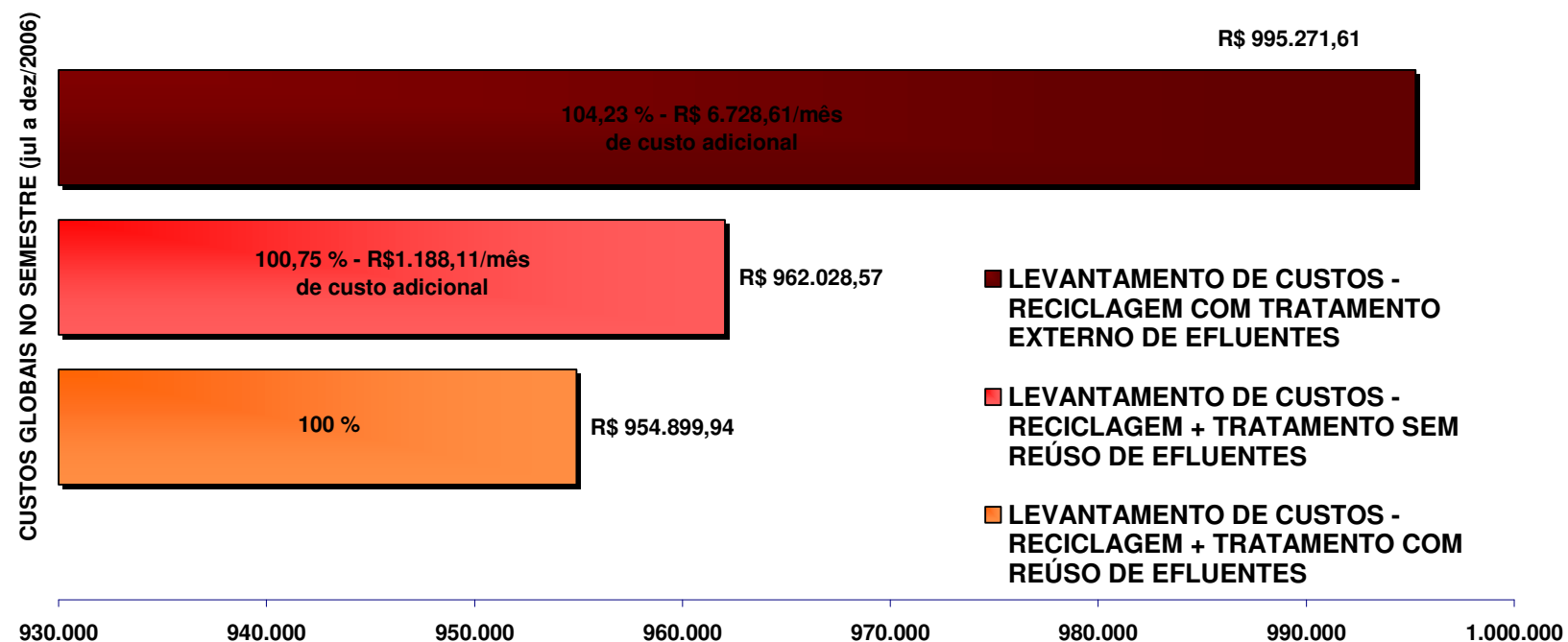


Figura 5.28: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO GLOBAL PARA OS TRÊS CENÁRIOS DA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS

6. CONCLUSÕES

A avaliação da viabilidade econômica do reúso de efluentes tratados, por meio do levantamento de custos de implantação e operação do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias (STAR), relacionando-os com a quantidade de plásticos reciclados e da água utilizada no processo, resultou que, conforme adotado nessa situação em escala real, houve um custo unitário de R\$ 2,67 / kg de *pellets* reciclados, que, quando comparados ao custo de R\$ 4,50/kg de matéria-prima virgem conferem à empresa objeto deste estudo, economia considerável de recursos, o que indica a viabilidade econômica da atividade, comprovando assim uma das hipóteses desta tese.

O procedimento adotado inicialmente de **desenvolvimento de estudos de tratabilidade por processos físico-químicos em instalações de bancada laboratorial**, objetivando testar diferentes tipos e dosagens ótimas de produtos químicos para o efluente a ser tratado auxiliou sobremaneira nas demais etapas desta pesquisa, inclusive pelas próprias características do efluente, que sofreu variações de acordo com o lote a ser lavado. O conhecimento prévio do comportamento da clarificação do efluente com o uso de dosagens diferentes de diversos produtos proporcionou-nos respostas rápidas quando do enfrentamento de problemas no dia-a-dia da empresa.

A partir destes estudos foi possível **conceber, implantar e acompanhar operacionalmente o sistema de tratamento de efluentes e resíduos gerados em escala real**. A implementação de um STAR por processo físico-químico nos moldes do proposto na presente pesquisa, permitiu que os efluentes tratados fossem empregados como água de reúso para a lavagem de plásticos por um período de 6 meses com fechamento total do circuito hídrico, quando, após esse período, deveria ser feita a renovação da água presente no circuito com o envio dos efluentes a tratamento terceirizado.

A partir do **levantamento de custos de implantação e operação do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias (STAR), relacionando-os com a quantidade de plásticos reciclados e da água utilizada no processo**, concluiu-se que o capital investido de R\$ 74.895,00 na construção do STAR pode ser recuperado num período de um (01) ano de operação.

No que diz respeito à **quantificação do consumo de água**, o resultado obtido foi excelente, uma vez que, o consumo unitário de água em relação à matéria-prima reciclado resultou em 2,7 L/kg.

Ainda com relação ao consumo de água, nesse tipo de atividade, é possível promover o reúso de águas cinzas, provenientes de instalações sanitárias, tais como, bebedouros, tanques de lavagem e lavatórios, além da proveniente de precipitações pluviométricas, as quais, permitem compensar as perdas inerentes ao processo produtivo e tratamento de efluentes, que chegaram a 8,3% do volume circulante;

No que diz respeito à **influência do reúso da água nas características qualitativas dos efluentes e resíduos gerados e procedimentos operacionais adotados** foi possível estabelecer que:

- a) O reúso da água após o tratamento no STAR proposto confere à água circulante valores crescentes de sais dissolvidos, também manifestados nas leituras de condutividade, o que impede o fechamento do circuito hídrico indefinidamente. Dessa forma, recomenda-se que haja uma renovação da água do sistema a cada semestre;
- b) O STAR proposto manifestou alto desempenho da redução de valores de turbidez, óleos e graxas, com eficiências superiores a 90%. Para a DBO, DQO e surfactantes, as eficiências obtidas foram próximas a 60%, impedindo o lançamento dos efluentes tratados na rede pública a cada semestre. Destaca-se que nessa situação a qualidade dos efluentes tratados adapta-se perfeitamente ao reúso, não interferindo na eficiência da lavagem dos plásticos, nem, tampouco na qualidade dos *pellets*

produzidos;

- c) O tratamento de efluentes gerados nessa atividade, implementando-se o reúso, exige o emprego de hidroxiclreto de alumínio, soda cáustica, polieletrólito catiônico, em dosagens de, aproximadamente, 4,0 g/L; 6,0 g/L; 7,0 mg/L, respectivamente;
- d) São gerados dois tipos de resíduos nas atividades produtivas e no tratamento de efluentes. Os de Classe II, decorrentes do processo de lavagem que constituem-se, basicamente, de fragmentos de plásticos de polímeros distintos de PE, além de resíduos de rótulos das embalagens recicladas. Os de Classe I, surgem no processo de tratamento dos efluentes, na forma de lodo que deve sofrer desaguamento antes de seu destino a aterro industrial. Suas produções unitárias foram de 6,1 kg/ton e 167,6 kg/ton de material plástico reciclado (50,3 kg (matéria seca)/ ton), respectivamente;
- e) O uso de “big bags” como unidades de recepção, desaguamento e acondicionamento de lodos gerados no tratamento de efluentes, demonstrou grande praticidade operacional, quando comparados ao uso de leitos de secagem convencionais. Além disso, proporcionou excelente capacidade de retenção de sólidos e de drenagem da fase líquida, elevando a concentração para valores próximos a 30% após um período de secagem de 15 dias, em seqüência ao seu preenchimento diário por cerca de 15 dias, a partir de descargas de lodo primário e químico, com concentrações médias de sólidos de 8% e 2,5%, respectivamente.

Isto posto, o objetivo principal foi alcançado quando da **implantação de uma alternativa tecnológica simples sob o aspecto operacional, contemplando baixos custos de implantação e operação para tratamento visando ao reúso dos efluentes líquidos gerados no processo industrial de reciclagem de embalagens plásticas de diversas origens, inclusive de óleos lubrificantes**. Provando-se assim

que várias reutilizações da mesma água resultaram em benefícios econômicos e ambientais, sem prejuízo à qualidade do produto final, ou seja, *pellets* de polietileno de alta densidade (PEAD), aptos à produção de novas embalagens plásticas de uso doméstico.

Foi também comprovada, pela LABORMAX, a segunda hipótese desta tese, de que é possível manter o padrão de qualidade das embalagens utilizando-se 100% de matéria-prima reciclada. Além disto, concluiu-se que, a reciclagem de plásticos PE, a partir de embalagens de uso doméstico, permite a recuperação de 85% em peso de matéria-prima reciclada, gerando, cerca de 11,9% de outros tipos de polímeros plásticos, úteis a outras empresas do setor, e 3,1% de resíduos não aproveitáveis.

Em relação à composição dos custos totais de produção de *pellets* reciclados, considerando o tratamento de efluentes e seu reúso, houve a manifestação dos seguintes percentuais sobre o custo global: 34,5%, referentes à energia elétrica; 32,4%, à matéria-prima; 17,7%, relativos à mão-de-obra; 13,2%, em operações de carga e transporte; 1,5%, quanto a produtos químicos; 0,4% para a destinação de lodo e 0,2% para as renovações e destinação adequada de efluentes.

7 COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

Considero importante salientar que, apesar da relevância de uma pesquisa ser realizada em escala real, faz-se necessário lembrar que o cotidiano, bem como a realidade financeira, das empresas quase nunca são os mesmos daquela que realizamos dentro de um laboratório, com simulações e etc.. Assim, apesar da riqueza de detalhes e do profundo aprendizado, o cronograma estabelecido pela academia é bastante diferente daquilo que acontece na realidade. Desta forma, o cronograma estabelecido inicialmente foi modificado muitas vezes em virtude de adaptações à realidade da indústria.

Encontramos na literatura trabalhos similares, porém nenhum que houvesse acompanhado a implantação desde a concepção do projeto até as situações variáveis inerentes a um processo industrial em escala real. Acredito que nisto resida a real importância desta tese que, certamente, trará sua contribuição ao setor produtivo de reciclagem de plásticos em geral.

Para trabalhos futuros sugerimos que outras pesquisas similares possam enfocar a reciclagem de outros polímeros e auferir a viabilidade econômica da reciclagem de plásticos na produção de pellets vendidos a terceiros.

REFERÊNCIAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET; CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Reciclagem e Negócios** - PET. São Paulo: CEMPRE, 1997.

ABIPLAST - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS. **Perfil da indústria brasileira de transformação de material plástico** - 2004. São Paulo, 2005.

ABIQUIM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Anuário da indústria química brasileira** - 2004. São Paulo: 2005.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PLÁSTICOS. **Anuário do Setor de Plásticos** - 2004. São Paulo: 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13230:1994** – simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro: 1994.

_____. **NBR ISO 14001:2004** - sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: 2004.

_____. **NBR 10.004:2004** – classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004.

ABRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM. **A reciclagem no Brasil** – 2005. Disponível em: <http://www.abre.org.br>. Acesso em 22.01.2006.

ABREU, M.C.S. **Modelo de Avaliação da Estratégia Ambiental**: uma ferramenta para a tomada de decisão. Florianópolis, 2001. 218p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Brasil avança na regulamentação do uso da água em rios fronteiriços.** Disponível em: <http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/noticiasExibe.asp?ID_Noticia=275>. Acesso em: 25 jan. 07

ANVS - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA; MINISTÉRIO DA SAÚDE. Regulamento Técnico - Embalagens Descartáveis de Polietileno Tereftalato (PET) Multicamada Destinadas ao Acondicionamento de Bebidas não Alcoólicas Carbonatadas. **Portaria Nº 987**, de 8 de dezembro de 1998.

_____. Regulamento Técnico - Disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos. **Resolução Nº 105**, de 19 de maio de 1999.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário estatístico.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp>. Acesso em: 09 jan. 2006.

ANDERSON, J.M. Current water recycling initiatives in Australia: scenarios for the 21st century. **Water Science Technology**, v. 33, p.37-43, 1996.

ANDRIETTA, A.J. (2003). **Pneus e meio ambiente:** um grande problema requer uma grande solução. Disponível em: <<http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>>. Acesso em 09 jan. 2007.

ANGELFIRE. **Glossário do petróleo.** Disponível em <http://www.angelfire.com/al/Geografia/glossario.html>, Acessado em 19/02/2006

ANTUNES, A. (coord.). **O futuro da indústria de transformados plásticos:** embalagens plásticas para alimentos Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Instituto Euvaldo Lodi, 2005.

ASANO, T. Planning and implementtion of water reuse projects. **Water Science and Technology**, Exeter, Great Britain, v.24, n.9, 1991. p.1-10.

ASTM - AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard guide for

development of standards relating to the proper use of recycled plastics - **D5033-90**, Philadelphia, v.8.3, p.307-309, 1991.

ATTALA, G; BERTINOTTI, F. The role of crystallization kinetics in the development of the structure and properties of polypropylene filaments. **Journal of Applied Polymer Science**, 28, p.350, 1983.

AZEVEDO NETTO, J.M. et al. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico - CETESB, 1987. 2.v.

BAYER, F. Polyethylene terephthalate recycling for food-contact applications: testing, safety and technologies - a global perspective. **Food Additives and Contaminants**, v.14, n. 6/7, p. 661, 1997.

BORDONALLI, A.C.O.; MENDES, C.G.N. Estudo de tratabilidade de águas de lavagem de plásticos contaminados com óleo lubrificante, visando reúso. In: Seminário de Acompanhamento de Pesquisa em Saneamento e Ambiente 2., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, p.21-23.

BORRELLY, D.F. **Estudo comparativo da degradação de poliestireno e poliestireno de alto impacto por envelhecimentos natural e artificial**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2002.

BROWN, W.E. **Plastics in Food Packaging**: properties, design and fabrication. New York: Marcel Dekker, 1992, cap.12.

CANTO, E.L. **Plástico**: bem supérfluo ou mal necessário? São Paulo: Moderna, 1997.

CBH-PCJ - Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Água. 2004 – 2007**. Campinas: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2006.

CALLEGARI, L. Panorama Setorial. O Mercado de Plásticos. In: **Gazeta Mercantil**, Minas Gerais, v. 1, p.15, out. 2000.

CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1599-1602, 2002.

CECCHIN, C. **Reúso de água**: um modelo proposto para a redução de consumo de água industrial através da metodologia do gerenciamento de processos. 2003, 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Plástico rígido: o mercado** para reciclagem. Disponível em: http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_plastico_rigido.php p. Acesso em: **18 Jan. 2007**.

_____. **Reciclagem & Negócios**: plástico granulado. São Paulo, 1998.

CETESB - COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – 2005**. São Paulo, 2006.

CIRRA - CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO de HIDRÁULICA; DTC ENGENHARIA. **Conservação e reúso de água**: manual de orientações para o setor industrial - v 1. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo – Fiesp/Ciesp. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/secao2/index.asp?ss=166> Acesso em: 30 out. 2005.

_____. <http://www.usp.br/cirra/index2.html>. Acesso em: 21 jan. 2006.

CORDEIRO-NETTO, O. e BARRAQUÉ, B. **Evaluation des politiques publiques de l'environnement**: aspects méthodologiques. Etude pour le Groupe de Prospective du Ministère de l'Environnement. CERGREN (ENPC-ENGREF) et LATTS (ENPC-CNRS). Noisy-le-Grand, França, 2001.

COUTINHO, F. M. B. et al. - Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

DUCHIN, F.; LANGE, G.M. Prospects for the recycling of plastics in the United States. **Structural Changes and Economic Dynamics**, n. 9, p.307, 1998.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for water reuse**. Washington, DC: September, 2004. Legal and Institutional Issues.

FGV - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **A indústria de embalagens no Brasil**. Rio de Janeiro: 2004.

FINK, Daniel R. e SANTOS, H.F. A legislação de reúso de água. In: MANCUSO, P.C.S e SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

FORLIN, F.J.; FARIA, J.A. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.12, n.1, p. 1-10., 2002.

FREIRE, C. et al. Aspectos legais da gestão das águas subterrâneas em Pernambuco – Brasil. In: Encontro das Águas, 2. **Anais...**Montevideo - Uruguai, 1999. p. 68-83

FREIRE, M.A.F. et al. A utilização de resinas recicladas para embalagens de alimentos. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, n. 4, p.42, 1998.

FREITAS, L.T. A corrida pela água. **Revista Exame**, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://portalexame.abril.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2005.

FURTADO, M.R. Tarifas em alta incentivam os primeiros projetos na indústria. **Revista Química e Derivados**, n. 444, São Paulo: QD, 2005, p.23-33.

GIORDANO, G. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos**. 1999, 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, 1999.

GORNI, A.A. Uso da sucata de plástico como combustível em altos-fornos. In: PlastShow - Feira e Congresso, 14. **Anais...** São Paulo: ABIPLAST, 2004. p.23-30

HARDT, L. P. A.; HARDT, C. Gestão urbana em áreas de mananciais hídricos subterrâneos: estudo de caso na Região Metropolitana de Curitiba - Paraná. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XIII, 2004, Cuiabá. A gestão integrada e dinâmica de aquíferos: eficiência e agronegócio. **Anais...** São Paulo: ABAS-Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2004. p. 1-13.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. editores. **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003. p. 37-96

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico do ano de 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA; CEMPRESA - CENTRO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. Coordenação Geral: Jardim, N.S e Wells, C., IPT/CEMPRESA, p. 03-41, (1995).

JOHNSON, R.M.F. et al. A construção do pacto em torno da cobrança pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 15.. **Anais...**Curitiba: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p. 42-50

KASPERSON, R.E.; KASPERSON, J.X. (Ed). **Water reuse and the cities**. New Hampshire: The University Press of New England, 1977.

KELMAN, J. Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos. In: THAME, A.C.M. et al. **A cobrança pelo uso da água**. São Paulo: IQUAL - Instituto de Qualificação e

Editoração, 2000.

KIPPER, L. M. **Ações estratégicas sistêmicas para a rede sustentável de reciclagem de plásticos**. 2005. 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) –Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LAYARGUES, P.P. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito? **Revista Proposta**. Rio de Janeiro: Fase, n. 71, p. 5–10, 1998.

Lereno, A. **Água com consciência**. Ecopress. Disponível em: <http://www.ecopress.org.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_jornal=2eid_noticia=10337eid_pag=22>. Acesso em: 12 jan. 2007.

LIMA, A.M.F. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno na região metropolitana de Salvador como subsídio para análise do ciclo de vida**. Salvador, 2001. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2001.

MAGALHÃES, A.F.R.de. **Proposição, implantação, partida e ajustes de reatores biológicos e físico-químicos para tratamento e reciclagem de efluentes de lavadores de veículos em escala real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 6^a ed. Florida: CRC Press, 1994.

MANCUSO, P. C. (Coord.), (1992) Reuso da Água: memórias do grupo de trabalho da ABES, Seção São Paulo. **Revista DAE**, São Paulo, v. 52, n.167, p. 3-9, set/out 1992.

MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2000.

_____; MENDES, I.C. **Identificação de Plásticos, borrachas e fibras**. São Paulo:

Edgarg Blucher, 2000.

MCG-QUALIDADE LTDA. **Curso** de formação em auditoria ambiental. Versão 01, revisão 08. Rio de Janeiro: MCG Qualidade em Sistemas Ltda, 2000.

MEDEIROS-LEITÃO, S. A. Bases para a estruturação das atividades de reuso de água no Brasil: estágio atual. In: Encontro das Águas 2., Montevideo – Uruguai, **Anais ...** Montevideo: [s.l], 1999.

MIERZWA, J.C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria** - estudo de caso da KODAC Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

_____; HESPANHOL, I. **Água na indústria**: uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MÓDENES, A.N. Redução da emissão de poluentes líquidos por reutilização de água em processos industriais. In: **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 25, no. 2, p. 127-132, 2003.

MUSTAFA, N. - **Plastics waste management**: disposal, recycling and reuse. New York: Marcel Dekker, 1993.

NOGUEIRA, D.M. **Balanço hídrico na refinaria de Paulínia e alternativas para reúso de água**: construção de uma ferramenta auxiliar para o gerenciamento de recursos hídricos, 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

O PLÁSTICO no Brasil. **Plásticos em Revista**. Anuário 2000. São Paulo: 2001. [S.l.:s.n.]

OLIVEIRA, J. **Os agrotóxicos e a poluição das Águas**: coando mosquito e engolindo Camelo. São Paulo: Musa Editora, 2005.

ONUSSEIT, H. Sustainable development during production and use tape. In:

Proceedings, AFERA Technical Seminar, Düsseldorf: 2002.

PEAVY, H.S. **Environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, Inc., 1985.

PIRES, A.S. Reciclagem de frascos plásticos em postos de gasolina. Disponível em: <<http://www.niead.ufrj.br/artigoadilson.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

PLÁSTICOS EM REVISTA. Visão de nata. **Plásticos em Revista**, abr. 1999. Disponível em: <http://www.plasticosemrevista.com.br>. Acesso em: 10 fev. 2006

_____. Com bala na agulha. **Plásticos em Revista**, mai. 2000. Disponível em: <http://www.plasticosemrevista.com.br>. Acesso em: 19 fev. 2006.

PLASTIVIDA. **Elaboração e monitoramento dos índices de reciclagem mecânica dos plásticos no Brasil no ano de 2004**. Disponível em <http://www.plastivida.org.br/reciclagem/rec_energetica.htm>. Acesso em: 18 out. 2005a.

_____. **Tipos de reciclagem de plástico**. Disponível em <<http://www.plastivida.org.br/reciclagem/htm>>. Acesso em: 26 set. 2005b.

REZENDE, J.H; BOTTER, R.C. Programa de Gestão de Resíduos e efluentes para marinas de águas interiores, terminais hidroviários de passageiros e embarcações de turismo e lazer em reservatórios. In: **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9 - Nº 1 - jan/mar 2004, 7-12

RIBEIRO, M.M.R.; LANNA, A.E. Bases para a cobrança de água bruta: discussão de algumas experiências. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, Vitória/ES. **Anais**. Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.1, p.1-8.

ROLIM, S. P. Prós e Contras de Reciclar Plásticos. **Revista Plástico Moderno Online**, 364. Disponível em:< <http://www.plasticomoderno.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2005.

SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP – **Reuso de água**:

solução alternativa para o abastecimento. Disponível em: http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=6proj=sabespepub=Tenome=documento_noticiasedb=eDOCID=C8DD727CB834752183257102007D12B6>. Acesso em 14. jan. 2007.

SANTOS, A.S. et al. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n.5, p.307-312, 2004.

SANTOS, M.M. Química dos Elementos de Transição. **Apostila**. Brasília: Instituto de Química, Universidade de Brasília, 2006.

SANTOS, R.F. dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, S.G.; MIGUEL, E.N. **Oportunidades para redução de efluentes líquidos industriais** - caso da OPP Química S.A., 2002. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

SÃO PAULO et al. **Plano estadual de recursos hídricos 2004 - 2007**. São Paulo: 2004.

SBRT - SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Óleo lubrificante: produção e reciclagem**. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 22 out. 2006.

SENAI - SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA; MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de óleo lubrificante automotivo usado em oficinas automotivas**. Recife, 2006.

SINDICOM - SINDICATO DOS DISTRIBUIDORES DE COMBUSTÍVEIS. Destino de embalagens plásticas de óleos lubrificantes e graxas. **Revista do Combustível**. Disponível em: <http://www.revistacombustiveis.com.br/edicao40/meioambiente02.htm> Acesso em: 14

set. 2006.

SINDUSCOM - SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE CONSTRUÇÃO. **Conservação e Reúso de Águas em Edificações**. São Paulo: Prol, 2005.

SOUZA, M.C. et al. **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio**. Cadeia: plásticos. Campinas: Núcleo de Inovação Tecnológica – Instituto de Economia-UNICAMP, 2002.

STREB, C.S. **A coleta informal de lixo no município de Campinas – SP: uma análise na perspectiva das questões energéticas e da qualidade de vida**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, 2001.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. 2003. 171 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

TSELENTIS, Y.; ALEXOPOULOU, S. Effluent options in Athens metropolitan area: a case study. **Water Science Technology**, v. 33, n.10-11, p.127-138, 1996.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Water recycling and reuse: the environmental benefits**. EPA 909-F-98-001, Water Division Region IX, San Francisco, California, 1998.

VILHENA, A. (coord.). **Guia da coleta seletiva de lixo**. São Paulo: CEMPRE, 1999.

WALLIS, G. A evolução do mercado brasileiro de embalagem e sua inserção no mercado internacional. Brasil Pack Trends 2005. Seminário Embalagem, Distribuição e Consumo. **Anais...** Campinas/SP: Associação Brasileira das Indústrias de Transformados Plásticos, 2005.

WESTERHOFF, G.P; CHOWDHURY, Z.K. Water treatment systems. **Water resources**

handbook. New York: McGraw-Hill, . p. 17.1-14.41, 1996.

WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Water Reuse**. Disponível em <<http://www.wef.org/govtaffairs/policy/reuse.jhtml>> Acesso em 05 abril 2004.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. Technical report series N° 517. Genebra, 1973.

ZAN, F.A.A. Avaliação de estratégias de sustentabilidade técnica em sistemas de reúso de água a partir de efluentes industriais tratados: estudo de caso na Volkswagen - Taubaté/SP, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, 2006.

ZANIN, M.; MANCINI, S.D. **Resíduos plásticos e reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos:Universidade Federal de São Carlos, 2004.

ANEXOS



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

02

Processo Nº
36/00757/05

LICENÇA DE OPERAÇÃO
VALIDADE ATÉ : 26/09/2008

Nº 36002308

Data
26/09/2006

Ampliação Novos Equipamentos

IDENTIFICAÇÃO DA ENTIDADE

Nome	LABORMAX PRODUTOS QUÍMICOS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA			CNPJ	49.448.608/0001-72
Logradouro	ROD ERMÊNIO DE OLIVEIRA PENTEADO			Cadastro na CETESB	353 - 00160 - 5
Número	Complemento	Bairro	CEP	Município	
	KM 56,5	TOMBADOURO	13330-000	INDAIATUBA	

CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Atividade Principal

Descrição
Embalagens de material plástico (polietileno, pvc e semelhantes), fabr

Bacia Hidrográfica	UGRHI	
13 - JUNDIAÍ	5 - PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAÍ	
Corpo Receptor		Classe

Área (metro quadrado)

Terreno	10872,16	Construída	Atividade ao Ar Livre	Novos Equipamentos	Lavra(ha)
14499,37		1636,31	63,00	459,00	

Horário de Funcionamento (h)		Número de Funcionários		Licença de Instalação	
Início	Término	Administração	Produção	Data	Número
06:00	às 06:00	10	90	05/09/2005	36001872

A CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, no uso das atribuições que lhe foram conferidas pela Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976, regulamentada pelo Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976, e suas alterações, concede a presente licença, nas condições e termos nela constantes;

A presente licença está sendo concedida com base nas informações apresentadas pelo interessado e não dispensa nem substitui quaisquer Alvarás ou Certidões de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual ou municipal;

A presente Licença de Operação refere-se aos locais, equipamentos ou processos produtivos relacionados em folha anexa;

Os equipamentos de controle de poluição existentes deverão ser mantidos e operados adequadamente, de modo a conservar sua eficiência;

No caso de existência de equipamentos ou dispositivos de queima de combustível, a densidade da fumaça emitida pelos mesmos deverá estar de acordo com o disposto no artigo 31 do Regulamento da Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976, e suas alterações;

Alterações nas atuais atividades, processos ou equipamentos deverão ser precedidas de Licença Prévia e Licença de Instalação, nos termos dos artigos 58 e 58-A do Regulamento acima mencionado;

Caso venham a existir reclamações da população vizinha em relação a problemas de poluição ambiental causados pela firma, esta deverá tomar medidas no sentido de solucioná-los em caráter de urgência;

A renovação da licença de operação deverá ser requerida com antecedência mínima de 120 dias, contados da data da expiração de seu prazo de validade.

USO DA CETESB

SD Nº
36007533

ENTIDADE

EMITENTE

Local
Agência Ambiental de Jundiaí

SELO
DE
AUTENTICAÇÃO
Carimbo e Assinatura

Pag. 1



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

02

Processo Nº
36/00757/05

LICENÇA DE OPERAÇÃO

Nº 36002308

Data
26/09/2006

EXIGÊNCIAS TÉCNICAS

1. Fica proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites de propriedade do empreendimento.
2. Fica proibido o lançamento de efluentes líquidos em galeria de água pluvial ou em via pública.
3. Os efluentes líquidos do empreendimento deverão ser tratados de modo a atender ao Artigo 19-A do Regulamento da Lei Estadual nº 997/76, aprovado pelo Decreto nº 8468/76, e suas alterações.
4. Os níveis de ruído emitidos pelas atividades do empreendimento deverão atender aos padrões estabelecidos pela norma NBR 10151 - "Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento", da ABNT, conforme Resolução Conama nº 01 de 08/03/90, retificada em 16/08/90.
5. Os resíduos sólidos gerados no empreendimento deverão ser adequadamente dispostos a fim de evitar problemas de poluição ambiental.

OBSERVAÇÕES:

1. A presente licença é válida para a produção média anual de 800 t de polietileno reciclado e 2.200.000 frascos de polietileno utilizando os seguintes equipamentos:

Qtde	Descrição	Potência	Capacidade
1	Equipamento para serigrafia	5,00 kW	
1	Conjunto para reciclagem de plástico	56,00 kW	600,00 kg/h
1	Sopradora	41,00 kW	400,00 un/h
2	Sopradora	27,00 kW	200,00 un/h
1	Sopradora	46,00 kW	80,00 un/h
3	Sopradora	43,00 kW	800,00 un/h
2	Sopradora	110,00 kW	800,00 un/h
2	Picotador	3,75 kW	100,00 kg/h
1	Geladeira	33,00 kW	
2	Extrusora	37,00 kW	110,00 kg/h
1	Compressor de ar	100,00 HP	
2	Aglutinador	22,50 kW	100,00 kg/h
1	Misturador	0,75 kW	
1	Misturador	0,75 HP	
1	Moinho de facas	7,50 kW	100,00 kg/h
1	Moinho de facas	22,50 kW	100,00 kg/h

2. Esta Licença de Operação tem a validade acima mencionada, devendo a sua renovação ser solicitada à CETESB com antecedência mínima de 120 (cento e vinte) dias da data de validade, nos termos do parágrafo 6º do inciso III do art. 2º do Decreto Estadual nº 47.400 de 04 de dezembro de 2002.

SELO DE AUTENTICIDADE
CETESB COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
Biol. Donatino Tremaroli
Gerente da Agência Amb. de Jundiaí
CRB-1 10142-01 - Reg. 36-1941-2

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO **DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

Nº 36001302	Processo Nº 36/00403/06	Folha
Data 18/07/2006	Cadastro na CETESB 353 - 00160-5	1

Resíduos Autorizados

Ordem	Resíduo	Descrição / Origem do resíduo	Classe	Estado Físico	O/I	Quantidade	Unidade
1	A099	Efluente gerado na lavagem de frascos de polietileno pós uso	IIA	LIQUIDO	I/O	360,00	m3 / ano
		Composição Aproximada	Método Utilizado	Cor, Cheiro, Aspecto			
		conforme laudo	standard methods for the examination of water and wastewater - 20 th edition	característicos			
		Destino	Acondicionamento	Descrição do Destino/Acondicionamento			
		T34	E04	Tanque			
				Outros tratamentos (especificar)			

1ª VIA - ENTIDADE GERADORA



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Local
Agência Ambiental de Jundiaí



ENG. ARMANDO CARLOS BRANDINI
Gerente em Exercício
Agência Ambiental de Jundiaí
CPLA 74.732/D - Reg. 36.1407-4
Cálculo e Assinatura

Armando Brandini

GUIA DE DESPEJO nº 01

Número do Cadri: 36001302

Origem do Despejo

Tipo de despejo: **Industrial**

Gerador:

Empresa: LABORMAX PRODUTOS QUÍMICOS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA

Endereço: ROD ERMÊNIO DE OLIVEIRA PENTEADO KM 56,5

Responsável: GIUSEPPE MARIO PRIOR Telefone: 19 38750910

Carimbo e visto do responsável pelas informações:

Transportadora:

Placa do veículo: CEN 3312 Empresa: MARKTEC DESENTUPIDORA LTDA

Capacidade do Tanque: 30 m3 Motorista: WILSON JOSE GUERIN RG: 22.781.719-7

Saída: data 04/11/06 hora :

Portaria ETE data 04/11/06 hora entrada: saída Visto do Porteiro

Recebedor:

Cor		Odor	
☒ Cinza	☐ Branco	☐ Fossa Doméstica	☐ Inodoro
☐ Marrom	☐ Preto	☐ Doce	☐ Fermentativo
☐ Amarelo	☐ <u> </u>	☐ Ácido	☐ Podre
☐ Verde	☐ <u> </u>	☐ Amargo	☐ Sulfídrico
☐ Azul	☐ <u> </u>	☐ Solvente	☐ <u> </u>
☐ Claro	☒ Escuro	☒ Forte	☐ Fraco

Amostra ☒ sim ☐ não

pH 7.0

OBS

04 NOV. 2006

data 04/11/06 hora início (descarte) 12:30 hora final (descarte) 12:45

CIA SAN. DE JUNDIAÍ

Produto sem valor comercial (efluente Industrial). Inútil para qualquer tipo de produção ou consumo. Remetido a CSJ para destruição por tratar-se de material poluente.

Visto do receptor: S. P. P.

RECIBO DE DESPEJO

nº

Recebemos de (origem) L. B. S. Y o Volume de 30 m3

Tipo de despejo: ☐ Fossa Séptica (sanitários) ☐ Caixa de Gordura (restaurante) ☐ Lodo

☐ Lodo de ETE ☐ Chorume ☒ Industrial

OBS

Data 04/11/06 hora início (descarte) 12:30 hora final (descarte) 12:45

Produto sem valor comercial (efluente Industrial). Inútil para qualquer tipo de produção ou consumo. Remetido a CSJ para destruição por tratar-se de material poluente.

Visto do receptor: S. P. P.

04 NOV. 2006

CIA SAN. DE JUNDIAÍ