

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA LAVAGEM DE EMBALAGENS PLÁSTICAS  
PROVENIENTES DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO DOMICILIAR DO MUNICÍPIO DE  
PORTO ALEGRE

ADRIANO DE SOUZA SCHORR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, fevereiro de 2002.

## Apresentação

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Doutor Francisco Ricardo Andrade Bidone, sendo a parte experimental realizada nas instalações da Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU).

Consiste na avaliação das características físico-químicas do efluente líquido proveniente das lavagens de três embalagens de grande uso atualmente: o PET (Polietilenotereftalato), as embalagens cartonadas (Tetra Pak) e o PP (Polipropileno), submetidos a cinco diferentes soluções de lavagem, em equipamento eletro-mecânico relativamente simples e adaptado.

## Agradecimentos

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, tanto no incentivo quanto na parte material, tendo sido vitais para a realização deste trabalho, durante todo o processo de execução.

À minha esposa Clarissa, pela sua companhia constante e encorajadora. Obrigado pelo estímulo que me deu, principalmente nas horas mais difíceis, além do amor que nunca faltou e do auxílio prático em algumas etapas do experimento.

À minha irmã, Luciana, por toda a força dada para a execução deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Francisco Bidone, pelas valiosas sugestões dadas no decorrer do trabalho, bem como à sua forma prática de encarar a pesquisa.

Ao pessoal do DMLU, especialmente as seguintes pessoas: Engenheira Mariza Reis, Sr. Moisés Xavier, Sr. Paulo Guimarães, Sr. Paulinho Chaves, Engenheiro Geraldo Reichert, Sra. Mayra Huerdo, Sr. Marcelo Hoffmann, pela oportunidade da montagem do experimento em suas instalações e pelas oportunas sugestões e dados fornecidos no dia-a-dia do trabalho, especialmente perante as dificuldades que foram surgindo.

Aos colegas e amigos Jaime Federici Gomes e Vladimir C. B. Souza pelos excelentes auxílios no acabamento desta dissertação.

Às bibliotecárias Jussara Silva, Jussara Barbieri, Elisabete e Márcia, pelo auxílio brilhante na formatação das referências bibliográficas e pela ótima orientação na biblioteca.

À técnica Mara Regina R. Domingues, pelo auxílio na execução das análises laboratoriais.

Ao professor Paulo Kroeff de Souza, por suas excelentes idéias na montagem do experimento.

Ao Sr. Humberto Weissmüller de Mello, pelas sugestões quanto à montagem do equipamento.

Ao professor Rogério Dornelles Maestri, por seu auxílio nas áreas de hidráulica e referentes a motores.

Ao Engenheiro Alexandre Mahler, pelo auxílio na parte elétrica.

À Sra. Hilma, Sr. Egídio Fiorotti e ao Sr. Tarso, pelas indicações dadas.

Aos amigos e colegas e a todos que, de alguma forma, acreditaram e incentivaram a realização deste trabalho.

## Resumo

O presente trabalho relata o estudo realizado na área de lavagem de embalagens provenientes da coleta domiciliar de resíduos sólidos. Foram triadas três tipos de embalagens muito utilizados no dia-a-dia: garrafas PET, embalagens cartonadas (Tetra Pak) e embalagens diversas de PP (polipropileno). Após a triagem das embalagens, as mesmas foram cortadas de forma padronizada com uma guilhotina e submetidas à lavagem por 3 horas com cinco soluções diferentes: água da torneira, solução de detergente a 0,5 % e 1 % e solução de soda cáustica (NaOH) a 1 % e 2 %. Foram feitas coletas da água de lavagem ao início de cada experimento (0 h), antes da adição das embalagens e ao final da lavagem (3h). Foram coletadas, também, amostras aos 15 min, 45 min, 1h 30 min e 2h 30 min, para análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>). Em complemento, realizou-se a análise das variáveis físico-químicas potencial hidrogeniônico (pH), cor, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrogênio total de Kjeldahl, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos sedimentáveis, coliformes totais, coliformes fecais e demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), além de uma avaliação visual do material lavado. Os resultados da caracterização do efluente de cada lavagem mostraram uma grande variabilidade nas variáveis, presença elevada de sólidos e efluente de mau aspecto. É proposto um tratamento para estes efluentes. Houve uma eficiência elevada nas lavagens, o que viabiliza a técnica, com vistas à reciclagem.

Palavras – chave: Resíduos sólidos, reciclagem, embalagens, embalagens cartonadas, Tetra Pak, PET, PP, polipropileno, lavagem de resíduos.

## Abstract

The work described was developed in the washing of packages deriving from urban solid waste (USW). Three kinds of daily very used packages were separated: PET bottles, cartoned packages (Tetra Pak) and PP (polypropylene). After package separation, they were cut in a standard way by a guillotine and washed for three hours with five different solutions: water, 0,5 % detergent, 1 % detergent, 1 % sodium hydroxide and 2 % sodium hydroxide. Wash water was collected in the beginning of each experiment (0 h), before adding the packages and in the end of the washing (3 h). Samples were collected to at 15 min, 45 min, 1h 30 min and 2h 30 min to evaluate Biochemical Oxygen Demand ( $BOD_5$ ). Complemently, the analysis of the physical-chemicals variables hydrogenionic potential (pH), color, turbidity, chemical oxygen demand (COD), total phosphorus, Kjeldahl total nitrogen, total solids, total stable solids, total volatile solids, total suspended solids, stable suspended solids, volatile suspended solids, sedimentable solids, total coliformes, fecal coliformes and biochemical oxygen demand ( $BDO_5$ ) was done, besides the visual evaluation of the washed material. The effluent characterization results showed a great variability on variables, high solids presence and a bad aspect effluent. It is proposed a treatment for these effluents. There was a high efficiency in the washings, which turns the technique practicable seeking package recycling.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
4.1	RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL .....	5
4.2	BREVE HISTÓRICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	5
4.3	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	7
4.4	ACONDICIONAMENTO E COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	8
4.4.1	<i>Quantidade coletada .....</i>	<i>9</i>
4.4.2	<i>Caracterização do resíduo.....</i>	<i>11</i>
4.4.3	<i>Coleta seletiva.....</i>	<i>13</i>
4.5	TÉCNICAS DE DESTINAÇÃO FINAL DO RESÍDUO.....	18
4.5.1	<i>Aterros .....</i>	<i>19</i>
4.5.2	<i>Incineração.....</i>	<i>22</i>
4.5.3	<i>Pirólise.....</i>	<i>22</i>
4.5.4	<i>Compostagem / Reciclagem .....</i>	<i>23</i>
4.6	AVALIAÇÃO DA FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES .....	24
4.7	A QUESTÃO ESPECÍFICA DOS PLÁSTICOS .....	25
4.7.1	<i>Classificação e produção dos plásticos .....</i>	<i>26</i>
4.7.2	<i>Tipos de reciclagem de plásticos .....</i>	<i>30</i>
4.7.3	<i>Reciclagem do PET (Polietileno tereftalato).....</i>	<i>31</i>
4.7.4	<i>Reciclagem do PP (Polipropileno).....</i>	<i>34</i>
4.7.5	<i>Reciclagem de embalagens cartonadas longa vida (Tetra Pak) .....</i>	<i>35</i>
4.7.6	<i>Aplicações das embalagens pós-consumo recicladas .....</i>	<i>38</i>
4.7.7	<i>Vantagens da reciclagem / A reciclagem e o problema sócio-econômico .....</i>	<i>43</i>
4.7.8	<i>Taxas de reciclagem .....</i>	<i>44</i>
4.8	A IMPORTÂNCIA E O PROBLEMA DA LAVAGEM.....	45
4.9	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS LAVAGENS .....	46
4.10	EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	47
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
5.1	MATERIAL BRUTO.....	49
5.1.1	<i>Polietileno tereftalato (PET) .....</i>	<i>55</i>
5.1.2	<i>Embalagens cartonadas longa vida .....</i>	<i>55</i>
5.1.3	<i>Polipropileno.....</i>	<i>55</i>
5.2	INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS .....	56

5.3	PREPARAÇÃO DAS EMBALAGENS PARA AS LAVAGENS .....	58
5.4	PROCEDIMENTO DE LAVAGEM .....	60
5.5	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS LAVAGENS .....	61
5.5.1	<i>Lavagem do polietileno tereftalato</i> .....	61
5.5.2	<i>Lavagem das embalagens cartonadas</i> .....	63
5.5.3	<i>Lavagem do polipropileno</i> .....	66
5.6	COLETA DE AMOSTRAS .....	68
5.7	ANÁLISE LABORATORIAL .....	69
5.7.1	<i>Técnicas utilizadas nas determinações dos parâmetros físico-químicos</i> .....	70
5.8	TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	70
<b>6</b>	<b>DIFICULDADES EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>71</b>
6.1	VARIABILIDADE DOS RESÍDUOS .....	71
6.2	EQUIPAMENTO .....	71
6.3	ÁGUA DE LAVAGEM VARIÁVEL .....	72
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
7.1	RESULTADO DAS ANÁLISES .....	74
7.1.1	<i>Lavagens de PET</i> .....	74
7.1.2	<i>Lavagens de embalagens cartonadas</i> .....	81
7.1.3	<i>Lavagens de polipropileno (PP)</i> .....	87
7.2	RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	93
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
8.1	VARIABILIDADE DO MATERIAL BRUTO.....	95
8.2	SISTEMA DE LAVAGEM.....	95
8.3	PROCESSO DE TRATAMENTO ADEQUADO AO EFLUENTE GERADO.....	102
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>107</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>110</b>

## Índice de figuras

Figura 4. 1. Coletor seletivo de resíduos instalado em Belo Horizonte – MG. ....	14
Figura 4. 2. Coleta seletiva porta-a-porta, realizada em Porto Alegre. ....	14
Figura 4.3. Composição média da coleta seletiva em 1994. Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (1994) apud IPT (1995). ....	15
Figura 4.4. Composição média da coleta seletiva em 1999. ....	16
Figura 4.5. Composição média da coleta seletiva em Porto Alegre - 2000. ....	16
Figura 4.6. Composição média dos plásticos na coleta seletiva no Brasil (1994). ....	17
Figura 4.7. Composição média dos plásticos na coleta seletiva em Porto Alegre (2000). ....	17
Figura 4.8. Ilustração de um típico lixão. ....	19
Figura 4.9. Um “mar” de garrafas plásticas poluiu as praias cariocas depois do temporal. ....	20
Figura 4.10. Aterro sanitário em Belo Horizonte. ....	21
Figura 4.11. Coletores tipo “iglu”, utilizados para a coleta de garrafas de PET. ....	32
Figura 4.12. Linha de lavagem e descontaminação de PET. Fonte: Reciclaveis.com.br (2001d). ....	33
Figura 4.13. Triagem de garrafas PET por cor (esquerda) e fardos de PET prensados. Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001). ....	34
Figura 4.14. Silo de armazenamento de “flakes” (esquerda) e “flakes” prontos para o uso (direita). Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001). ....	34
Figura 4.15. Linha básica de reciclagem de polipropileno (PP). ....	35
Figura 4.16. A embalagem cartonada longa vida. Fonte: Zortea (2000). ....	36
Figura 4.17. Hidrapulper vazio (abaixo) e cheio (acima), após agitação. ....	38
Figura 4.18. Distribuição dos mercados para o PET reciclado no Brasil. ....	39
Figura 4.19. Brinquedo fabricado de PET reciclado. ....	40
Figura 4.20. Exemplo de produtos fabricados a partir de embalagens cartonadas longa vida recicladas. Fonte: Tetra Pak Ltda. (2001b). ....	42
Figura 4. 21. Formas de alumínio predominantes em diversas faixas de concentração e pH. Fonte: Pankow (1991). ....	47
Figura 5. 1. Caminhão compactador despejando o resíduo no fosso de recepção. ....	50
Figura 5. 2. Detalhe dos resíduos no fosso receptor. ....	50
Figura 5. 3. Pólipico içando o resíduo em direção à esteira. ....	51
Figura 5. 4. Rasgadura dos sacos. ....	51
Figura 5. 5. Triagem dos resíduos (vista geral). ....	52
Figura 5. 6. Triagem do PET. ....	52
Figura 5. 7. Triagem das embalagens cartonadas. ....	53
Figura 5. 8. Triagem do plástico rígido. ....	53
Figura 5. 9. Material orgânico (a compostar) caindo na caçamba do caminhão, no final da esteira. ....	53
Figura 5. 10. Detalhe do material orgânico na caçamba do caminhão. ....	54
Figura 5. 11. Leiras de compostagem no pátio. ....	54
Figura 5. 12. Equipamentos utilizados no experimento. ....	56



Figura 5. 13. Equipamento de agitação. ....	57
Figura 5. 14. Esquema do lavador completo. ....	58
Figura 5. 15. Esquema de corte das garrafas PET de 600 mL e 1 L. ....	59
Figura 5. 16. Esquema de corte padrão para garrafas PET de 2 litros. ....	59
Figura 5. 17. Forma padrão de corte das embalagens cartonadas. ....	60
Figura 5. 18. Forma padrão de corte das embalagens de polipropileno. ....	60
Figura 5. 19. Lavagem de PET com água. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). ....	62
Figura 5. 20. Lavagem de PET com detergente. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). ....	62
Figura 5. 21. Lavagem de PET com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). .....	63
Figura 5. 22. Flotação dos filmes de polietileno e alumínio e papelão finamente dividido na solução de lavagem após desligar-se a agitação. ....	64
Figura 5. 23. Esquema de coleta de amostras nas lavagens de embalagens cartonadas. ....	64
Figura 5. 24. Lavagem de embalagens cartonadas com água. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita). ....	65
Figura 5. 25. Lavagem de embalagens cartonadas com detergente. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita). ....	65
Figura 5. 26. Lavagem de embalagens cartonadas com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita). ....	66
Figura 5. 27. Polipropileno flotando após o desligamento do agitador. ....	66
Figura 5. 28. Lavagem de polipropileno com água. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). ....	67
Figura 5. 29. Lavagem de polipropileno com detergente. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). .....	67
Figura 5. 30. Lavagem de polipropileno com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita). ....	68
Figura 5. 31. Primeiros 3 litros oriundos do abastecimento da caixa d'água vazia. ....	69
Figura 7. 1. Transbordamento nas lavagens com detergente. ....	73
Figura 7. 2. Sólidos sedimentáveis do efluente filtrado (esquerda) e do efluente não-filtrado (direita). ....	74
Figura 7. 3. DBO das lavagens de PET. ....	75
Figura 7. 4. DBO e pH da lavagem de PET + água. ....	76
Figura 7. 5. DBO e pH da lavagem de PET + detergente 0,5 %. ....	77
Figura 7. 6. DBO e pH da lavagem de PET + detergente 1 %. ....	78
Figura 7. 7. DBO e pH da lavagem de PET + NaOH 1 %. ....	79
Figura 7. 8. DBO e pH da lavagem de PET + NaOH 2 %. ....	80
Figura 7. 9. DBO das lavagens de embalagens cartonadas. ....	81
Figura 7. 10. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + água. ....	82
Figura 7. 11. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + detergente 0,5 %. ....	83
Figura 7. 12. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + detergente 1 %. ....	84
Figura 7. 13. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + NaOH 1 %. ....	85
Figura 7. 14. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + NaOH 2 %. ....	86
Figura 7. 15. DBO das lavagens de polipropileno. ....	87
Figura 7. 16. DBO e pH da lavagem de polipropileno + água. ....	88

Figura 7. 17. DBO e pH da lavagem de polipropileno + detergente 0,5 % .	89
Figura 7. 18. DBO e pH da lavagem de polipropileno + detergente 1 % .	90
Figura 7. 19. DBO e pH da lavagem de polipropileno + NaOH 1 % .	91
Figura 7. 20. DBO e pH da lavagem de polipropileno + NaOH 2 % .	92
Figura 8. 1. PET sujo (bruto). .	97
Figura 8. 2. PET lavado com água .	97
Figura 8. 3. PET lavado com detergente. .	97
Figura 8. 4. PET lavado com hidróxido de sódio. .	98
Figura 8. 5. Embalagens cartonadas sujas (brutas). .	98
Figura 8. 6. Embalagens cartonadas lavadas com água. .	99
Figura 8. 7. Embalagens cartonadas lavadas com detergente. .	99
Figura 8. 8. Embalagens cartonadas lavadas com hidróxido de sódio. .	100
Figura 8. 9. Polipropileno sujo (bruto). .	100
Figura 8. 10. Polipropileno lavado com água. .	101
Figura 8. 11. Polipropileno lavado com detergente. .	101
Figura 8. 12. Polipropileno lavado com hidróxido de sódio. .	102
Figura 8. 13. Esquema de gerenciamento dos resíduos sólidos e efluentes líquidos produzidos nas lavagens. ....	102
Figura 8. 14. Três alternativas diferentes para o tratamento do efluente oriundo dos sistemas de lavagem. ....	103

## Índice de tabelas

Tabela 4. 1. Evolução da produção média “per capita” de resíduos sólidos em algumas cidades – 1975 / 1985. ..10	
Tabela 4. 2. Quantidade de resíduos sólidos domiciliares coletados no município de Porto Alegre em junho de 2001. ....11	11
Tabela 4. 3. Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo no decorrer dos anos. ....12	12
Tabela 4. 4. Produção diária de resíduos sólidos “per capita” em alguns países e cidades. ....12	12
Tabela 4. 5. Composição dos resíduos sólidos domésticos em diversos países e cidades. ....13	13
Tabela 4. 6. Caracterização detalhada da coleta seletiva em Porto Alegre (2000). ....18	18
Tabela 4. 7. Destinação final dos resíduos sólidos nas diversas regiões brasileiras em 1991. ....24	24
Tabela 4. 8. Classificação dos plásticos, suas indicações por triângulos e principais aplicações. ....27	27
Tabela 4. 9. Características de diversos plásticos, quando submetidos ao teste de chama. ....29	29
Tabela 4. 10. Quantidade do reciclo no Rio Grande do Sul em 1999. ....43	43
Tabela 4. 11. Concentração da reciclagem em 1999. ....45	45
Tabela 4. 12. PET: produção e reciclagem. ....45	45
Tabela 4. 13. Eficiência de cada tratamento. ....48	48
Tabela 5. 1. Técnicas utilizadas para detecção dos parâmetros. ....70	70
Tabela 7. 1. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens. ....75	75
Tabela 7. 2. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com água. ....76	76
Tabela 7. 3. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com detergente a 0,5 %. ....77	77
Tabela 7. 4. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com detergente a 1 %. ....78	78
Tabela 7. 5. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com NaOH a 1 %. ....79	79
Tabela 7. 6. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com NaOH a 2 %. ....80	80
Tabela 7. 7. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens. ....81	81
Tabela 7. 8. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com água. ....82	82
Tabela 7. 9. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com detergente a 0,5 %. ....83	83
Tabela 7. 10. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com detergente a 1 %. ....84	84
Tabela 7. 11. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com NaOH a 1 %. ....85	85
Tabela 7. 12. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com NaOH a 2 %. ....86	86
Tabela 7. 13. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens. ....87	87
Tabela 7. 14. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com água. ....88	88
Tabela 7. 15. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com detergente a 0,5 %. ....89	89
Tabela 7. 16. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com detergente a 1 %. ....90	90
Tabela 7. 17. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com NaOH a 1 %. ....91	91
Tabela 7. 18. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com NaOH a 2 %. ....92	92
Tabela 7. 19. Valores de “b” obtidos nas lavagens (condições iniciais de DBO), em mg / L. ....93	93
Tabela 7. 20. Valores de “a” obtidos nas lavagens. ....94	94

Tabela 8. 1. Efluente gerado nas lavagens.....	104
Tabela 8. 2. Valores do efluente que ingressa no sistema de tratamento e padrões ambientais a serem cumpridos.....	105

## 1 Introdução

Dois grandes problemas que afligem cada vez mais autoridades governamentais, entidades ambientais e a própria comunidade são: a baixa qualidade dos cursos d'água, devido principalmente ao crescente lançamento de efluentes, que reduzem a qualidade dos mananciais e o problema da disposição de resíduos sólidos, que também crescem, não somente pelo aumento da população, mas também pelo aumento da quantidade produzida “per capita” e pelo aumento na participação de resíduos plásticos de difícil decomposição.

O desenvolvimento de novas técnicas de produção, tecnologia e surgimento de novos materiais tornaram acessível à população uma grande variedade de produtos industrializados, os quais propiciaram mudanças de hábito da sociedade moderna, onde a praticidade, o conforto e a comodidade tornaram-se pontos fundamentais para o bem estar do indivíduo.

A progressiva mudança de hábitos transformou as embalagens descartáveis em um dos elementos essenciais para a produção de bens industrializados e gerou, em adição, o problema do crescimento da geração de resíduos “per capita”, que, aliado ao aumento numérico da população e a crescente diversidade dos materiais encontrados nos resíduos sólidos domiciliares, tem-se mostrado um grande problema dos dias atuais: a destinação final correta dos resíduos sólidos domiciliares (Remédio, 1999).

O resíduo sólido urbano é inevitável e não se consegue deixar de produzi-lo diariamente. Pode-se dizer que praticamente toda a produção mundial de bens, mais cedo ou mais tarde irá transformar-se em resíduo. O que um dia é mero incômodo doméstico torna-se, de imediato, um pesado encargo público.

Esta situação desencadeia uma imensa crise. Ao mesmo tempo em que cresce o montante de resíduos sólidos produzidos, resultante do aumento desvairado do consumo, tornam-se cada vez mais caras, mais raras e mais distantes as áreas que viabilizam a disposição tradicional em aterros. Também a incineração, cujos custos são muito mais elevados, apresenta os percalços de suas desagradáveis e nocivas emissões (particulados, dioxinas, furanos, etc.) (Calderoni, 1998).

Como não se poderá por muito tempo – e sem arcar com altos custos – encontrar uma saída para este impasse, só resta buscar a minimização da geração de resíduos e, por outro lado, promover a reciclagem destes, já que sua produção (ao menos por enquanto) é inevitável, sendo que a educação sempre será a maior ferramenta a disposição daquele que queira ser instrumento de mudança.

O incremento da reciclagem sofre a barreira da pouca colaboração na coleta seletiva, sendo que há a possibilidade do aproveitamento do resíduo sujo, oriundo da coleta tradicional. Deve-se pensar seriamente nesta possibilidade, mas há desconhecimento de certas variáveis, como a composição físico-química da água oriunda da lavagem dos resíduos.

Este trabalho foca a lavagem de três embalagens plásticas expressivamente presentes no resíduo sólido urbano: polietileno tereftalato (PET), embalagens cartonadas longa vida e polipropileno (PP), avaliando os efluentes gerados nas diferentes lavagens destes materiais.

## 2 Justificativas

Apesar de as técnicas de disposição de resíduos a céu aberto, aterro controlado e aterro sanitário serem as mais comuns no Brasil, vem aumentando muito a implantação de alternativas como a reciclagem e a incineração, devido, principalmente às condições sócio-econômicas do País (Rolim, 2000).

Aguiar e Philippi Jr. (1998) citam a crescente falta de espaços adequados para a construção de aterros sanitários, especialmente ao redor de grandes centros urbanos, justamente os que mais produzem resíduos sólidos. Como aterros construídos longe do centro produtor trariam um dispêndio muito elevado de recursos com o transporte do resíduo, surge espaço para o crescimento de técnicas mais modernas, como a reciclagem dos resíduos.

Segundo Reciclagem (2001a), 95 % dos resíduos sólidos coletados no estado do Rio Grande do Sul são passíveis de reciclagem e vários estudos econômicos mostram a viabilidade econômica do processo, especialmente o realizado por Calderoni (1998), que faz um completo balanço econômico de todas as etapas envolvidas na coleta e destinação final dos resíduos, mostrando em números quanto se poderia economizar caso a grande massa de resíduos fosse reciclada.

Dados do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (Porto Alegre, 2001a) mostram que apesar de praticamente toda a cidade estar enquadrada na rota da coleta seletiva dos resíduos, o índice de colaboração ainda é muito baixo (7 %).

A facilidade do processo de reciclagem é diretamente proporcional à seleção do resíduo na origem. Quanto mais separado vem o resíduo, mais simplificado é o processo. Como há uma dificuldade cultural em se implantar a seleção de resíduos nos lares, espera-se que seja viável (se já não é), em breve, a reciclagem do resíduo não separado, ou seja, executar o processo de reaproveitamento dos materiais provenientes da coleta tradicional de resíduos urbanos (com matéria orgânica inclusa). Muitos fatos são desconhecidos e se pretende que sejam elucidados neste trabalho. As principais incertezas / dúvidas relacionadas a este processo de lavagem (do material triado do resíduo comum) são as seguintes:

- as lavagens produzem eficiência de limpeza adequada no material a ser reciclado ?
- quais as características aproximadas do efluente gerado nesta lavagem ?
- existem diferenças se for mudada a solução de lavagem ?
- as lavagens são eficientes em todas as faixas de concentração da solução de lavagem ?

Para todos os três tipos de embalagens estudadas ?

### 3 Objetivos

O objetivo principal do trabalho foi avaliar a eficiência da lavagem de embalagens (PET, Tetra Pak e PP), por cinco soluções de lavagem diferentes (água, detergente 0,5 %, detergente 1 %, soda cáustica 0,5 % e soda cáustica 1 %), visando o seu preparo para seguir à etapa de reciclagem.

Como objetivos secundários, destaca-se:

- conhecer a homogeneidade / heterogeneidade do material bruto utilizado, característica não explicitada na literatura técnica.;
- indicar um sistema de tratamento conveniente para esta água residuária, dentre aqueles que se adequam ao efluente gerado.



## 4 Revisão bibliográfica

Antes de abordar a questão da lavagem dos resíduos sólidos domiciliares urbanos em caráter específico, julgou-se necessário discorrer brevemente sobre os resíduos sólidos, sua destinação final, reciclagem e classificação das embalagens plásticas, características físico-químicas das águas de lavagem e processos adequados ao tratamento destes efluentes.

### 4.1 Resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, atribuiu-se ao lixo, segundo a NBR-10.004, de 1987, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a denominação de Resíduo Sólido. Resíduo, do latim, significa o que sobra de determinadas substâncias e sólido é incorporado para diferenciá-lo de líquidos e gases. De acordo com a referida Norma, Resíduos Sólidos são todos aqueles resíduos nos estados sólidos e semi-sólido que resultam da atividade da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição, agrícola, lodos de ETAS (Estações de Tratamento de Água), lodos de ETES (Estações de Tratamento de Esgotos), resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição e líquidos que não possam ser lançados na rede pública de esgotos, em função de suas particularidades. (Bidone e Povinelli, 1999).

### 4.2 Breve histórico dos resíduos sólidos

Segundo Carvalho (2001), o problema dos resíduos sólidos surgiu quando os homens começaram a se fixar em determinados lugares, abandonando a vida nômade.

Desde as civilizações antigas era praticado o lançamento dos resíduos em áreas afastadas (lixões), bem como em cursos d'água. Há menção, na história antiga, ao uso do fogo para destruição dos restos inaproveitáveis, bem como ao seu aterramento.

Campinas (1996) relata que “...na Idade Média as cidades caracterizavam-se como o aglomerado urbano onde mais se convivia com detritos de toda espécie. Os cronistas da época contam que entre ruelas estreitas e mal cuidadas o cotidiano doméstico mesclava-se com abate de animais nas ruas, com atividade de estábulos e chiqueiros entre as casas, de onde os resíduos eram simplesmente jogados pelas janelas (Salum, 1993 apud Campinas, 1996). Há

aproximadamente um século é que surgiram soluções consideradas racionais para a solução dos resíduos sólidos.

No Brasil, o fenômeno de concentração urbana ainda é muito recente. No começo do século vinte mais de 80 % da população brasileira vivia na área rural. A maior parte de nosso povo traz como comportamento tradicional, transmitido nas relações familiares e fortemente enraizado, o tipo de comportamento próprio de pequenas comunidades ou bairros rurais, enfim, pequenos núcleos urbanos. Estes eram, em geral, localizados próximos a um rio, em cruzamento de estradas ou locais de pouso para tropas e não tinham problemas de escala na produção de resíduos.

Nas últimas cinco décadas este cenário transforma-se completamente: praticamente 80 % da população brasileira vive cada vez mais em centros urbanos, a maioria nas metrópoles ou em suas áreas de influência. Com isto, os resíduos mudam tanto na escala de sua produção quanto nas suas características. Afinal, o plástico só se torna um fenômeno mundial após a Segunda Grande Guerra e o grande festival de embalagens, de objetos descartáveis, só chega ao Brasil depois da década de 60.

Ao final do século vinte, assiste-se a um festival de consumo, desperdício e esbanjamento por parte de uma minoria que consegue ter acesso aos bens produzidos, enquanto a maioria, que não tem nem poderia ter esse acesso, participa pelas bordas, fazendo do consumo um ideal a ser alcançado.

Muitos problemas se originam desta atitude pouco razoável e a humanidade está pagando um preço cada vez mais alto por ela, principalmente no que se refere à destinação final dos resíduos. A geração dos resíduos, em quantidade e qualidade é, em grande parte, consequência dos hábitos dos consumidores. Estes hábitos, por sua vez, são condicionados pelos consumidores, mas podem também condicionar as atitudes do produtor.

Uma forma de o governo contar com a colaboração das pessoas em termos de reduzir os resíduos é adotando uma política integrada que associa cinco tipos de iniciativas, a saber:

- ✓ educação ambiental do consumidor;
- ✓ educação ambiental do produtor (tanto o empreendedor quanto o trabalhador);
- ✓ formação ambiental e capacitação específica de técnicos e governantes;
- ✓ campanhas de motivação, mobilização e esclarecimento sobre medidas práticas imediatas;
- ✓ estímulos e punições.

De fato, para a educação ambiental ser eficaz quando se trata de mudar hábitos da sociedade, deve ser entendida como parte de uma política integrada, em que os outros itens

são muito importantes. Mas é ela que irá possibilitar, mais a longo prazo, a mudança de atitude, o salto de consciência da população, gerando exigências e permanecendo para além de uma ou outra gestão administrativa de governos e de empresas ...” .

### 4.3 Classificação dos resíduos sólidos

Segundo Bidone e Povinelli (1999), os resíduos podem ser classificados em:

- a) urbanos: onde se enquadram os residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e poda;
- b) industriais: onde se inclui um grande percentual de lodos provenientes do processo de tratamento de efluentes industriais, muitas vezes tóxicos e perigosos;
- c) de serviços de saúde: abrangem os resíduos sólidos de hospitais, de clínicas médicas e veterinárias, de centros de saúde, de consultórios odontológicos e de farmácias;
- d) radioativos: onde se inserem os resíduos de origem atômica, cujo gerenciamento, pela Legislação Brasileira, está sob a tutela do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN);
- e) agrícolas: agrupam aqueles resultantes dos processos de produção de defensivos agrícolas e suas embalagens.

De acordo com seu grau de degradabilidade:

- a) facilmente degradáveis: é o caso da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana;
- b) moderadamente degradáveis: papéis, papelão e material celulósico;
- c) dificilmente degradáveis: pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira;
- d) não-degradáveis: vidros, metais, plásticos, pedras, terra, entre outros.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou as seguintes principais normas na área de resíduos sólidos:

- NBR-10.004 : Resíduos sólidos – classificação.
- NBR-10.005: Lixiviação de resíduos – procedimento.
- NBR-10.006: Solubilização de resíduos – procedimento.
- NBR-10.007: Amostragem de resíduos – procedimento.

A partir dos critérios e ensaios constantes destes documentos, os resíduos sólidos são classificados e podem ser enquadrados em uma das classes a seguir:

Resíduos classe I - perigosos.

Resíduos classe II - não-inertes.

Resíduos classe III - inertes.

#### 4.4 Acondicionamento e coleta dos resíduos sólidos urbanos

O acondicionamento inadequado ou impróprio oferece os meios para proliferação principalmente de moscas, ratos e baratas, vetores de inúmeras doenças que sistematicamente assolam as populações. Um acondicionamento correto reduz este problema (Carvalho, 2001).

Existem várias maneiras de acondicionar os resíduos sólidos, conforme discriminação a seguir:

- ◆ resíduos domiciliares / comerciais (recipiente plástico, metálico, de borracha , saco plástico) ;
- ◆ resíduos de varrição ( sacos plásticos, basculantes, bombonas) ;
- ◆ feiras livres / eventos (basculantes, contêineres, tambores, coletores de calçada) ;
- ◆ entulhos (contêineres) .

Referindo-se ao trabalho citado anteriormente, a coleta é a parte do processo de destinação final dos resíduos sólidos mais sensível aos olhos da população, portanto, passível de maior crítica. Deve funcionar bem e de forma sistemática e é responsabilidade das prefeituras dos municípios.

Considera-se coleta o ato de recolhimento do resíduos dos domicílios, com o posterior transporte até o local de sua destinação final..

É necessário um bom planejamento dos serviços de coleta, pois eles representam cerca de 50 a 80% do custo de operação de limpeza pública. De um modo geral a coleta e transporte devem garantir os requisitos da universalização dos serviços prestados e de regularidade da coleta (frequência e horário) .

Bartone (2001) afirma que, juntamente com o desenvolvimento institucional, uma melhor gestão financeira e o uso generalizado de tecnologias apropriadas fazem com que a

estratégia de recuperação e reciclagem de recursos podem levar a auto-suficiência municipal na coleta e eliminação de resíduos.

Os tipos de coletores mais comuns são: caçamba tipo basculante, caminhão compactador e carreta / trator.

A coleta dos resíduos sólidos urbanos pode ser de dois tipos: tradicional e seletiva. A coleta tradicional é aquela onde todo o resíduo coletado é misturado indistintamente, enquanto na coleta seletiva o material é previamente separado na fonte e sofre coleta distinta.

A coleta seletiva é um sistema de recolhimento dos resíduos sólidos previamente separados na própria fonte geradora, com a finalidade de reaproveitamento e reutilização no ciclo produtivo. Pode ser implantado nas cidades, bairros, ruas, escolas, residências.

Suas principais vantagens são:

- ◆ economia de matéria prima ;
- ◆ economia de energia ;
- ◆ combate ao desperdício ;
- ◆ redução da poluição ambiental ;
- ◆ comercialização dos recicláveis.

No início do projeto de coleta seletiva, há necessidade de um trabalho de educação, objetivando sensibilizar o público alvo.

O resíduo deve ser separado de acordo com a seguinte classificação:

- Lixo seco (inerte): papéis, papelão, vidros, metais, plásticos, outros materiais recicláveis.
- Lixo orgânico: restos de alimentos, verduras, frutas, outros materiais não recicláveis.

#### **4.4.1 Quantidade coletada**

Bidone e Povinelli (1999) apontam para os resíduos sólidos uma contribuição média de 0,5 kg / hab.dia no Brasil, sendo um valor bastante razoável para projetos quando não se possui dados para a região em questão. Este valor varia bastante, conforme o tamanho da cidade, classe social e sofre contínuo acréscimo com o passar dos anos.

A Tabela 4. 1 ilustra bem o fato narrado no parágrafo anterior, onde percebe-se a diferença na contribuição “per capita” entre uma cidade e outra, bem como a evolução desta contribuição com o passar do tempo, sendo que o valor eleva-se em todas as cidades conforme passa o tempo.

Tabela 4. 1. Evolução da produção média “per capita” de resíduos sólidos em algumas cidades – 1975 / 1985.

Ano	Cidade e geração de resíduos sólidos (kg/hab.dia)				
	Lima (Peru)	Quito (Equador)	São Paulo (Brasil)	Londres (Inglaterra)	Nova Iorque (Estados Unidos)
1975	0,45	0,40	0,50	0,60	0,8
1985	0,60	0,65	0,80	0,85	1,50

Fonte: ABES (1990) apud Santos e Martins (1995).

Segundo Daminelli (1993) apud Campinas (1996), a quantidade de resíduos “per capita” aumenta ano após ano, tanto nos países industrializados quanto nos países subdesenvolvidos, sendo que no Japão e na Alemanha este número está diminuindo.

#### 4.4.1.1 Quantidade coletada em Porto Alegre

A Tabela 4. 2, mostra a quantidade de resíduos sólidos domiciliares coletados pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana no mês de junho de 2001.

Observa-se, adicionalmente, como o consumo se concentrou no início do mês. O consumo do primeiro fim-de-semana do mês é superior ao seguinte e assim por diante, comportamento seguido, em geral, pelos outros dias da semana. O fato é que o recebimento do salário (geralmente últimos dias do mês ou primeiros dias) impulsiona as vendas na primeira semana, o que produz o aumento de consumo. Com o aumento de consumo, aumentam os resíduos e é o que se pode observar na Tabela 4. 2.

Infelizmente estes dados são apenas do mês de junho de 2001, não sendo representativos da população dos diversos meses.

Tabela 4. 2. Quantidade de resíduos sólidos domiciliares coletados no município de Porto Alegre em junho de 2001.

<b>Dia</b>	<b>Quantidade de re síduos sólidos domiciliares coletados (kg)</b>
01/06/2001	877.750
02/06/2001	884.500
03/06/2001	0
04/06/2001	1.204.220
05/06/2001	1.221.980
06/06/2001	816.590
07/06/2001	848.110
08/06/2001	872.270
09/06/2001	878.890
10/06/2001	0
11/06/2001	1.174.270
12/06/2001	1.185.270
13/06/2001	819.460
14/06/2001	712.310
15/06/2001	867.410
16/06/2001	779.040
17/06/2001	0
18/06/2001	1.084.560
19/06/2001	1.180.760
20/06/2001	642.160
21/06/2001	728.520
22/06/2001	836.460
23/06/2001	816.930
24/06/2001	0
25/06/2001	1.018.750
26/06/2001	1.080.510
27/06/2001	762.660
28/06/2001	792.050
29/06/2001	827.910
30/06/2001	840.440
<b>Total do mês</b>	<b>23.753.780</b>
<b>Média diária</b>	<b>791.793</b>

Fonte : Porto Alegre (2001b).

#### 4.4.2 Caracterização do resíduo

IPT (1995) afirma que as quantidades geradas e as características dos resíduos sólidos sofrem uma grande variação, especialmente se for levada em conta a localização geográfica do bairro e a classe social. São também fatores muito influentes na composição e quantidade dos resíduos a sazonalidade, aspectos climáticos e influências regionais e temporais, como, por exemplo, flutuações na economia.

Merecem destaque, em adição, as alterações nas quantidades produzidas e composições médias dos resíduos ao longo dos anos, ditados pelas alterações de consumo dos indivíduos, bem como o surgimento de novos materiais.

A Tabela 4. 3, a seguir, mostra as diferenças entre as composições dos resíduos sólidos em São Paulo, no decorrer de alguns anos.

Tabela 4. 3. Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo no decorrer dos anos.

Tipos de material (%)	Ano							
	1927	1947	1965	1969	1972	1989	1990	1993
<b>Papel, papelão</b>	13,4	16,7	16,8	29,2	25,9	17,0	29,6	14,4
<b>Trapo, couro</b>	1,5	2,7	3,1	3,8	4,3	-	3,0	4,5
<b>Plástico</b>	-	-	-	1,9	4,3	7,5	9,0	12,0
<b>Vidro</b>	0,9	1,4	1,5	2,6	2,1	1,5	4,2	1,1
<b>Metais, latas</b>	1,7	2,2	2,2	7,8	4,2	3,25	5,3	3,2
<b>Matéria orgânica</b>	82,5	76,0	76,0	52,2	47,6	55,0	47,4	64,4

Fonte: IPT (1995).

A variação geográfica da quantidade gerada e da composição média de resíduos pode ser melhor visualizada nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4. 4. Produção diária de resíduos sólidos “per capita” em alguns países e cidades.

País	Quantidade gerada (g / hab-dia)	Cidades	Quantidade gerada (g / hab-dia)
<b>Canadá</b>	1.900	Cidade do México (México)	900
<b>Estados Unidos</b>	1.500	Rio de Janeiro (Brasil)	900
<b>Holanda</b>	1.300	Buenos Aires (Argentina)	800
<b>Suíça</b>	1.200	Santiago (Chile)	800
<b>Japão</b>	1.000	San Salvador (El Salvador)	680
<b>Europa</b>	900	Tegucigalpa (Honduras)	520
<b>Índia</b>	400	Lima (Peru)	500

Fonte: Oficina Pan-americana de la Salud / OMS (1995) apud RESOL Engenharia Ltda. (1997d), dados de 1990.



Tabela 4. 5. Composição dos resíduos sólidos domésticos em diversos países e cidades.

<b>País</b>	<b>Ano</b>	<b>Metal (%)</b>	<b>Papel e papelão (%)</b>	<b>Vidro (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>	<b>Plásticos (%)</b>	<b>Outros (%)</b>
<b>Nigéria (1)</b>	1990	5,0	17,0	2,0	43,0	4,0	29,0
<b>Suécia (1)</b>	1987	7,0	50,0	8,0	15,0	8,0	12,0
<b>Estados Unidos (2)</b>	1990	7,7	32,3	6,5	8,1	9,8	35,6
<b>Áustria (1)</b>	1992	4,9	40,3	8,1	22,4	9,0	15,3
<b>Colômbia (1)</b>	1989	1,0	22,0	2,0	56,0	5,0	14,0
<b>Dinamarca (1)</b>	1988	4,1	32,9	6,1	44,0	6,8	6,1
<b>França (1)</b>	1992	3,2	49,0	9,4	16,3	8,4	13,7
<b>Tóquio (Japão) (1)</b>	1988	1,2	43,6	1,0	34,7	5,6	14,6
<b>Budapeste (Hungria) (1)</b>	1992	4,4	20,0	6,1	34,7	5,7	29,1
<b>Brasil (1)</b>	1992	2,3	24,5	1,6	52,5	2,9	16,2
<b>Porto Alegre (Brasil) (2)</b>	1997	2,5	15,0	1,9	52,1	12,4	16,1
<b>São Paulo (Brasil) (3)</b>	1993	3,2	14,4	1,1	64,4	12,0	4,9
<b>Belém (Brasil) (4)</b>	1991	5,2	31,0	3,0	37,4	7,0	16,4
<b>Caxias do Sul (Brasil) (5)</b>	1991	5,4	21,0	2,6	53,4	8,9	8,7
<b>Joinville (Brasil) (5)</b>	1994	3,6	20,4	2,5	45,8	13,3	14,4
<b>Manaus (Brasil) (6)</b>	1979	6,8	29,0	4,7	51,1	2,8	3,6

Fontes: (1) RESOL Engenharia Ltda. (1997d), (2) Reis et al. (2000), (3) Lixo (1995), (4) Homma (1997), (5) Santos e Martins (1995), (6) Carvalho (2001).

#### 4.4.3 Coleta seletiva

Para IPT (1995), a coleta seletiva consiste na separação, na própria fonte geradora, dos componentes que podem ser recuperados, mediante acondicionamento distinto para cada componente ou grupo de componentes.

Segundo Tetra Pak Ltda. (2000), existem basicamente dois processos de coleta seletiva, que podem ser implementados isoladamente ou em conjunto: a entrega voluntária, em que são disponibilizados coletores para que a população deposite os materiais recicláveis,

e a coleta porta-a-porta, em que caminhões passam de casa em casa recolhendo exclusivamente os materiais recicláveis. O material coletado será então enviado para um centro de triagem onde será feita uma separação mais rigorosa e acontecerá algum beneficiamento, como moagem, enfardamento, entre outros. Após, o produto estará pronto para ser enviado para a indústria de reciclagem.

Uma ilustração de modelo de coletor seletivo de resíduos é mostrado na Figura 4. 1.



Figura 4. 1. Coletor seletivo de resíduos instalado em Belo Horizonte – MG.

Fonte: Tetra Pak Ltda. (2001b).

A Figura 4. 2 mostra a coleta seletiva porta-a-porta, realizada no município de Porto Alegre, pelo DMLU.



Figura 4. 2. Coleta seletiva porta-a-porta, realizada em Porto Alegre.

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001b).

#### 4.4.3.1 Caracterização do resíduo proveniente da coleta seletiva

As pesquisas CEMPRE / Ciclossoft de 1994 e 1999 compilaram uma média brasileira na caracterização dos resíduos sólidos provenientes da coleta seletiva. No ano de 1994 a média foi feita compilando-se os dados da caracterização feita nas seguintes cidades: Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre, Salvador, Santo André, Santos, São José dos Campos e São Paulo.

Já no ano de 1999 a média foi feita com base nos dados de caracterização dos seguintes municípios: Porto Alegre, Belo Horizonte, Embu, Florianópolis, Ribeirão Preto, São Sebastião, Salvador, Curitiba, Santos, Brasília, Campinas, Angra dos Reis e São José dos Campos. Adicionalmente, existem os dados de caracterização da coleta seletiva de Porto Alegre, datados de 2000.

As Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 mostram os dados de caracterização dos resíduos provenientes da coleta seletiva nos anos de 1994 e 1999, bem como os dados de Porto Alegre.

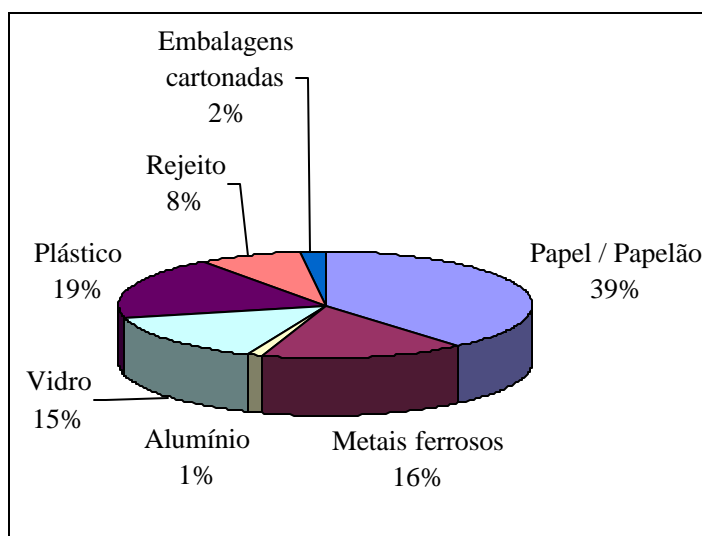


Figura 4.3. Composição média da coleta seletiva em 1994. Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (1994) apud IPT (1995).

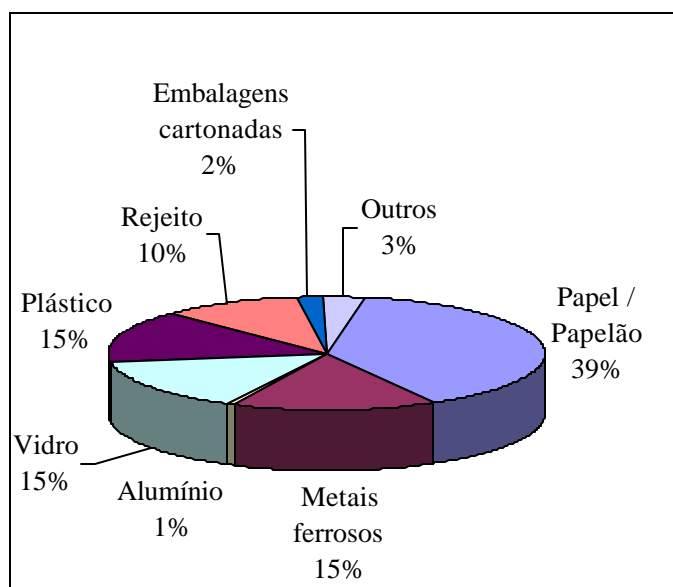


Figura 4.4. Composição média da coleta seletiva em 1999.

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001d).

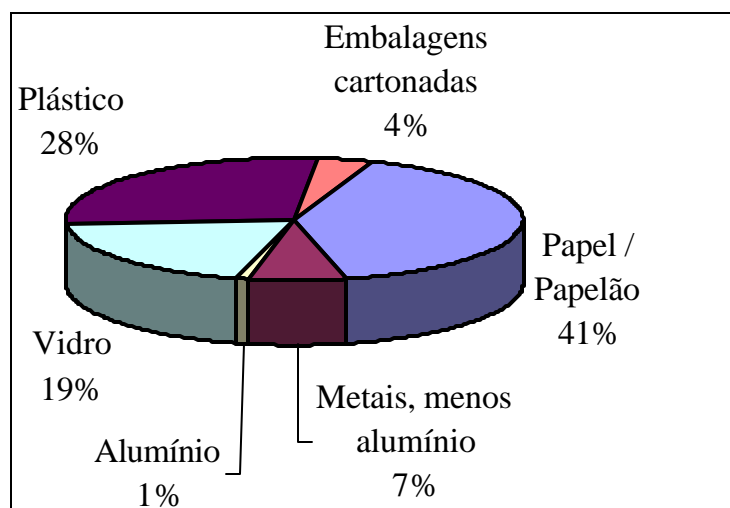


Figura 4.5. Composição média da coleta seletiva em Porto Alegre - 2000.

Fonte: Porto Alegre (2001a).

O material predominante em todas as comunidades é o de papel / papelão, porém, o que mais cresce com o tempo é o plástico.

As Figuras 4.6 e 4.7 mostram a caracterização dos plásticos, mostrando a contribuição de cada tipo, no Brasil e em Porto Alegre.

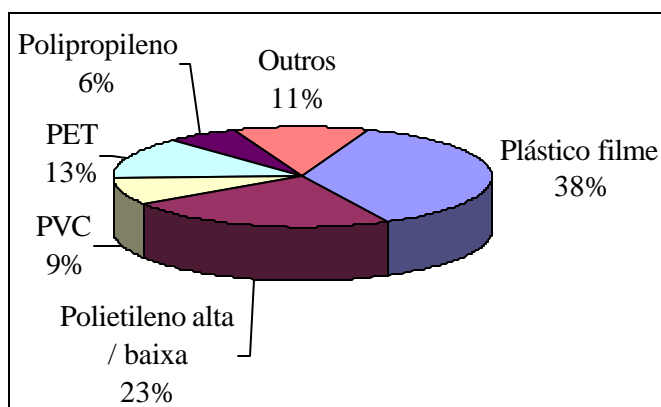


Figura 4.6. Composição média dos plásticos na coleta seletiva no Brasil (1994).

Fonte: IPT (1995).

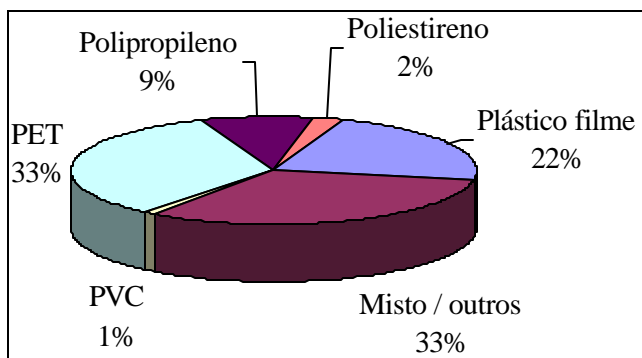


Figura 4.7. Composição média dos plásticos na coleta seletiva em Porto Alegre (2000).

Fonte: Porto Alegre (2001a).

A caracterização mais detalhada dos resíduos sólidos proveniente da coleta seletiva em Porto Alegre pode ser observada na Tabela 4. 6.

IPT (1995) ilustra um ponto bastante desanimador destes programas: seu pequeno impacto sobre a população. O valor médio da colaboração com a coleta seletiva no Brasil, em 1994, foi de apenas 4,6 %. O maior valor encontrado foi de 10,7 %. Dados de Porto Alegre (2001a) apontam que em Porto Alegre o índice de colaboração com a coleta seletiva foi de 7 % no ano de 2000, apesar de praticamente toda a cidade ter o serviço oferecido.

Tabela 4. 6. Caracterização detalhada da coleta seletiva em Porto Alegre (2000).

Material	Percentual (%)	Quantidade Coletada (ton / ano)
<b>Papel e papelão</b>	<b>40,86</b>	<b>2783,7</b>
Papel branco	5,47	372,9
Papelão	8,49	578,3
Papel misto	18,00	1.226,0
Papel jornal	8,90	606,5
<b>Embalagens cartonadas</b>	<b>4,01</b>	<b>273,0</b>
<b>Sucata de ferro</b>	<b>6,68</b>	<b>455,3</b>
<b>Alumínio</b>	<b>0,88</b>	<b>59,65</b>
Latas / panelas	0,16	10,56
Bandejinhas	0,085	5,74
Latinhas	0,58	38,99
Perfis	0,064	4,37
<b>Metais não-ferrosos</b>	<b>0,22</b>	<b>14,48</b>
Sucata	0,086	5,64
Cobre	0,017	1,15
Chumbo	0,0022	0,15
Raio X	0,039	2,58
Fio condutor	0,049	3,21
Latão	0,0064	0,42
Antimônio	0,012	0,79
Aço Inox	0,0066	0,43
Bronze	0,0017	0,11
<b>Plásticos</b>	<b>28,09</b>	<b>1.913,6</b>
Plástico misto	8,64	588,4
Polietileno tereftalato (PET)	9,39	639,7
Plástico filme	6,14	418,3
Polipropileno (PP)	2,52	171,5
Policloreto de vinila (PVC)	0,19	13,2
Poliestireno (PS)	0,67	45,4
Outros	0,54	37,1
<b>Vidro</b>	<b>19,27</b>	<b>1312,9</b>
Cacos de vidro	16,77	1142,6
Vidros por unidade	2,50	170,3
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>6.812,66</b>

Fonte: Porto Alegre (2001a).

#### 4.5 Técnicas de destinação final do resíduo

Segundo Rio do Sul (2001), as principais técnicas de destinação de resíduos sólidos domiciliares utilizadas são: aterros (comuns ou lixões, controlados, sanitários), incineração e reciclagem / compostagem. Uma breve descrição destas técnicas será realizada a seguir .

#### 4.5.1 Aterros

Conforme Rio do Sul (2001), os aterros podem ser classificados de acordo com o tipo de destinação utilizada, como segue:

##### 4.5.1.1 Aterro comum ou lixão

É uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume, comprometendo os recursos hídricos.

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias. Comumente ainda se associam aos lixões fatos altamente indesejáveis, como a criação de animais e a existência de catadores (os quais muitas vezes, residem no próprio local).

Um lixão típico é mostrado na Figura 4.8.



Figura 4.8. Ilustração de um típico lixão.

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001c).

Desta forma de desinação final decorrem vários problemas. Segundo PET (2001c), a enchente provocada pela forte chuva de junho naquela cidade provocou um verdadeiro caos,

quando as garrafas de PET se transformaram em um elemento ameaçador por causa da falta de preocupação ambiental. Verdes ou transparentes, elas se juntam a outros resíduos que, lançados inadequadamente nas ruas ou em terrenos, por ocasião de fortes chuvas, inutilizam o sistema de drenagem e elevam os níveis de poluição dos recursos hídricos.

PET (2001c) cita o fato que garrafas de refrigerante entupiram a rede de esgotos da rua Marquês de São Vicente, na Gávea, e foram necessários três dias para solucionar o problema. O temporal deixou como recordação nas areias da praia de São Conrado e no mangue próximo à praia do Limão uma multidão de garrafas, que pode ser visualizada na Figura 4.9. No sistema de escoamento da Favela da Rocinha ficaram presas centenas de garrafas PET, formando uma barreira que fez a água subir e inundar as ruas.



Figura 4.9. Um “mar” de garrafas plásticas poluiu as praias cariocas depois do temporal.

Fonte: PET (2001c).

#### 4.5.1.2 Aterros controlados

Esse método de disposição final de resíduos sólidos urbanos utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte ao final de cada jornada de trabalho.

Segundo Consoni et al. (1997) esta alternativa de disposição é preferível aos lixões, causando menos problemas ambientais. Este tipo de aterro geralmente não dispõe de impermeabilização de base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas, nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados.



### 4.5.1.3 Aterros sanitários

Os aterros sanitários são aqueles que tem um projeto de engenharia, de controle de impacto ambiental e monitoramento. A sua concepção está relacionada principalmente ao tratamento final dos resíduos sólidos. O resíduo é acondicionado em solo compactado em camadas sucessivas e coberto por material inerte, sendo também realizada a drenagem de gases e percolados.

O processo de inertização dos resíduos é acelerado, minimizando e recuperando a área de deposição.

Um aterro sanitário típico é ilustrado na Figura 4.10.



Figura 4.10. Aterro sanitário em Belo Horizonte.

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001b).

#### **4.5.2 Incineração**

A incineração é uma forma de tratamento de resíduos onde os materiais são submetidos à alta temperatura ( acima de 900° C ) em mistura com uma determinada quantidade de ar e um período pré determinado, com o objetivo de transformá-los em material inerte, diminuindo simultaneamente o seu peso e volume (Rio do Sul, 2001).

Carvalho (2001) cita a incineração como uma forma de destino final de resíduos sólidos muito antiga, que consistia em empilhar os resíduos e atear fogo. A cinza resultante era espalhada no solo ou incorporada como elemento fertilizante na agricultura.

A partir do fim do século passado é que os incineradores passaram a ser mais intensivamente utilizados como forma de destino final de resíduos sólidos urbanos, principalmente na Europa e EUA, porém com controle e tratamento das emissões provenientes da queima do material.

Os resíduos sólidos urbanos, por exemplo, podem ser utilizados como combustível por incineração após a separação dos componentes metálicos e trituração da matéria orgânica. Esta aplicação já é comumente utilizada em países desenvolvidos. Considera-se também o aproveitamento dos resíduos urbanos através da pirólise e do tratamento biológico.

Segundo Hens (2001), um aterro sanitário leva aproximadamente 100 anos para se estabilizar, deixando de gerar gases. Cerca de 60 % do volume de resíduos depositados é composto por matéria orgânica, que pode ser utilizada para conversão em energia, o que equivale a R\$ 1 bilhão por ano de combustível em forma de metanol.

Dados da Association of Plastic Manufacturers in Europe (2001) indicam que se todo resíduo sólido produzido na Europa fosse convertido em energia, proporcionaria aquecimento e eletricidade para 35 milhões de pessoas. Países como França, Suécia e Dinamarca já utilizam largamente resíduos sólidos como combustível, sendo que a Europa como um todo já incinera 33 milhões de toneladas de resíduos anualmente, com recuperação limpa de energia, economizando 11 milhões de toneladas de carvão por ano.

Alliance for Beverage Cartons and the Environment (2001a,b) cita alguns dados à respeito da incineração na Europa. Na Dinamarca, a planta de Amagerforbraending processa 320.000 toneladas de resíduo por ano, produzindo 425.000 MW de eletricidade e calefação para 25.000 lares.

#### **4.5.3 Pirólise**

Outra alternativa é o processo da pirólise, definido por Castro (1996) como uma decomposição térmica sob uma atmosfera livre de oxigênio e que transforma substâncias complexas em simples pela utilização de calor. Segundo Schalch et al. (1990) apud Castro (1996) é um processo endotérmico, que ocorre em temperaturas inferiores à da incineração, com a produção de líquidos ou gases com alto poder calorífico.

O processo ocorre dentro de um reator pirolítico, o qual é composto por várias zonas de calor onde ocorrem a secagem, volatilização, oxidação e fusão dos resíduos sólidos. Em geral, a temperatura no reator varia de 300 a 1.600 °C. A variação da temperatura e o monitoramento do ar, necessário à combustão, é de fundamental importância no processo, pois permite que determinadas substâncias sejam extraídas dos resíduos.

A vantagem do sistema pirolítico é o balanço energético sempre positivo, produzindo mais energia do que consumindo. Segundo Haddad (1979) apud Castro (1996), é possível trabalhar com temperaturas mais baixas, possibilitando a geração de combustível líquido ou gasoso. Butterworths Ann Arbor Science apud Castro (1996) afirma que o volume dos efluentes gasosos é menor, diminuindo o custo com o tratamento. Por outro lado, as desvantagens estão relacionadas com a pouca experiência na destruição de materiais perigosos, pois os produtos formados podem, muitas vezes, ser mais perigosos que os processados. Existe também a desvantagem do elevado custo, dificultando a aplicação do processo no tratamento de vários tipos de resíduos.

#### **4.5.4 Compostagem / Reciclagem**

##### **4.5.4.1 Compostagem aeróbia**

A compostagem aeróbia dos resíduos orgânicos é uma dos métodos mais antigos de reciclagem, sendo uma técnica natural, onde os materiais geralmente considerados como "lixo orgânico" ( restos de alimentos, aparas e podas de jardins, folhas, etc ) são transformados em um material humificado, que pode ser utilizado em solos. Cientificamente, o composto é o resultado da degradação biológica da matéria orgânica em presença de oxigênio do ar (Rio do Sul, 2001).

A usina de compostagem é um complexo eletromecânico formado por diversos eventos destinados a preparar o composto orgânico. O processo de obtenção de composto orgânico dos resíduos domésticos e rurais é constituído pelo tratamento físico, que consiste na separação manual ou mecânica da matéria orgânica do resíduo e o tratamento biológico, que consiste na fermentação ou digestão dos resíduos pela ação dos microrganismos presentes.

Segundo Hagerty (1973) apud Castro (1996), a primeira etapa de uma usina de reciclagem / compostagem é a recepção / estocagem. O resíduo, ao atravessar a fronteira do sistema, é estocado em pátios, áreas de recebimento ou em dispositivos especiais, como fossos ou tremonhas de recepção. Estes são dimensionados em função da capacidade nominal, prevendo-se uma reserva mínima de três dias. Os fossos são comumente providos de esteiras ou pólipos, que servem para introduzir os resíduos no sistema.

Na esteira transportadora é realizada a triagem dos materiais, que pode ser manual, mecânica ou mista. A manual é executada de forma que os trabalhadores, dispostos de cada lado da esteira, retiram manualmente os resíduos inertes. Já a triagem mecânica é feita por equipamentos especiais, como eletroimã, peneiras rotativas e vibratórias, ciclones, aspiradores, flutuadores, etc.

Este esquema de triagem, citado anteriormente, é utilizado na UTC (Unidade de Triagem e Compostagem) do DMLU (Departamento Municipal de Limpeza Urbana) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

#### 4.6 Avaliação da forma de disposição final de resíduos sólidos domiciliares

Segundo Plastivida (1997), a destinação final de resíduos sólidos no Brasil é feita da seguinte forma:

- 76 % em lixões;
- 13 % em aterros controlados;
- 10 % em aterros sanitários;
- 1 % sofre tratamento (por compostagem, reciclagem e incineração).

Scholz (1991) apud Campinas (1996) mostra a situação no Brasil com respeito à disposição final dos resíduos, discretizada por região, e mostra um quadro bastante precário. Estes dados podem ser visualizados na Tabela 4. 7.

Tabela 4. 7. Destinação final dos resíduos sólidos nas diversas regiões brasileiras em 1991.

<b>Região</b>	<b>Vazadouros e Lixões</b>	<b>Aterros ou Usinas</b>
<b>Norte</b>	78,5 %	21,5 %
<b>Nordeste</b>	99 %	1 %
<b>Centro-oeste</b>	91,8 %	8,2 %
<b>Sudeste</b>	83,3 %	16,7 %
<b>Sul</b>	76,6 %	23,4 %

Fonte: Scolz (1991) apud Campinas (1996).

#### 4.7 A questão específica dos plásticos

Um dos problemas que mais obstruem o desenvolvimento da reciclagem no Brasil é a falta de informações corretas transmitidas à população, que deve atuar como um importante parceiro neste processo. É preciso mostrar os benefícios que podem ser obtidos com a reciclagem, para que a sociedade cobre esse serviço como algo tão importante quanto a educação e a saúde (Compromisso Empresarial para a Reciclagem, 2001b).

Visto que a reciclagem é a parte final do processo, é preciso seguir alguns requisitos para sua implantação. Primeiro é preciso reduzir a geração de resíduos e racionalizar o uso de materiais. Depois, reutilizar os produtos antes de descartá-los, para finalmente descartar e reciclar, fazendo-os voltar sob a forma de novos produtos.

Segundo Corpus Saneamento e Obras Ltda. (1997a), antes de ser implantado um sistema de reciclagem é necessário que se estude e se desenvolva um projeto detalhando as diversas fases do procedimento. Alguns aspectos são fundamentais para a elaboração de um projeto de coleta seletiva, e dentre eles são considerados indispensáveis:

- a viabilidade executiva do processo;
- a viabilidade econômica;
- a viabilidade e interesse ecológico;
- as implicações de natureza social.

Apesar de o PET ser, de todos os plásticos, o mais reciclável, pois pode ser transformado em fibras, fios, cordas, e em novas embalagens e existem empresas especializadas interessadas no desenvolvimento de uma tecnologia adequada, como a CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem, a ABEPET - Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET e o Projeto Plastivida, apenas uma pequena porcentagem deste tipo de plástico é reciclado e essa reciclagem não tem acompanhado o grande crescimento da produção de PET nos últimos anos.

Quanto à viabilidade em termos de interesse ecológico, Corpus Saneamento e Obras Ltda. (1997b) afirma que não há dúvida que reciclar produtos existentes nos resíduos sólidos representa uma economia em termos de destinação final, aumentando a vida útil dos aterros sanitários. No Japão, grande parte dos reciclados que não encontram mercado são encaminhados para outros países vizinhos, para os incineradores e para aterros sanitários. O

Brasil tem recebido pneus usados do Japão e dos Estados Unidos para serem recauchutados, aumentando consideravelmente os problemas de destinação final dos mesmos, que tem se constituído uma séria dificuldade para todos os países do mundo. A reciclagem dos plásticos é muito importante em termos ecológicos pois, como é sabido, eles não são facilmente biodegradáveis e sua decomposição demanda séculos.

#### **4.7.1 Classificação e produção dos plásticos**

Neste item serão abordados tanto a classificação dada aos plásticos bem como as quantidades produzidas.

##### **4.7.1.1 Classificação dos plásticos**

Segundo Miller (2001), a fabricação do plástico começa quando o petróleo é extraído do subsolo e levado para as refinarias, onde os diferentes derivados são separados. Um destes derivados é a nafta, que é fornecida para as indústrias petroquímicas, dando origem aos gases eteno e propeno e a outros monômeros que, por sua vez, são transformados, através de processamento químico especial, nas resinas plásticas ou polímeros.

De acordo com suas características, os plásticos se dividem em dois grupos: os termorígidos ou termofixos e os termoplásticos.

Os plásticos termofixos são aqueles que não se fundem e, uma vez moldados e endurecidos, não oferecem condições para reciclagem. São apresentados como mistura de pós e são moldados submetendo-se à temperatura e pressão.

É o caso específico das telhas transparentes, do revestimento do telefone, do material do orelhão (telefone público) e de inúmeras peças utilizadas na mecânica em geral e especificamente na indústria automobilística.




Os termoplásticos são aqueles que amolecem ao ser aquecidos, podendo ser moldados. Uma vez resfriados endurecem e tomam uma determinada forma. Como esse processo pode ser repetido várias vezes, esses plásticos são recicláveis podendo ser reaproveitados. O termoplástico reciclado não pode ser empregado em embalagens de alimentos a fim de se evitar contaminações provenientes de tintas e produtos tóxicos, podendo voltar na forma de baldes, mangueiras, sacos de lixo e outras modalidades.





Segundo Reciclaveis.com.br (2001a), os plásticos são identificados por um triângulo equilátero, composto por três setas e o número de identificação ao centro. Em tese, todos os

materiais plásticos deveriam conter tal simbologia gravada em algum lugar da peça ou embalagem a fim de facilitar o processo de reciclagem, porém é freqüente encontrarmos algum produto ou embalagem que não possui tal simbologia.

A simbologia de identificação dos plásticos, bem como suas principais aplicações são mostradas na Tabela 4. 8.

Tabela 4. 8. Classificação dos plásticos, suas indicações por triângulos e principais aplicações.

Tipo de resina	Principais aplicações
 <p><b>PET</b> Polietileno Tereftalato</p>	<p>Transparente, inquebrável e impermeável, o PET é um material extremamente leve. Utilizado principalmente na fabricação de embalagens de bebidas carbonatadas (refrigerantes), além de outros frascos para uso alimentício / hospitalar. Também muito aplicado na confecção de embalagens para cosméticos, bandejas para fornos de microondas, filmes para áudio e vídeo e fibras têxteis</p>
 <p><b>PEAD</b> Polietileno de alta densidade</p>	<p>Material leve, inquebrável, rígido e com excelente resistência química e a baixas temperaturas. Muito usado em embalagens de produtos para uso domiciliar tais como: detergentes, amaciantes, sacos e sacolas de supermercado, potes, utilidades domésticas, tampas, tubos e conexões, engradados de bebida, etc. Seu uso em outros setores também é muito grande: embalagens de óleo, bombonas para produtos químicos, tambores de tinta, peças técnicas, etc.</p>
 <p><b>PVC</b> Policloreto de Vinila</p>	<p>Material transparente, leve, rígido, resistente à temperatura, inquebrável. Normalmente usado em embalagens para água mineral, óleos comestíveis, maionese e sucos. Além da indústria alimentícia é muito encontrado nos setores farmacêuticos, em bolsas de soro, sangue, material hospitalar, embalagens de remédios, etc. Possui, também, uma forte presença no setor de construção civil, principalmente em tubos, esquadrias, perfis para janelas, mangueiras, revestimento de fios e cabos elétricos. No setor de utilidades domésticas, forte presença na fabricação de brinquedos, cortinas para chuveiro, toalhas de mesa, calçados, bolsas e roupas de couro artificial.</p>

 <p><b>PEBD</b> Polietileno de baixa densidade</p>	<p>Material flexível, leve, transparente e impermeável. Pelas suas qualidades é muito utilizado em embalagens flexíveis: sacolas e saquinhos para supermercados e lojas, leites, iogurtes e outros alimentos, sacaria industrial, sacos de lixo, mudas de plantas, embalagens têxteis, frascos, fios e cabos, bolsas para soro medicinal, filmes para fraldas descartáveis, etc.</p>
 <p><b>PP</b> Polipropileno</p>	<p>Material rígido, inquebrável, transparente, brilhante, com capacidade de conservar o aroma e resistente às mudanças de temperatura. Normalmente é encontrado em peças técnicas, caixarias em geral, utilidades domésticas, fios e cabos, etc. Produz potes e embalagens mais resistentes para utilidades domésticas, margarina, etc. Utilizado em larga escala em filmes para embalagens e alimentos, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, fraldas e seringas descartáveis.</p>
 <p><b>PS</b> Poliestireno</p>	<p>Material impermeável, leve, transparente, rígido e brilhante. Usado em potes para iogurtes, sorvetes, doces, pratos descartáveis, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, revestimento interno de geladeiras, brinquedos, copos descartáveis, bandejas de supermercado, frascos domésticos, tampas.</p>
 <p><b>OUTROS</b> Outros tipos de Plásticos</p>	<p>Neste grupo estão classificados os outros tipos de plásticos. Entre eles: ABS / SAN, EVA, PA, etc.</p> <p>Normalmente são encontrados em peças técnicas e de engenharia, soldados de calçados, material esportivo, corpos de computadores e telefones, CD'S, etc.</p>

Fontes: Rolim (2000) e Recicláveis.com.br (2001a).

Todos os plásticos devem receber o símbolo do material com qual foram fabricados, a fim de facilitar sua destinação final. Porém, não é raro acontecer casos em que os materiais não apresentam o símbolo correto e um fator que colabora para que isto ocorra se deve ao fato de algumas indústrias não colocarem em seus produtos qual o tipo de resina usada no produto (Recicláveis.com.br, 2001a).



A separação dos diversos plásticos por tipo de resina é um problema que ainda não foi resolvido e é um dos motivos que tem restringido a reciclagem de plásticos. Apesar dos muitos estudos e pesquisas já realizados e em desenvolvimento, não se chegou até hoje a um processo que possa, de maneira rápida, automática e eficiente, efetuar a perfeita separação dos plásticos (Universidade Federal Fluminense, 2001).

É muito comum também que os materiais cheguem à recicladora aos pedaços, quando fica praticamente impossível determinar o tipo de resina com a qual o produto foi fabricado, independentemente da experiência do operador ou profissional encarregado pela separação do material.

Nestes casos, uma forma muito comum e prática de identificar o tipo de resina é através do teste de queima do material. Ao queimá-lo, pode-se observar a cor e o tipo da chama, o odor e algumas características sutis. A Tabela 4. 9 auxilia neste tipo de teste.

Tabela 4. 9. Características de diversos plásticos, quando submetidos ao teste de chama.

<b>Resina</b>	<b>Teste de chama</b>	<b>Observação</b>	<b>Odor</b>	<b>Ponto de fusão (°C)</b>	<b>Massa específica (g / cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Polietileno de baixa densidade</b>	Chama azul, vértice amarelo	Pinga como vela	Cheiro de vela	105	0,89 – 0,93
<b>Polietileno de alta densidade Polipropileno</b>	Chama azul, vértice amarelo	Pinga como vela	Cheiro de vela	130	0,94 – 0,98
	Chama amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa	Pinga como vela	Cheiro Agressivo	165	0,85 - 0,92
<b>ABS</b>	Chama amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa	Amolece e pinga	Monômero de estireno	230	1,04 - 1,06
<b>SAN</b>	Tal Qual PS e ABS, porém fumaça menos fuliginosa	Amolece e Pinga	Borracha queimada	175	1,04 - 1,06
<b>Poliacetal</b>	Chama azul sem fumaça, com centelha	Amolece e borbulha	Monômero de estireno	130	1,08
<b>Acetato de celulose</b>	Chama amarela, centelhas queimando	Cuidado ao cheirar	Formaldeído	175	1,42 - 1,43
<b>PET</b>	Chama amarela, centelha	-	Manteiga rançosa	180	1,15 - 1,25
<b>Acetato de vinila</b>	Chama amarela esverdeada	-	-	255	1,38 - 1,41
<b>PVC rígido</b>	Chama amarela, vértice verde	Chama auto extingüível	-	127	1,34 - 1,37
<b>PVC flexível</b>	Chama amarela, vértice verde	Chama auto extingüível	Cheiro de cloro	150	1,19 - 1,35
<b>Policarbonato</b>	Decompõe-se, fumaça fuliginosa com brilho	Chama auto extingüível	Cheiro de cloro	150	1,19 - 1,35
<b>Poliuretanos</b>	Bastante fumaça	-	Acre	230	1,20 - 1,22
<b>Nylon-6</b>	Chama azul, vértice amarelo, centelhas, difícil de queimar	Formam bolas na ponta	-	215	1,12 - 1,16
<b>Nylon - 66</b>	Chama azul, vértice	Formam bolas	Pena e	260	1,12 -

	amarelo, centelhas, difícil de queimar	na ponta	cabelo queimado		1,16
<b>Nylon - 11</b>	Chama azul, vértice amarelo, centelhas, difícil de queimar	Formam bolas na ponta	Pena e cabelo queimado	180	1,04

Fonte: Recicláveis.com.br (2001b).

#### 4.7.2 Tipos de reciclagem de plásticos

Segundo Universidade Federal Fluminense (2001), pode-se classificar a reciclagem de plásticos em três tipos de tecnologias: primária, secundária e terciária.

- ◆ **Reciclagem primária ou pré-consumo:** é a conversão de resíduos plásticos por tecnologias convencionais de processamento em produtos com características de desempenho equivalente às daqueles produtos fabricados a partir de resinas virgens. Esses resíduos são constituídos por artefatos defeituosos, aparas provenientes dos moldes ou setores de corte e usinagem. A recuperação destes resíduos é efetuada na própria indústria geradora ou por outras empresas transformadoras. A reciclagem pré-consumo é feita com os materiais termoplásticos provenientes de resíduos industriais, os quais são limpos e de fácil identificação, não contaminados por partículas ou substâncias estranhas. O reaproveitamento deste material é realizado na própria indústria geradora dos resíduos ou por outros transformadores. Pode-se afirmar que praticamente 100% destes resíduos são reciclados e a qualidade dos artefatos produzidos com esse material é quase sempre a mesma daquela obtida com a utilização de resinas virgens.
- ◆ **Reciclagem secundária ou pós-consumo:** é a conversão de resíduos plásticos de resíduos sólidos urbanos por um processo ou por uma combinação de operações. Os materiais que se inserem nesta classe provêm de lixões, sistema de coleta seletiva, sucatas, etc. São constituídos pelos mais diferentes tipos de materiais e resinas, o que exige uma boa separação, para poderem ser aproveitados. Quando se fala em reciclagem de plásticos que estão nos resíduos sólidos urbanos, se está referindo à reciclagem pós-consumo. Devido à mistura com outros materiais, como restos de alimento, terra, trapo, metal, vidro, papel, etc., torna-se necessário realizar a separação desses materiais da melhor forma possível. O problema é bastante minimizado quando se aplica um sistema de coleta seletiva dos resíduos,

no qual as pessoas separam diversos tipos de materiais nas próprias residências e empresas comerciais, evitando-se desta forma, a sua contaminação.

- ◆ **Reciclagem terciária:** é a conversão de resíduos plásticos em produtos químicos e combustíveis, por processos termoquímicos. Por esses processos, os materiais plásticos são convertidos em matérias-primas que podem originar novamente as resinas virgens ou outras substâncias interessantes para a indústria, como gases e óleos combustíveis. A reciclagem terciária ainda não está sendo utilizada em grande escala devido ao seu custo elevado. Os investimentos necessários para esta reciclagem são mais elevados do que para as variantes primária e secundária.

A reciclagem de plásticos passou a ser uma tecnologia amplamente utilizada em todo o mundo, mas a reciclagem eficaz (reciclagem química e de matérias-primas) requer atenção aos sistemas de seleção de material. Os processos mais importantes para identificar e separar os resíduos compostos por polímeros que estiverem entre resíduos plásticos misturados são: a pré-seleção, os métodos de identificação dos plásticos, os sistemas de seleção manual e automatizada e estudos de recipientes para a separação de plásticos. Os plásticos contaminados sempre necessitam de limpeza e esta pode ser feita por três sistemas: a limpeza a seco, a lavagem e a remoção de crostas. Esses processamentos são combinados aos estágios de processamento físico, tais como a trituração e a moagem (Resol Engenharia Ltda., 2001e).

Segundo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001b), os plásticos consomem cerca de 11 % do refino do petróleo nacional e possuem uma taxa de reciclagem ao redor de 17 %.

### **4.7.3 Reciclagem do PET (Polietileno tereftalato)**

Segundo Reciclaveis.com.br (2001c), o grande problema da reciclagem do PET ainda reside na coleta incipiente do material. A reciclagem tem alcançado índices muito satisfatórios frente as dificuldades apresentadas.

De acordo com informações divulgadas pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001), o Brasil reciclou em 1999, 50 mil toneladas de PET, contra as 40 mil de 1998, porém ainda se está longe de resolver o problema do descarte adequado deste material.

Informações citadas por Mottin (2001) dão conta que em 2001 devem ser recicladas 89.000 toneladas, 33 % a mais que em 2000, fazendo com que o aumento da produção da resina virgem este ano tenha sido apenas 6 % superior à do ano passado.

A associação, através de uma série de iniciativas, busca insistentemente equacionar este problema, ajudando a promover a coleta e desenvolver projetos que beneficiem a reciclagem do PET.

Pet Container Recycling Europe (2001a) mostra que na Itália mais de 40 % da população possui acesso a 24.500 “iglus”, que são dispositivos de coleta de garrafas PET, mostrados na Figura 4.11.



Figura 4.11. Coletores tipo “iglu”, utilizados para a coleta de garrafas de PET.

Fonte: Pet Container Recycling Europe (2001a).

Em outros países europeus, “bancos de garrafas” para PET estão se tornando bem estabelecidos, principalmente na Suíça (mais de 12.000 pontos), França (mais de 5.000 pontos) e Reino Unido (mais de 1.500 pontos).

A Figura 4.12 mostra uma linha básica de reciclagem de PET, bem como a descrição do processo, e o esquema apresentado serve como modelo nas principais recicladoras espalhadas pelo país. É sabido que alguns fogem deste esquema e acabam adequando os seus processos em função da qualidade do material recebido.

Ao material obtido após este processo, é dado o nome de “flake”, que são pequenos flocos de PET que posteriormente serão reutilizados na cadeia de transformação.

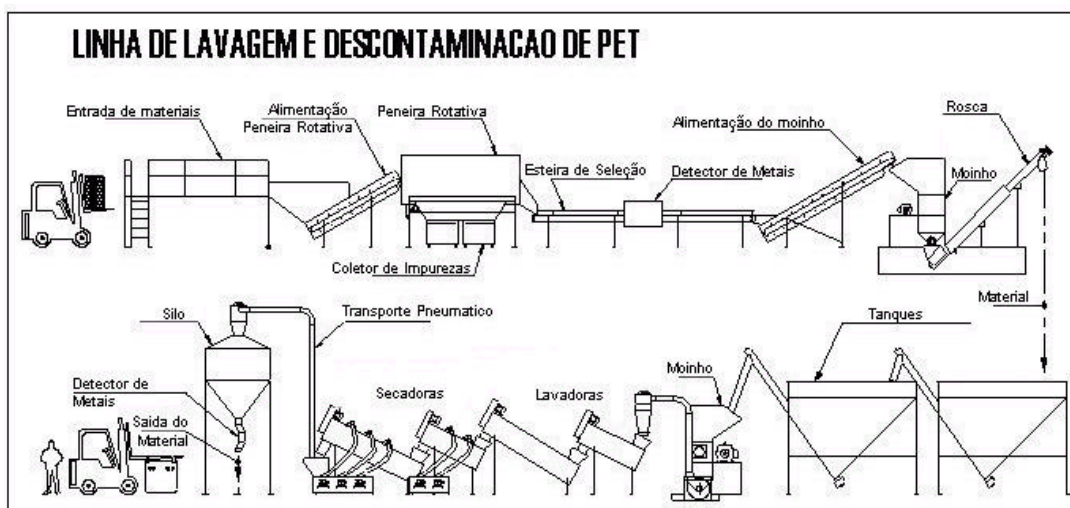


Figura 4.12. Linha de lavagem e descontaminação de PET. Fonte: Reciclaveis.com.br (2001d).

Os fardos de garrafas entram na plataforma, onde serão desfeitos. Após este procedimento, as garrafas são colocadas na esteira de alimentação da peneira rotativa. Na peneira é feita a primeira etapa de lavagem das garrafas, onde são retirados os contaminantes maiores (pedras, tampas soltas, etc.). As garrafas passam então para a esteira de seleção.

Na esteira de seleção é monitorada a presença de outros materiais (ex.: PVC, PP, PE ), inclusive os metais que são acusados pelo detector de metais ferrosos. As garrafas caem na esteira de alimentação do primeiro moinho, onde sofrem a primeira moagem, esta feita a úmido (adição de água). O material moído é retirado através de um rosca duplo envelope, onde parte do efluente é separado do processo. Posteriormente passa pelos tanques de descontaminação, onde além de ser feita a separação dos rótulos e tampas poderá ser feita a adição de produtos químicos para beneficiamento do processo.

Após os tanques o material é introduzido em outro moinho até obter a granulometria adequada. O material é transportado pneumaticamente até o lavador, onde, com adição de água, é feito o enxágüe, saindo diretamente para o secador. O material é retirado do secador por transporte pneumático, indo para o silo, passa por um detector de metais não ferrosos (ideal), de onde é retirado e colocado em sacolas de aproximadamente  $1 \text{ m}^3$ , estando pronto para ser enviado à indústria de transformação.

A capacidade das linhas de lavagem de PET pode variar de 100 a 1500 kg/h. O consumo médio de energia é de aproximadamente 120 KW. A Figura 4.13 mostra a forma como os fardos de PET são triados por cor e prensados, enquanto a Figura 4.14 mostra um silo de armazenamento de “flakes” e os mesmos prontos para uso.

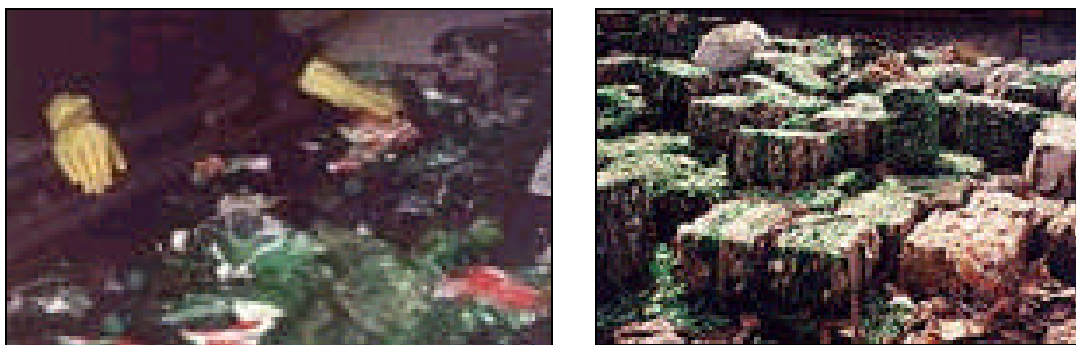


Figura 4.13. Triagem de garrafas PET por cor (esquerda) e fardos de PET prensados. Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001).



Figura 4.14. Silo de armazenamento de “flakes” (esquerda) e “flakes” prontos para o uso (direita). Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001).

Desde dezembro de 1998 vigora uma lei brasileira que autoriza o uso da multicamada na embalagem PET, permitindo colocar mais de 40 % de reciclados nas garrafas: as camadas interna e externa são de plástico virgem, protegendo a do meio, que é feita de material reciclado (Compromisso Empresarial para a Reciclagem, 2001b).

#### 4.7.4 Reciclagem do PP (Polipropileno)

Segundo Kie Máquinas e Plásticos Ltda. (2001), uma linha básica de reciclagem de polipropileno (PP) pode ser visualizada na Figura 4.15.

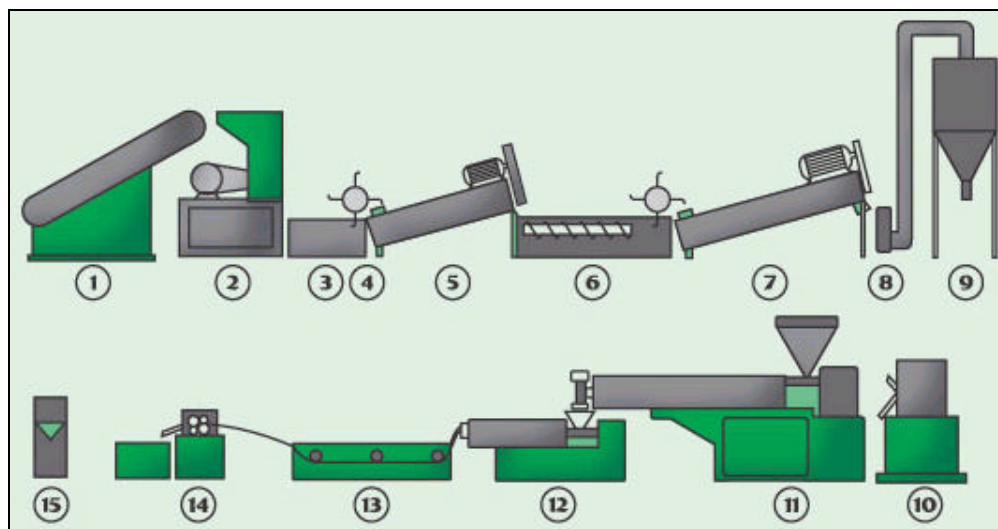


Figura 4.15. Linha básica de reciclagem de polipropileno (PP).

Fonte: Kie Máquinas e Plásticos Ltda. (2001).

Todo o processo tem início com a seleção do material na esteira (1), seguindo para o moinho (2), onde o material é triturado e pré-lavado. O material triturado segue por um tanque de decantação, onde é movido pelo agitador e colhido pela roda alimentadora (respectivamente 3 e 4).

Do tanque o material passa para a lavadora (5), onde é desprendida toda a sujeira do mesmo (papel, terra, etc). Da lavadora o material segue por um segundo tanque de decantação, onde é transportado por um conjunto de pás chamado transportador (6) até uma segunda roda alimentadora. Esta roda alimentará a secadora (7), que retirará a umidade do material. O transporte do material que sai da secadora pode ser feito opcionalmente pela ventoinha (8) até um silo (9).

O material já triturado e quase seco segue para o aglutinador (10), onde é aquecido, totalmente seco e se necessário pigmentado ou aditivado. O material aglutinado segue então para a extrusora (11 e 12), onde será fundido, homogeneizado, plastificado e filtrado. Da extrusora o material sai em forma de fios, é resfriado em uma banheira (13) e segue para o granulador (14), onde é peletizado e ensacado no ensacador (15).

#### 4.7.5 Reciclagem de embalagens cartonadas longa vida (Tetra Pak)

Conforme Tetra Pak Ltda. (2000), uma das etapas mais importante para analisar o ciclo de vida de uma embalagem é a sua produção. Processos industriais causam impactos

ambientais, que devem ser analisados e controlados. Para isto existem uma série de ações, como tratamento de efluentes, manuseio de resíduos sólidos, treinamento e educação, preparação a emergências, entre outros.

Dentre as embalagens, a cartonada longa vida, classificada como uma embalagem flexível segundo classificação da DATAMARX (Madi et al., 1998), representa um resíduo de complexa composição (seis camadas alternadas de papel, alumínio e plástico), que carregava o estigma de "agressora do meio ambiente" (D'Alessio, s.d.).

A embalagem cartonada longa vida foi lançada no Brasil no início dos anos 70 pela Tetra Pak, com a função de envasar alimentos líquidos (leites e sucos), semilíquidos (molhos de tomate) e viscosos (maionese). Seu material é um laminado, que consiste em papel (75%), polietileno (20%) e alumínio (5%), sendo que cada um dos componentes possui uma função. O papel torna a embalagem resistente, o polietileno protege a embalagem da água e o alumínio cria uma barreira contra a luz e o oxigênio (Compromisso Empresarial para a Reciclagem, 1997).

Além disso, este tipo de embalagem mantém os alimentos longe de microrganismos, possuindo a capacidade de preservá-los durante meses, sem a necessidade de refrigeração e conservantes. Proteger adequadamente o alimento é uma vantagem ambiental que não deve ser desconsiderada no ciclo de vida da embalagem longa vida. A excelência em proteção torna-se importante quando se analisa o resíduo sólido municipal: no Brasil, entre 60 e 65% da composição deste resíduo é matéria orgânica, grande parte composta por alimentos estragados. Se todos os sistemas de embalagem protegessem tanto quanto uma embalagem cartonada longa vida, muito menos alimentos estragariam e o resultado seria a produção de menos resíduos (Tetra Pak Ltda., 2001a).

A Figura 4.16 mostra as camadas que constituem a embalagem cartonada longa vida.



Figura 4.16. A embalagem cartonada longa vida. Fonte: Zortea (2000).

Segundo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (1997), além da preocupação ambiental em suas fábricas em Monte Mor e Ponta Grossa, a Tetra Pak considera um de seus



aspectos ambientais desenvolver soluções para a reciclagem das embalagens pós-consumo. Com esta visão, tem desenvolvido novas tecnologias e as transferindo para empresas recicladoras parceiras, que passam a incorporar a reciclagem das embalagens cartonadas em seu negócio.

Parcerias foram estabelecidas com empresas de reciclagem de papel e papelão para que adaptassem seus processos e passassem a incorporar as embalagens cartonadas pós-consumo como matérias-primas para o processo de fabricação de papel. São hoje cerca de oito recicladores de papel localizados nos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, com capacidade para atender toda a região sudeste e partes das regiões centro-oeste e nordeste.

A Tetra Pak tem procurado dar suporte à indústria alimentícia na destinação de seus resíduos e em especial, no envio de suas embalagens para a reciclagem. Neste sentido, tem desenvolvido equipamentos e novas alternativas de mercado para aumentar a reciclagem.

Foram desenvolvidos fornecedores de prensas e de equipamentos para extrair o alimento das caixinhas. Isto contribui para o gerenciamento destes resíduos, bem como facilita a destinação do alimento extraído. A própria disposição das embalagens é orientada pela Tetra Pak, para que seja encontrada sempre a melhor alternativa tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico.

Após coletadas e enfardadas, as embalagens são vendidas para fábricas de papel que utilizam a fibra para confecção de caixas de papelão, papel para impressão, palmilhas para sapatos e embalagens em geral.

As fibras de papel são separadas do plástico e alumínio em um equipamento chamado "hidrapulper", semelhante ao um grande liquidificador que agita as embalagens com água. Após a separação, as fibras são enviadas para a máquina de papel e o plástico com alumínio é então enfardado e segue para outro reciclador, onde serão transformadas em peças plásticas.

O processo de reciclagem do plástico com alumínio passa por uma rosca aquecida, onde o mesmo amolece e se transforma em grãos, que são utilizados posteriormente no processo de injeção de peças como baldes, cabos de pás, cabides, canetas, etc.

Há ainda outro processo de reciclagem que permite que toda a embalagem seja triturada e prensada a quente, transformando-se em uma chapa semelhante à madeira que pode ser usada na fabricação de móveis, divisórias, caixas, etc.

O hidrapulper pode ser visualizado na Figura 4.17.



Figura 4.17. Hidrapulper vazio (abaixo) e cheio (acima), após agitação.

Fontes: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001b) e Tetra Pak Ltda. (2001b).

Segundo Neves (2001), parcerias também foram feitas com empresas recicladoras de plásticos para desenvolvimento de um processo para reciclagem do plástico contendo alumínio que sobra da reciclagem da fibra. Este plástico passa por processos de termo-extrusão e injeção e são utilizados como matéria-prima para fabricação de peças plásticas, como : vassouras, baldes, canetas, réguas, peças industriais, etc.

#### **4.7.6 Aplicações das embalagens pós-consumo recicladas**

Serão apontadas, nos parágrafos seguintes, as principais aplicações dadas ao polipropileno, PET e embalagens cartonadas recicladas, as três embalagens utilizadas neste experimento de lavagem.

##### **4.7.6.1 Polietileno tereftalato (PET)**

Compromisso Empresarial para a Reciclagem (1997) afirma que o maior mercado para o PET pós-consumo reciclado é a produção de fibras para fabricação de cordas (multifilamentos), fios de costura (monofilamento) e cerdas de vassouras e escovas, sendo que uma minoria é destinada à moldagem de autopeças, lâminas para termo-formadores e formadores à vácuo (manequins plásticos), garrafas de detergentes, mantas não-tecidas, carpetes e enchimentos de travesseiros.

No Brasil, dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001) podem ser visualizados na Figura 4.18, mostrando a distribuição dos mercados para o PET reciclado.

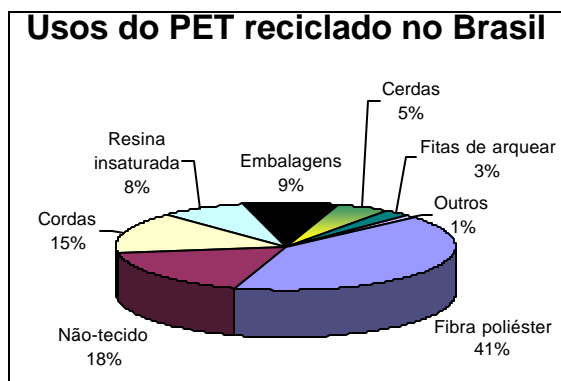


Figura 4.18. Distribuição dos mercados para o PET reciclado no Brasil.

Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (2001).

Borges (1999) cita o fato de as vassouras feitas de PET reciclável terem substituído as tradicionais, feitas de piaçava, com sucesso, no Serviço de Limpeza Urbana do município de Belo Horizonte. Segundo dados do Serviço, a vassoura de piaçava varria em média 8 quilômetros, enquanto as fabricadas a partir de PET reciclado varrem 120 quilômetros.

Segundo Borges (1999), muitos fabricantes, em vários segmentos, usam PET reciclado mas não divulgam este fato, com medo de prejudicar as vendas. Por exemplo, modelos de carros lançados nos últimos dois anos utilizam PET em todos os seus carpetes e na composição dos bancos, mas ninguém fica sabendo. Isto ocorre por um problema cultural, pois o consumidor prefere um produto virgem ao reciclado, que tem uma imagem de coisa de segunda, de sujeira.

Segundo Muniz (1999) apud Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001e) foi introduzido no Brasil um equipamento que transforma os plásticos do tipo PET em barras semelhantes a estacas de madeira e que podem servir de matéria-prima para construção de cercas, bancos, carramanchões e até quiosques. O PET é derretido a altas temperaturas e

moldado na forma de barras, em um equipamento operado por duas pessoas e com capacidade para reciclar 11 toneladas de material por mês.

Resol Engenharia Ltda. (2001c) relata que, na cidade de Toledo, no estado de Ohio, a municipalidade de Lucas e a Plastic Technologies Inc. (PTI) anunciaram a fabricação de garrafas PET com conteúdo cem por cento reciclado, o que é um feito pioneiro neste ramo de negócios. A PTI foi a primeira empresa nos Estados Unidos a ter permissão federal para fabricar utensílios plásticos, que serão utilizados para embalar alimentos com PET recolhido dos contêineres colocados nas calçadas. O município de Lucas comprará inicialmente 50 mil unidades deste tipo de garrafa. As autoridades municipais distribuirão as garrafas entre a população, como meio de promover a reciclagem e mostrar seus benefícios aos pais e às crianças nas escolas.

A Figura 4.19 mostra um brinquedo fabricado à partir de PET reciclado.



Figura 4.19. Brinquedo fabricado de PET reciclado.

Fonte: Pet Container Recycling Europe (2001b).

#### **4.7.6.2 Polipropileno**

Segundo Associação Brasileira da Indústria Química (1999), o principal mercado para o polipropileno reciclado é o da fabricação de utilidades domésticas, principalmente vassouras, capachos e cabides, e a fabricação de brinquedos plásticos.

#### **4.7.6.3 Embalagens cartonadas longa vida**

Quanto às aplicações das embalagens cartonadas recicladas, Tetra Pak Ltda. (2001b) apresenta fotos de vários produtos que podem ser fabricados a partir de suas embalagens recicladas e as mesmas podem ser visualizadas na Figura 4.20.

 <p><b>Cabide de alumínio e plástico</b></p>	 <p><b>Peças de plástico e alumínio</b></p>
	
<p>Balde e régua produzidos com plástico e alumínio de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>	<p>Banco originado a partir de embalagens Longa Vida pós-consumo trituradas e prensadas.</p>
	
<p>Materiais produzidos a partir de fibras de papel originadas de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>	<p>Objetos produzidos a partir de plástico e alumínio originados de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>
	
<p>Banco produzido com material reciclado de embalagens pós-consumo.</p>	<p>Brinquedos produzidos a partir de plásticos e alumínio originados de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>
	
<p>Brinquedos produzidos a partir de plásticos e alumínio originados de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>	<p>Brinquedos produzidos a partir de plásticos e alumínio originados de embalagens Longa Vida pós-consumo.</p>

Figura 4.20. Exemplo de produtos fabricados a partir de embalagens cartonadas longa vida recicladas.  
Fonte: Tetra Pak Ltda. (2001b).

#### 4.7.6.4 Perfil da reciclagem no Estado do Rio Grande do Sul

A Associação Brasileira da Indústria Química (1999) e a Plastivida realizaram uma pesquisa para traçar o perfil da reciclagem de plástico no Rio Grande do Sul, identificando a situação atual, seu potencial e os fatores limitantes a seu desenvolvimento.

Segundo Metroplan (1998), o plástico representa 13,65 % (média dos municípios) das 1.800 toneladas diárias do resíduo domiciliar da Região Metropolitana, correspondendo a 245 toneladas diárias ou 89.300 toneladas anuais. Dos 28 municípios da Região, 12 têm programas de coleta seletiva implantado e cinco estão em fase inicial de implantação. Existem municípios que não contam com coleta seletiva, mas possuem galpões de triagem.

Existiam, em 1999, 63 empresas recicladoras no Estado, com uma capacidade de reciclagem instalada de 67.000 toneladas por ano, empregando 1.146 trabalhadores e com um faturamento na venda de plásticos reciclados de dezoito milhões de reais (Associação Brasileira da Indústria Química, 1999). Estas empresas possuem um tempo médio de atuação de sete anos, sendo, em geral, empresas bastante novas. Convém ressaltar também que 39 % das empresas recicladoras não tem como atividade principal a reciclagem, sendo que a maioria apenas fabrica o produto final.

A quantidade de materiais reciclados em 1999, discretizadas por tipo de plástico, pode ser vista na Tabela 4. 10. A categoria “Outros” engloba os plásticos ABS, SAN, PU, TR, Nylon, etc.

Tabela 4. 10. Quantidade do reciclo no Rio Grande do Sul em 1999.

<b>Resina</b>	<b>Quantidade reciclada (mil t / ano)</b>	<b>% sobre o total reciclado</b>
<b>PEBD</b>	17.970	27
<b>PEAD</b>	4.660	7
<b>PP</b>	10.650	16
<b>PS</b>	2.660	4
<b>PVC</b>	4.660	7
<b>PET</b>	13.980	21
<b>Misto</b>	11.320	17
<b>Outros</b>	670	1

Fonte: Associação Brasileira da Indústria Química (1999).

#### 4.7.7 Vantagens da reciclagem / A reciclagem e o problema sócio-econômico

Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001c) ressalta que a reciclagem promove, além da diminuição no consumo de energia e água, a redução da contaminação ambiental, que poderia ser mais efetiva caso os governos estimulassem e planejassem melhor o reaproveitamento dos resíduos sólidos.

Segundo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001c), a indústria brasileira começa a investir mais em reciclagem não por consciência ecológica ou postura politicamente correta, mas sim por seguirem a economia dos custos de produção, principalmente com energia elétrica, matéria-prima e mão-de-obra.

Resol Engenharia Ltda. (2001a) cita um amplo estudo confirmando que os australianos estão contribuindo com milhões de dólares para o meio ambiente, através dos pontos de coleta para reciclagem nas ruas. O estudo mostra que os benefícios ambientais conseguidos com a coleta para a reciclagem feita nas ruas não se limitam a evitar que os resíduos se dirijam ao aterro, mas também ajudam a diminuir os gases que causam o efeito estufa. O sistema de coleta australiano custa cerca de 26 dólares por família, mas os benefícios ambientais resultantes são três vezes maiores.

Informações deste trabalho mostram que os dados colhidos em aproximadamente 200 conselhos metropolitanos e regionais em toda a Austrália apontam para benefícios ambientais, sociais e econômicos em torno de 226 milhões de dólares anuais na reciclagem doméstica. Atualmente são reciclados cerca de 800.000 toneladas de material doméstico por ano.

Ao contrário dos países do primeiro mundo, o aumento da reciclagem nos últimos quatro anos nas grandes cidades brasileiras não reflete índices de desenvolvimento; ele vem do aumento do desemprego e do subemprego. Segundo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001c), cerca de 200.000 brasileiros passam o dia catando materiais nas ruas e vivem somente desta função, sendo que mais de 100.000 brasileiros vivem no país exclusivamente da coleta de latas de alumínio para reciclagem: são os catadores. Dependendo da região do país conseguem ganhar de 1 a 3 salários mínimos mensais.

Cinqüenta mil famílias colombianas vivem da reciclagem informal, o que representa cerca de 0,75 % da população daquele país (Jaramillo Villegas, 1995)

#### **4.7.8 Taxas de reciclagem**

A taxa de reciclagem é a quantidade de resíduos que são reciclados em um determinado período de tempo.

A Tabela 4. 11 mostra os estados que mais reciclaram resíduos no ano de 1999.



Tabela 4. 11. Concentração da reciclagem em 1999.

<b>Maiores estados recicladores</b>	<b>Quantidade reciclada (mil toneladas)</b>
<b>São Paulo</b>	1.054,9
<b>Minas Gerais</b>	319,7
<b>Paraná</b>	318,3
<b>Santa Catarina</b>	301,7
<b>Rio de Janeiro</b>	172,9
<b>Rio Grande do Sul</b>	94,5
<b>Pernambuco</b>	67,9

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001d).

Quanto ao reciclo do PET, os dados podem ser visualizados na Tabela 4. 12.

Tabela 4. 12. PET: produção e reciclagem.

<b>Ano</b>	<b>Demanda nacional de resina PET (toneladas)</b>	<b>Demanda para refrigerantes (toneladas)</b>	<b>Reciclagem pós-consumo (toneladas)</b>
<b>1994</b>	80.000	-	3.000 = 16,3 %
<b>1995</b>	120.000	-	18.000 = 15,0 %
<b>1996</b>	150.000	-	22.000 = 14,7 %
<b>1997</b>	211.000	185.700 = 88 %	30.000 = 16,2 %
<b>1998</b>	260.000	223.600 = 86 %	40.000 = 17,9 %
<b>1999</b>	286.000	237.400 = 83 %	50.000 = 20,4 %
<b>2000</b>	315.000	255.100 = 81 %	67.000 = 26,3 %

Fonte: Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2001e).

Segundo Polilix (2001), o Brasil perde por ano R\$ 4,6 bilhões por não reaproveitar os resíduos que produz, sem contar os gastos altíssimos com energia elétrica, água, matéria prima, e atendimento à legislação ambiental, ao se fabricar papel, vidro, plástico e latas de alumínio e de aço, todos gastos que poderiam ser evitados.

São reciclados no Brasil, 38% do papel, 60% do papelão e 35% do vidro produzidos.

#### 4.8 A importância e o problema da lavagem

O trabalho realizado por Remédio (1999) mostra a eficiência de um lavador / agitador na operação de lavagem de plásticos filme (polietileno de alta e baixa densidade). Entre as conclusões citadas naquela pesquisa, enquadra-se o fato de o tempo de lavagem ter sido mais importante que a concentração do agente de limpeza (hidróxido de sódio).

É citado, também, o fato de o equipamento utilizado (tanque) ter suprido as necessidades daquela limpeza, apesar de não constar detalhes de sua construção, exceto que o volume de lavagem foi de 48 litros.

Remédio (1999) relata em sua pesquisa que a lavagem é essencial no processo de recuperação dos plásticos, visto que o material deve estar limpo para seguir à etapa de reciclagem e que os plásticos normalmente são utilizados como embalagens, o que produz um elevado grau de contaminação com gorduras, proteínas e outros contaminantes. Além dos resíduos internos (restos de conteúdo das embalagens), a embalagem plástica possui uma grande facilidade de provocar a aderência de outros contaminantes externos ao produto, presentes no resíduo sólido oriundo da coleta tradicional.

Encontrou-se fabricantes de equipamentos completos para reciclagem dos plásticos, sendo que estas máquinas faziam também uma etapa de lavagem. O problema é que todos estes equipamentos eram de escala industrial, sem opção alguma em escala laboratorial, o que levou à completa adaptação e criatividade na criação de um lavador em pequena escala.

Como todo equipamento inédito, o lavador criado trouxe previamente uma série de dúvidas quanto ao seu funcionamento por não se saber de antemão nenhuma característica de seu comportamento.

#### 4.9 Características físico-químicas das lavagens

Na pesquisa realizada por Remédio (1999), cita-se o fato de o efluente de lavagem possuir características aproximadas às de um esgoto sanitário, avaliando-se as variáveis físico-químicas analisadas naquele experimento com os valores clássicos das mesmas nos esgotos sanitários.

Como conclusão adicional, o referido trabalho cita o alto pH no efluente de lavagem, devido às elevadas concentrações de hidróxido de sódio utilizadas na solução de lavagem.

Produz-se um alto teor de sólidos no efluente gerado pelas lavagens, sendo que a maioria deles é inorgânica e dissolvida na solução. É citado, também, o fato de certa parte destes sólidos poderem provir da água original, o que não foi quantificado no trabalho.

Quanto ao teor de material orgânico, os resultados da pesquisa de Remédio (1999) mostram que, apesar de os valores de DBO e DQO não serem muito elevados e equivalentes ao de um esgoto sanitário, requerem tratamentos prévios ao seu lançamento final em um corpo receptor.

Segundo Remédio (1999), o efluente gerado na lavagem de plásticos apresenta, além de muita sujeira, oriunda do material aderido às embalagens, grande quantidade de microrganismos prejudiciais, caso sejam lançados sem prévio tratamento. Existe a necessidade de tratamento destas águas residuárias, para remoção de contaminantes e de microrganismos, antes de sua emissão final.

Quanto ao alumínio, possivelmente presente no efluente oriundo das lavagens de embalagens cartonadas longa vida, não foram encontradas referências na literatura a respeito de resultados de lavagens deste material. A Figura 4. 21 mostra as formas predominantes de alumínio em solução aquosa. É possível que, em lavagens com alto pH, todo alumínio que porventura seja extraído das embalagens precipite sob a forma de hidróxido, além da possível complexação deste metal pelas moléculas orgânicas.

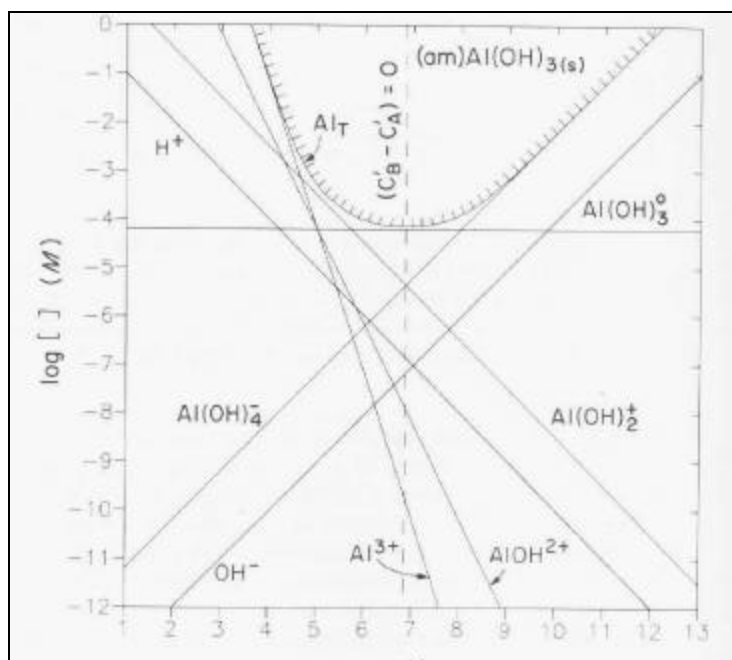


Figura 4. 21. Formas de alumínio predominantes em diversas faixas de concentração e pH. Fonte: Pankow (1991).

#### 4.10 Eficiência dos processos de tratamento de efluentes

Segundo Jordão e Pessoa (1995), existem valores padrão de remoção de várias substâncias presentes em águas residuárias, para cada uma das diferentes operações empregadas no tratamento de efluentes. Alguns destes valores são mostrados na Tabela 4. 13.

Tabela 4. 13. Eficiência de cada tratamento.

<b>Unidade de tratamento</b>	<b>Remoção de DBO (%)</b>	<b>Remoção de Sólidos Suspensos (%)</b>	<b>Remoção de Coliformes (%)</b>
<b>Crivos finos</b>	5 – 10	5 – 20	-
<b>Decantação</b>	25 – 40	40 – 70	40 – 60
<b>Floculação</b>	40 – 50	50 – 70	60 – 90
<b>Tanque de precipitação química</b>	50 – 85	70 – 90	60 – 90
<b>Filtro biológico de alta capacidade</b>	65 – 90	65 – 92	80 – 90
<b>Filtro biológico de baixa capacidade</b>	80 – 95	70 – 92	-
<b>Lodo ativado de alta capacidade</b>	50 – 75	80	90 – 96
<b>Lodo ativado convencional</b>	75 – 95	85 – 95	-
<b>Filtro de areia</b>	90 – 95	85 – 95	85 – 95
<b>Lagoa de estabilização</b>	90	-	-

Fonte: Jordão e Pessoa (1995).

## 5 Metodologia

Neste capítulo foi abordada a metodologia utilizada na parte experimental deste trabalho, explicitando as instalações experimentais, rotina do funcionamento do setor, a lavagem e observações dela oriundas e outros tópicos.

Do material triado nas esteiras da UTC do DMLU, foram escolhidos três tipos de embalagens: garrafas PET, embalagens cartonadas longa vida e embalagens de polipropileno. Estes materiais foram cortados em tamanho padrão para cada tipo de embalagem e introduzidos no lavador em proporção específica para cada espécime.

Não se encontrou na literatura dados relativos às características do efluente oriundo da lavagem de qualquer material, mesmo que este seja um dado de vital importância para o dimensionamento de um sistema de tratamento de efluentes originários da lavagem dos mesmos.

### 5.1 Material utilizados na pesquisa

O material utilizado no estudo é oriundo da coleta tradicional de resíduos sólidos, realizada no município de Porto Alegre pela empresa CORES.

Por ser o material proveniente de coleta tradicional, vem com bastante material orgânico aderido na superfície. Percebe-se visualmente que as embalagens cartonadas e o polipropileno aderem mais material que o PET, possivelmente pela diferença entre as texturas de suas superfícies.

O funcionamento básico da unidade de triagem e compostagem do DMLU (UTC), onde foi realizado o experimento, segue os procedimentos citados a seguir e pode ser visualizada nas Figuras de 5.1 a 5.11.



Figura 5. 1. Caminhão compactador despejando o resíduo no fosso de recepção.



Figura 5. 2. Detalhe dos resíduos no fosso receptor.



Figura 5. 3. Pólipo içando o resíduo em direção à esteira.



Figura 5. 4. Rasgação dos sacos.



Figura 5. 5. Triagem dos resíduos (vista geral).



Figura 5. 6. Triagem do PET.





Figura 5. 7. Triagem das embalagens cartonadas.



Figura 5. 8. Triagem do plástico rígido.



Figura 5. 9. Material orgânico (a compostar) caindo na caçamba do caminhão, no final da esteira.



Figura 5. 10. Detalhe do material orgânico na caçamba do caminhão.



Figura 5. 11. Leiras de compostagem no pátio.

Como o objetivo experimental da unidade é o de produzir composto orgânico a partir dos resíduos sólidos, foram selecionadas zonas de Porto Alegre onde os percentuais de material orgânico fossem os maiores possíveis. A quantidade de cargas é variável, conforme a demanda de material pelos trabalhadores da esteira e o volume da carga depositada, ficando, em geral, em uma carga diária.

O caminhão compactador, logo após fazer a coleta da zona respectiva, ingressa na UTC e despeja os resíduos no fosso de recepção. Um pólopo iça os resíduos até a entrada da esteira. Assim que ingressam na esteira, os sacos grandes são rasgados e seu conteúdo despejado na mesma. Os triadores separam o material nas seguintes categorias: PET verde, PET branco, embalagens cartonadas, papel misto, plástico rígido, metais, alumínio, vidro e rejeito. Todo o material que não se enquadra em nenhuma das categorias anteriores vai até o final da esteira, onde cai para dentro das caçambas dos caminhões, sendo posteriormente encaminhado para o pátio de compostagem.

O material triado fica armazenado em bombonas, onde posteriormente, após atingida a massa necessária, é transportado até o setor de processamento final, onde cada material sofre as operações específicas necessárias (prensagem, enfardamento, amarração, etc.), até que fique pronto para a venda .

O polipropileno, terceira embalagem utilizada neste experimento, fica armazenado na bombona do plástico rígido, de onde deve ser retriado, para isolá-lo dos outros tipos de plástico. Esta triagem foi feita separando-se as embalagens identificadas pelo símbolo internacional de classificação de plásticos, presente na maioria (número 5).

O material era coletado manualmente em sacos de lixo, com a utilização dos EPI's (equipamentos de proteção individual) necessários à operação, sendo posteriormente encaminhado ao local onde eram feitas as lavagens.

### **5.1.1 Polietileno tereftalato (PET)**

As embalagens mais comuns de PET eram as garrafas de refrigerante, nas cores incolor e verde, mas cresce também a aplicação deste plástico na confecção de diversas embalagens, como as de óleo e outros produtos de uso doméstico.

### **5.1.2 Embalagens cartonadas longa vida**

Os produtos mais envasados com esta embalagem são o leite longa vida, mas encontra-se grande aplicação no acondicionamento de uma gama crescente de produtos alimentícios, como polpa de tomate, sucos, creme de leite, molho branco, leite condensado e vários outros produtos.

### **5.1.3 Polipropileno**

Entre as embalagens mais comuns encontradas nos resíduos e fabricadas deste material cita-se potes de margarina, tampas de refrigerante (PET), potes para venda de produtos a granel, seringas e vários outros.

## 5.2 Instalações experimentais

A instalação experimental empregada nesta pesquisa foi realizada na UTC do DMLU, em um galpão vizinho ao peneirador de húmus.

Foram utilizados os seguintes equipamentos no experimento: agitador, um recipiente de 110 litros para lavagem, 3 recipientes plásticos para armazenagem da água, 1 peneira plástica com abertura quadrada de 1,4 mm de aresta, 1 guilhotina, 1 mangueira plástica, 1 balança digital com capacidade de 10 kg, precisão 5 g, 1 caixa de isopor. Alguns equipamentos podem ser visualizados na Figura 5. 12.



Figura 5. 12. Equipamentos utilizados no experimento.

O equipamento de agitação foi montado a partir de várias peças e pode ser visualizada na Figura 5. 13.



Figura 5. 13. Equipamento de agitação.

O equipamento foi montado com um motor de máquina de lavar roupa monofásico, 220 V, 373 W, operando em baixa rotação. A hélice de agitação foi fabricada a partir de uma hélice de lancha quebrada, a qual foi torneada de forma a ficar com 4 cm de largura. O eixo foi fabricado de uma barra de ferro, sendo que os ajustes finais, montagem e suporte para fixação no recipiente plástico foram executados em uma metalúrgica.

O lavador completo possui 2 torneiras, uma um pouco acima da metade, outra quase no fundo e pode ser visualizado na Figura 5. 14.



Figura 5. 14. Esquema do lavador completo.

### 5.3 Preparação das embalagens para as lavagens

Previamente a cada material novo a ser lavado, eram realizados vários experimentos, a fim de verificar quais modalidades de corte eram mais eficazes e qual a quantidade de resíduo a ser lavado; optou-se por realizar as lavagens com 100 litros de volume por possuir o equipamento uma marca interna neste valor.

No corte, a primeira tentativa era a de usar pequenos pedaços de embalagem (aproximadamente 2 cm X 2 cm). Observava-se o comportamento do lavador; após cada lavagem o tamanho dos fragmentos ia aumentando, até chegar em embalagens inteiras.

Após definido o tamanho ideal dos fragmentos a ser lavados, testava-se a massa de resíduos ideal a ser utilizada em cada lavagem. Começava-se com 100 gramas de material, observava-se o comportamento do equipamento, pesava-se mais 50 gramas, adicionava-se à lavagem, observava-se e assim por diante, até que o equipamento começava a dar mostras de fadiga. O ponto considerado ideal e utilizado para as lavagens era o incremento imediatamente anterior à entrada em fadiga do agitador.

Para o caso das lavagens de PET, verificou-se que, para o equipamento utilizado, a proporção de 500 gramas de PET para 100 litros de solução de lavagem era a ideal e foi utilizada. Quanto ao corte, verificou-se que as partes mais críticas (resistentes) do material eram os pés e o gargalo das garrafas e que a maneira de corte mais eficiente era a seguinte:

para garrafas de 600 mL e 1.000 mL de capacidade, apenas um corte, no meio da garrafa, enquanto nas garrafas de 2 L, o ideal era realizar-se 2 cortes: um abaixo do gargalo e um acima dos pés. A forma padrão de corte das garrafas PET pode ser visualizada na Figura 5. 15.



Figura 5. 15. Esquema de corte das garrafas PET de 600 mL e 1 L.

O sistema de corte padrão de garrafas PET de 2 litros pode ser visto na Figura 5. 16.



Figura 5. 16. Esquema de corte padrão para garrafas PET de 2 litros.

No caso das embalagens cartonadas, verificou-se que a melhor forma de corte é apenas um corte transversal, bem no centro da embalagem, e a proporção ideal de lavagem, baseada na capacidade da máquina, é de 600 gramas de embalagens para 100 litros de solução de lavagem. A forma padrão de corte das embalagens cartonadas pode ser visualizada na Figura 5. 17.



Figura 5. 17. Forma padrão de corte das embalagens cartonadas.

No caso do polipropileno, o corte ideal mostrou ser fracionar-se as tampas e embalagens pela metade e a melhor proporção de lavagem 750 gramas de PP para 100 litros de solução de lavagem. O corte padrão do PP está ilustrado na Figura 5. 18.



Figura 5. 18. Forma padrão de corte das embalagens de polipropileno.

#### 5.4 Procedimento de lavagem

Preparava-se a solução de lavagem dentro do recipiente de lavagem, sendo que no caso das lavagens com hidróxido de sódio, o mesmo era dissolvido previamente dentro de outro balde, este era despejado dentro do equipamento de lavagem, enxaguava-se várias vezes o balde e jogava-se a água dentro do recipiente de lavagem, completando-se com água da



torneira até o volume de 100 litros. Já no caso do detergente, o mesmo era pesado em um balde, fazia-se o processo de enxágüe idêntico ao feito com o hidróxido de sódio e também completava-se até o volume de 100 litros. No caso da lavagem com água, bastava adicionar água da torneira até o volume de 100 litros.

As especificações técnicas da soda cáustica e do detergente utilizados neste experimento podem ser visualizadas no Anexo A.

Com o motor agitando o sistema, coletava-se as amostras referentes a “0 hora” (condição inicial do sistema).

Após a triagem e corte do material, o mesmo era pesado dentro de um balde, até a quantidade ideal para a lavagem, sendo, então despejado dentro do equipamento de lavagem. Enxaguava-se brevemente e com pouca água o fundo do balde que continha os resíduos e incorporava-se esta água do enxágüe ao restante do material que já estava sendo lavado.

No momento da introdução dos resíduos o tempo começava a ser contado e coletava-se, com o motor funcionando, amostras aos 15, 45, 90, 150 e 180 minutos de lavagem.

Assim que a lavagem finalizava, esvaziava-se o recipiente de lavagem e, o mesmo e o conjunto agitador eram exaustivamente lavados, com detergente e desinfetante, sendo após enxaguados várias vezes com água da torneira.

## 5.5 Características observadas nas lavagens

### 5.5.1 Lavagem do polietileno tereftalato

Percebeu-se nas lavagens do polietileno tereftalato que o produto vai se desintegrando no transcorrer da lavagem, ao sofrer os impactos da hélice, especialmente nas lavagens com hidróxido de sódio, que levaram os flocos do material a uma granulometria menor e chegaram a provocar a separação parcial das três camadas contidas na embalagem.

As Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 ilustram a solução de lavagem e o efluente final para cada lavagem de PET.



Figura 5. 19. Lavagem de PET com água. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).



Figura 5. 20. Lavagem de PET com detergente. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).



Figura 5. 21. Lavagem de PET com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).

### 5.5.2 Lavagem das embalagens cartonadas

Foi observado que a embalagem cartonada, apesar de sua elevada resistência quando íntegra, torna-se extremamente frágil ao ser lavada no equipamento. Por ser formada na esmagadora maioria por papelão, é fácil de se notar que a água vai penetrando na camada de papelão da embalagem, fazendo com que haja uma ruptura muito rápida da mesma, separando todas suas camadas.

Ao se desligar a agitação, após 3 horas de lavagem, o papelão está finamente dividido na solução de lavagem, enquanto os filmes de polietileno e de alumínio flutam. Esta situação está bem ilustrada na Figura 5. 22.



Figura 5. 22. Flotação dos filmes de polietileno e alumínio e papelão finamente dividido na solução de lavagem após desligar-se a agitação.

Como o papelão está presente em enorme quantidade na solução de lavagem, foi necessária a filtração da mesma na hora de coletar as amostras. Foi utilizado uma peneira com orifícios quadrangulares, de dimensões 1,4 mm X 1,4 mm. O sistema de coleta de amostras nas lavagens com embalagens cartonadas pode ser visualizado na Figura 5. 23.



Figura 5. 23. Esquema de coleta de amostras nas lavagens de embalagens cartonadas.

As Figuras 5.26, 5.27 e 5.28, a seguir, ilustram a solução de lavagem e o efluente final (filtrado e não-filtrado) para cada lavagem das embalagens cartonadas.



Figura 5. 24. Lavagem de embalagens cartonadas com água. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita).



Figura 5. 25. Lavagem de embalagens cartonadas com detergente. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita).



Figura 5. 26. Lavagem de embalagens cartonadas com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda), efluente filtrado (centro) e efluente não-filtrado (direita).

### 5.5.3 Lavagem do polipropileno

Quando o equipamento de lavagem é desligado, as fibras de polipropileno também flutam e são facilmente separáveis, conforme mostra a Figura 5. 27.



Figura 5. 27. Polipropileno flotando após o desligamento do agitador.

As Figuras 5.30, 5.31 e 5.32, a seguir, ilustram a solução de lavagem e o efluente final para cada lavagem do polipropileno.



Figura 5. 28. Lavagem de polipropileno com água. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).



Figura 5. 29. Lavagem de polipropileno com detergente. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).



Figura 5. 30. Lavagem de polipropileno com hidróxido de sódio. Solução de lavagem (esquerda) e efluente final (direita).

## 5.6 Coleta de amostras

Em todas as lavagens, todas as amostras foram coletadas com agitação. Devido à heterogeneidade da água da torneira, julgou-se necessário fazer a coleta antes da adição de material a ser lavado (“0 h”) e após, avaliando-se cada parâmetro por diferença. Isto é explicado pelo fato de a unidade do DMLU onde foi realizado o experimento não possuir abastecimento de água do DMAE. A água era abastecida por caminhões-pipa, que depositavam-na em uma caixa d’água, que, por possuir sedimentos ao fundo, determinava variabilidade na qualidade da água. A Figura 5. 31 ilustra a suspensão de sedimentos provenientes da caixa. Pela cor, é provável que predominassem nos sedimentos íons férricos, em mistura com material orgânico (lodo).





Figura 5. 31. Primeiros 3 litros oriundos do abastecimento da caixa d'água vazia.

O procedimento consistia na coleta de amostras de solução de lavagem (“0 h”), antes da introdução do material a ser lavado e ao término da lavagem (“3 h”), para análise das variáveis: pH, sólidos sedimentáveis, coliformes totais e fecais, fósforo total, demanda química de oxigênio, cor, turbidez, nitrogênio total de Kjeldahl, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis e, no caso das lavagens com embalagens cartonadas, também alumínio, chumbo, cromo, cádmio e níquel.

Em todos os experimentos foram coletadas amostras aos 15, 45, 90 e 150 minutos para análise da demanda bioquímica de oxigênio.

## 5.7 Análise laboratorial

As amostras eram coletadas em frascos adequados para a análise de cada parâmetro, sendo que, assim que as amostras eram obtidas, seguiam para o isopor com gelo, onde eram adequadamente preservadas até seu transporte para os laboratórios

As análises de sólidos (série completa – ST, STF, STV, SDT, SDF, SDV, SST, SSF, SSV), nitrogênio total de Kjeldahl (NTK) e demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5$ ) foram realizados no laboratório de análises físico-químicas Green Lab, localizado em Porto Alegre – RS.

No laboratório do IPH (Instituto de pesquisas hidráulicas) foram realizadas as análises de potencial hidrogeniônico (pH), cor, turbidez, fósforo total, demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais e fecais e metais (níquel, cromo, cádmio, chumbo e alumínio).

### 5.7.1 Técnicas utilizadas nas determinações dos parâmetros físico-químicos

A Tabela 5.1 explicita os métodos utilizados para determinação de cada parâmetro.

Tabela 5.1. Técnicas utilizadas para detecção dos parâmetros.

<b>Parâmetro</b>	<b>Método de determinação</b>
<b>Potencial hidrogeniônico (pH)</b>	Potenciométrico – leitura direta.
<b>Cor</b>	Comparativo - disco de cor (clorímetro de Hellig).
<b>Turbidez</b>	Nefelométrico – leitura de turbidímetro.
<b>Fósforo total</b>	Método do cloreto estano – método colorimétrico, espectrofotômetro visível.
<b>Demanda química de oxigênio (DQO)</b>	Refluxo fechado com dicromato. Leitura colorimétrica do espectrofotômetro.
<b>Coliformes</b>	Tecnologia do substrato definido (DST) – Colilert.
<b>Sólidos (todos os tipos)</b>	Gravimétrico
<b>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)</b>	Winckler
<b>Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)</b>	Kjeldahl
<b>Níquel, cromo, cádmio, chumbo e alumínio</b>	Espectrofotometria de absorção atômica.

### 5.8 Tratamento estatístico

Devido ao fato de não haver repetições, ou seja, só existir um experimento de lavagem para cada tipo de embalagem com cada solução de lavagem, a análise estatística baseou-se na quantificação dos diversos parâmetros e elaboração de modelos de regressão, que procuraram explicar as tendências observadas.

## 6 Dificuldades experimentais

Neste capítulo serão abordadas as principais dificuldades encontradas durante a execução do experimento.

### 6.1 Variabilidade dos resíduos

Foi facilmente perceptível a grande variabilidade dos resíduos submetidos à lavagem. Por exemplo, em dias de chuva, o resíduo vem com menos sujeira aderida, o que altera os resultados do efluente resultante da análise. Percebe-se também que as embalagens oriundas das coletas de segundas e terças-feiras possuem muito mais material aderido que as dos demais dias da semana. Isto se deve, provavelmente, a faxinas feitas durante os finais-de-semana, onde mais material é descartado e coletado nas segundas e terças.

Há também grande influência do acondicionamento dos materiais. Enquanto há pessoas que dispõem os resíduos em sacos separados, praticamente isolando os materiais, há outras que misturam tudo, provocando maior aderência de material nas embalagens. Existem também influências de ordem aleatória, como sacos que são mais compactados pelo caminhão que outros e diferentes materiais consumidos em cada lar.

Finalmente deve-se considerar a variação sazonal da composição dos resíduos, eventos especiais e também a aleatoriedade e amostragem muito pouco representativa dos resíduos.

Tudo isto faz intuir que, mesmo que houvesse várias repetições de lavagens nas mesmas condições (mesma embalagem e mesma solução de lavagem), dificilmente conseguiria-se significância nos resultados, pois existe uma enorme dificuldade em se obter significância no material a ser lavado.

### 6.2 Equipamento

O equipamento produziu lavagens bastante eficientes, mas poderia trazer informações ainda mais valiosas se suas paredes fossem transparentes, o que facilitaria sobremaneira a visualização de vários fenômenos.

### 6.3 Água de lavagem variável

É notória a dificuldade que se possui de reproduzir as características de uma água de torneira. Existe uma certa média histórica de cada parâmetro na água de cada região, sendo que os valores de cada parâmetro oscilam discretamente ao redor desta média. O problema observado neste experimento é que a água da torneira possuía uma variabilidade exagerada nos parâmetros, o que pode afetar muitos equilíbrios químicos e influenciar nas reações que ocorrem durante as lavagens.

A situação era agravada por a unidade não estar ligada ao abastecimento público de água. A caixa d'água era abastecida por um caminhão-pipa, sempre que a mesma ficava vazia. Algumas lavagens foram realizadas com a caixa contendo grande quantidade de água e outros com a caixa quase vazia, ocasião que transportava quantidade adicional de sólidos ao sistema de lavagem.

## 7 Resultados

Houve a necessidade de testes prévios às lavagens para ser encontrada a proporção material / solução de lavagem ideal, bem como observar problemas no equipamento, como, por exemplo, a suspeita de que o agitador não possuía condições de lavar certos tipos de plástico, como o plástico filme.

Em todos os processos de lavagem observou-se que rapidamente a solução de lavagem aumentava sua cor e turbidez, mostrando a rápida dissolução dos materiais aderidos à superfície dos materiais.

Todas as lavagens com hidróxido de sódio mostraram ser mais agressivas que as equivalentes com água e detergente. Normalmente o material lavado com hidróxido de sódio desintegrou-se em pedaços menores que os provenientes das outras lavagens e produzia-se um razoável odor de amônia, especialmente no início da lavagem.

As lavagens com detergente apresentaram o problema de transbordamento em todos os casos. Tentou-se reduzir o volume de lavagem (reduzindo proporcionalmente a quantidade de detergente utilizado), mas não produziu efeitos, já que a solução de lavagem continuou transbordando. Verificou-se que o mesmo ocorria nos momentos em que os materiais se aglutinavam ao redor da hélice, chegando ao ponto extremo de transbordar quando se utilizou um volume de lavagem de 40 litros (menos da metade da altura total). O transbordamento citado pode ser visualizado na Figura 7. 1.



Figura 7. 1. Transbordamento nas lavagens com detergente.

Nas lavagens com detergente percebeu-se, também, que muito sólidos ficavam “envolvidos” pela espuma, sendo também arrastados para fora do recipiente quando ocorria transbordamento. Suspeita-se da venda incorreta do detergente, pois foi solicitado ao vendedor detergente pronto para o uso, mas parece que o produto utilizado corresponde àquelas variantes concentradas, que devem ser diluídas antes do uso.

A Figura 7. 2 mostra um cone de Imhoff, ao final de um teste de sólidos sedimentáveis, onde se pode observar a diferença na quantidade dos mesmos no efluente filtrado e não-filtrado.

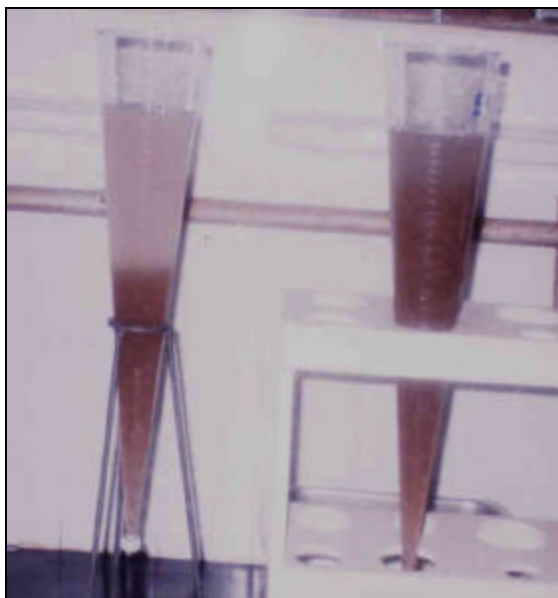


Figura 7. 2. Sólidos sedimentáveis do efluente filtrado (esquerda) e do efluente não-filtrado (direita).

Observou-se na lavagem do polipropileno que o material possui uma resistência menor que a do PET. A maioria das embalagens de PP é proveniente de potes de margarina e fragmenta-se facilmente em fibras alongadas, além de possuírem maior quantidade de material aderido, o que é facilmente explicável pelo fato de as pessoas utilizarem tais potes para congelar alimentos.

## 7.1 Resultado das análises

### 7.1.1 Lavagens de PET

Os resultados das lavagens de PET podem ser visualizados nas Tabelas 7.1 a 7.6 e nas Figuras 7.3 a 7.8.

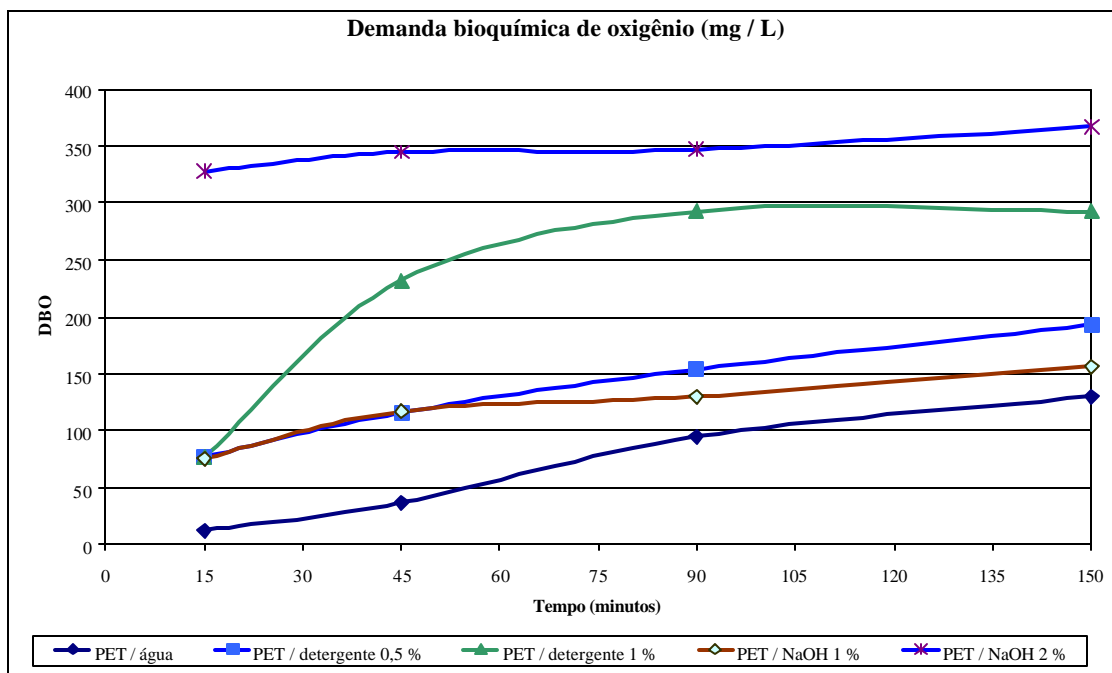


Figura 7. 3. DBO das lavagens de PET.

Tabela 7. 1. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens.

Lavagem	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (1)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (2)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (3)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (4)
PET / água	12	37	95	130
PET / detergente 0,5 %	77,2	116	154	193
PET / detergente 1 %	77,2	232	293	293
PET / NaOH 1 %	76	117	130	156
PET / NaOH 2 %	328	345	347	367

- (1) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 15 minutos de experimentação.
- (2) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 45 minutos de experimentação.
- (3) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 90 minutos de experimentação.
- (4) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 150 minutos de experimentação.

Tabela 7. 2. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com água.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,4	7,2	+ 0,8
Cor	mg Pt/Co	10	50	+ 40
Turbidez	FTU	2,5	22	+ 19,5
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	18	154	+ 136
Fósforo total	mg / L	0,067	0,32	+ 0,253
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	2,99	4,19	+ 1,2
Sólidos totais	mg / L	430	1.300	+ 870
Sólidos totais fixos	mg / L	79	196	+ 117
Sólidos totais voláteis	mg / L	351	1.104	+ 753
Sólidos suspensos totais	mg / L	2	154	+ 152
Sólidos suspensos fixos	mg / L	1	44	+ 43
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	1	110	+ 109
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	428	1.146	+ 718
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	78	152	+ 74
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	350	994	+ 644
Sólidos sedimentáveis	mL/L	N.D.	2	+ 2
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$8,55 \cdot 10^5$	$8,55 \cdot 10^5$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$3,6 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$

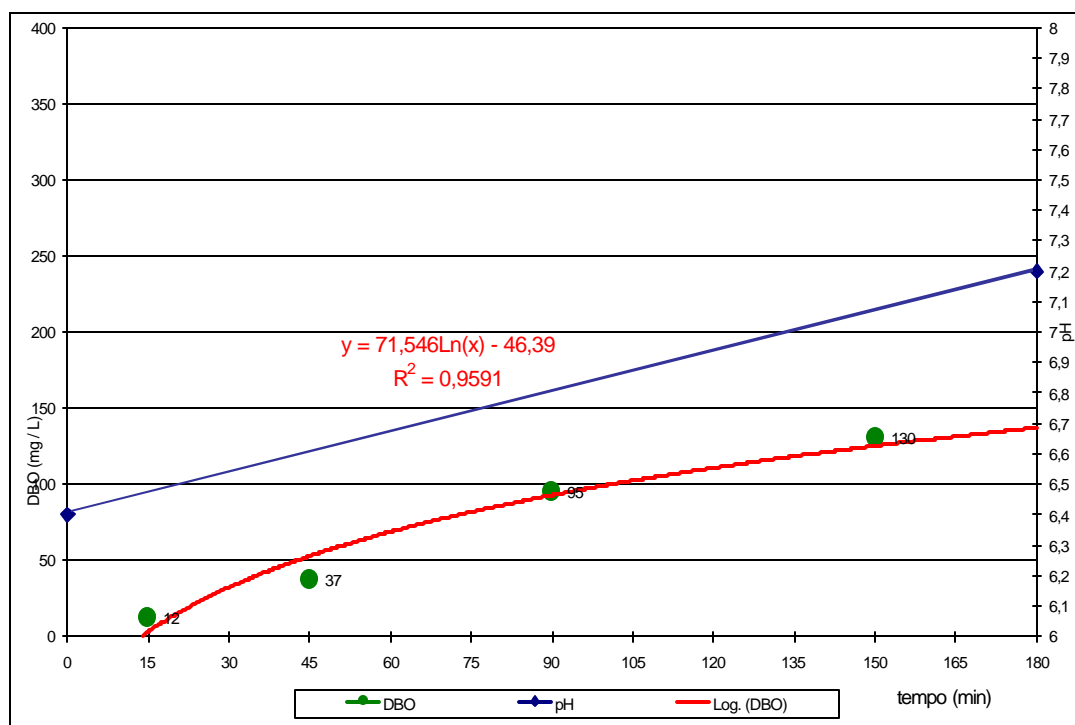


Figura 7. 4. DBO e pH da lavagem de PET + água.



Tabela 7. 3. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com detergente a 0,5 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,9	7	+ 0,1
Cor	mg Pt/Co	0	140	+ 140
Turbidez	FTU	0,2	80	+ 79,8
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	1.330	1.645	+ 315
Fósforo total	mg / L	0,20	1,29	+ 1,09
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	13,9	15,5	+ 1,6
Sólidos totais	mg / L	7.423	5.564	- 1.859
Sólidos totais fixos	mg / L	188	240	+ 52
Sólidos totais voláteis	mg / L	7.235	5.324	- 1.911
Sólidos suspensos totais	mg / L	14	218	+ 204
Sólidos suspensos fixos	mg / L	2	68	+ 66
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	12	150	+ 138
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	7.409	5.346	- 2.063
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	186	172	- 14
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	7.223	5.174	- 2.049
Sólidos sedimentáveis	mL/L	N.D.	2,5	+ 2,5
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$2,224 \cdot 10^6$	$2,224 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$6,867 \cdot 10^4$	$6,867 \cdot 10^4$

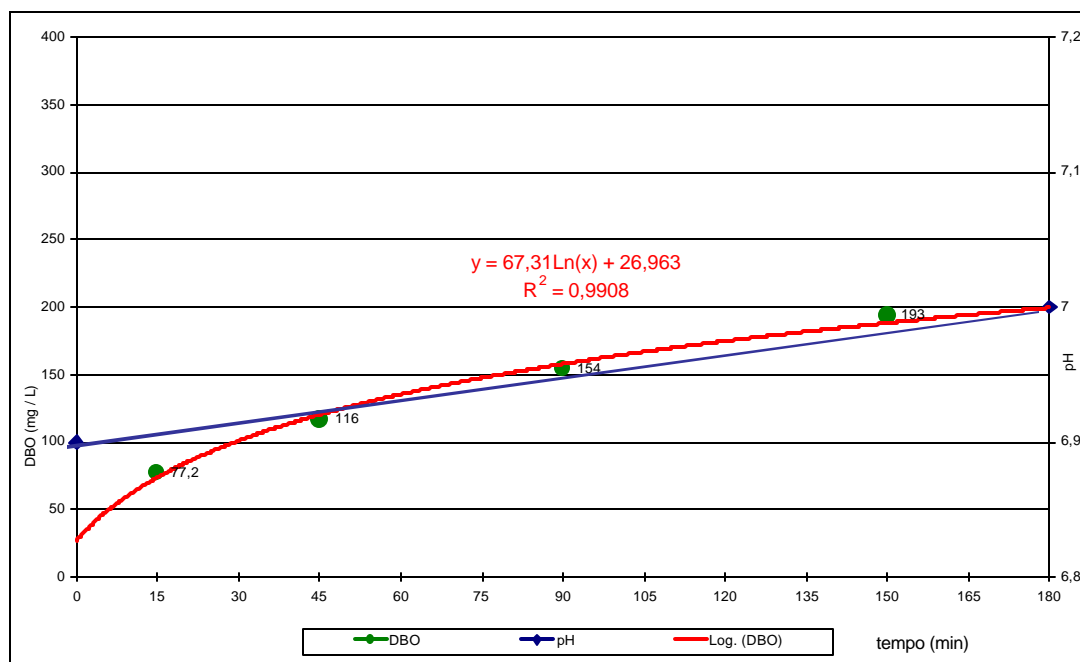


Figura 7. 5. DBO e pH da lavagem de PET + detergente 0,5 %.

Tabela 7. 4. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com detergente a 1 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,7	6,9	+ 0,2
Cor	mg Pt/Co	0	25	+ 25
Turbidez	FTU	1,5	57	+ 55,5
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	1.487	1.593	+ 106
Fósforo total	mg / L	0,46	2,72	+ 2,26
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	1,99	5	+ 3,01
Sólidos totais	mg / L	11.394	6.865	- 4.529
Sólidos totais fixos	mg / L	321	125	- 196
Sólidos totais voláteis	mg / L	11.073	6.740	- 4.333
Sólidos suspensos totais	mg / L	1.010	140	- 870
Sólidos suspensos fixos	mg / L	196	25	- 171
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	814	115	- 699
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	10.384	6.725	- 3.659
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	125	100	- 25
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	10.259	6.625	- 3.634
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	4	+ 4
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$1,607 \cdot 10^7$	$1,607 \cdot 10^7$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$3,31 \cdot 10^5$	$3,31 \cdot 10^5$

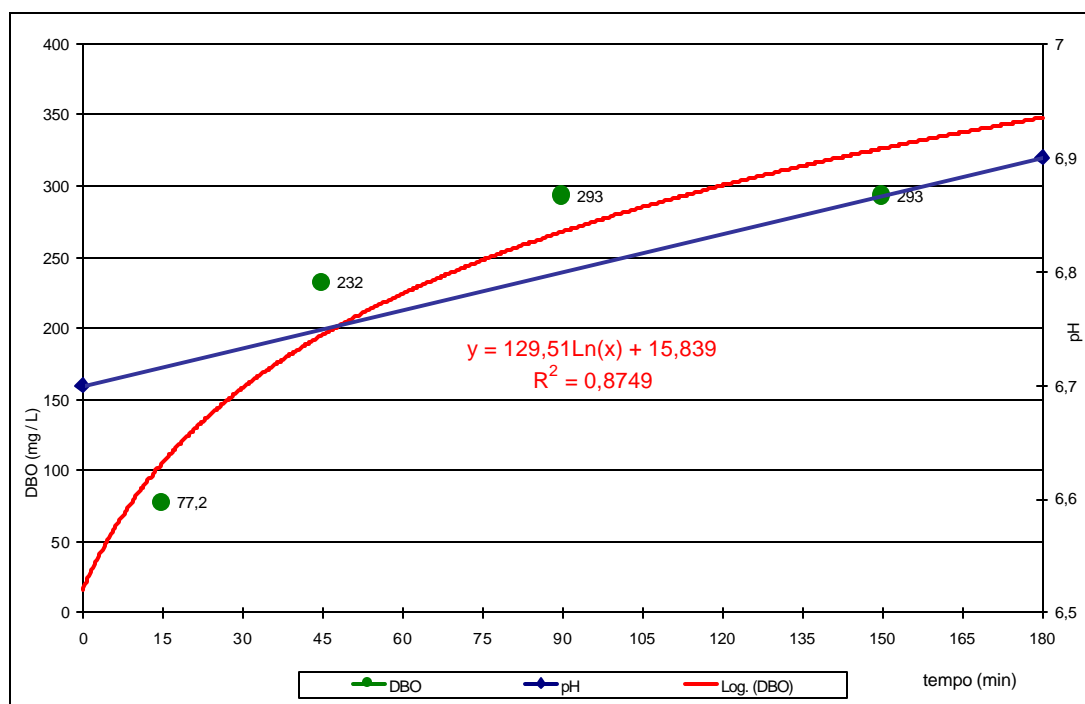


Figura 7. 6. DBO e pH da lavagem de PET + detergente 1 %.

Tabela 7. 5. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com NaOH a 1 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	13	13,1	+ 0,1
Cor	mg Pt/Co	5	200	+ 195
Turbidez	FTU	2,7	90	+ 87,3
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	16	497	+ 481
Fósforo total	mg / L	0,06	1,16	+ 1,10
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	3,74	12,8	+ 9,06
Sólidos totais	mg / L	12.343	11.333	- 1.010
Sólidos totais fixos	mg / L	11.310	10.367	- 943
Sólidos totais voláteis	mg / L	1.033	966	- 67
Sólidos suspensos totais	mg / L	27	403	+ 376
Sólidos suspensos fixos	mg / L	16	180	+ 164
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	11	223	+ 212
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	12.316	10.930	- 1.386
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	11.294	10.187	- 1.107
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	1.022	743	- 279
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	1,5	+ 1,5
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.

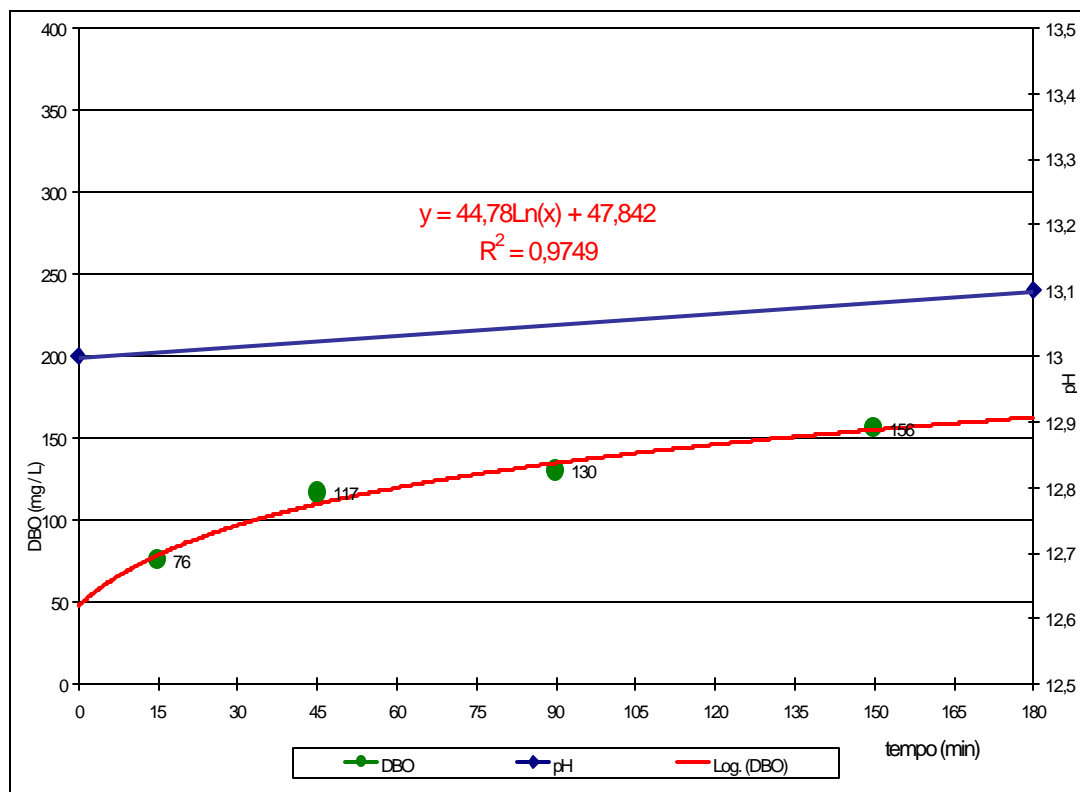


Figura 7. 7. DBO e pH da lavagem de PET + NaOH 1 %.

Tabela 7. 6. Resultados da lavagem de polietileno tereftalato (PET) com NaOH a 2 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	13,3	13,2	- 0,1
Cor	mg Pt/Co	0	200	+ 200
Turbidez	FTU	4,8	98	+ 93,2
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	34	1.177	+ 1.143
Fósforo total	mg / L	0,10	1,96	+ 1,86
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	2,67	4,28	+ 1,61
Sólidos totais	mg / L	21.720	21.474	- 246
Sólidos totais fixos	mg / L	20.450	19.985	- 465
Sólidos totais voláteis	mg / L	1.270	1.489	+ 219
Sólidos suspensos totais	mg / L	246	512	+ 266
Sólidos suspensos fixos	mg / L	158	403	+ 245
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	88	109	+ 21
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	21.474	20.962	- 512
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	20.292	19.582	- 710
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	1.182	1.380	+ 198
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	4	+ 4
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.

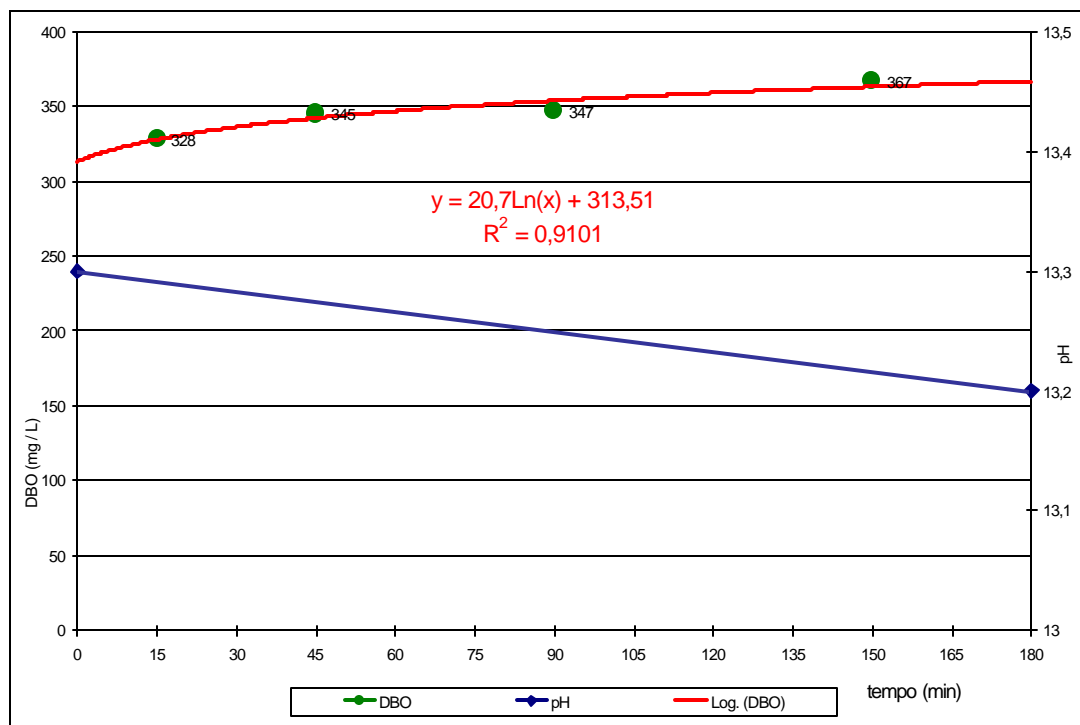


Figura 7. 8. DBO e pH da lavagem de PET + NaOH 2 %.

Observa-se as vantagens da lavagem com soda, por promover total desinfecção do efluente gerado, bem como uma elevada remoção de material orgânico carbonáceo (DBO) na parte inicial da lavagem.

### 7.1.2 Lavagens de embalagens cartonadas

Os resultados das lavagens de embalagens cartonadas podem ser visualizados nas Tabelas 7.7 a 7.12 e nas Figuras 7.9 a 7.14.

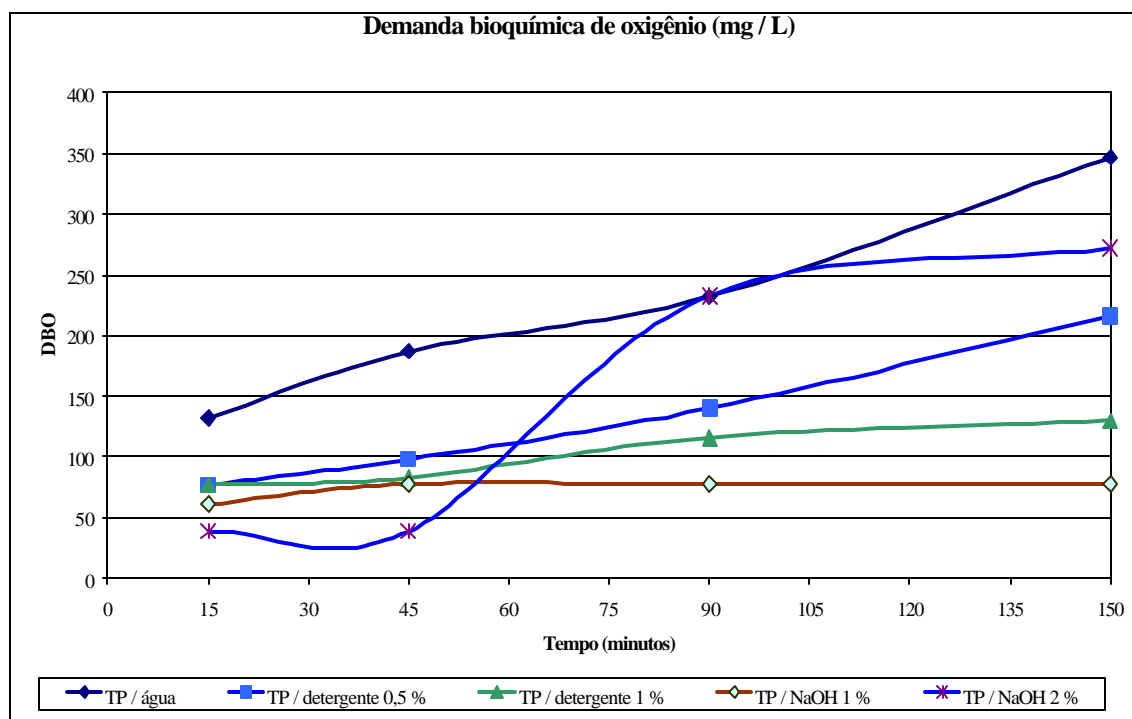


Figura 7. 9. DBO das lavagens de embalagens cartonadas.

Tabela 7. 7. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens.

Lavagem	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (1)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (2)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (3)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (4)
Tetra Pak / água	132	187	232	347
Tetra Pak / detergente 0,5 %	77,2	98,3	140	216
Tetra Pak / detergente 1 %	77,2	83	116	130
Tetra Pak / NaOH 1 %	61	77,8	77,8	77,8
Tetra Pak / NaOH 2 %	38,9	38,9	233	272

(1) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 15 minutos de experimentação, (2) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 45 minutos de experimentação, (3) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 90 minutos de experimentação, (4) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 150 minutos de experimentação.

Tabela 7. 8. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com água.

Variável	Unidade	0 h	3 h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	7,2	6,5	- 0,7
Cor	mg Pt/Co	10	300	+ 290
Turbidez	FTU	1,3	130	+ 128,7
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	60	570	+ 510
Fósforo total	mg / L	0,03	0,61	+ 0,58
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	3,45	16,3	+ 12,85
Sólidos totais	mg / L	550	1.618	+ 1.068
Sólidos totais fixos	mg / L	58	253	+ 195
Sólidos totais voláteis	mg / L	492	1.362	+ 873
Sólidos suspensos totais	mg / L	2	340	+ 338
Sólidos suspensos fixos	mg / L	2	110	+ 108
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	0	230	+ 230
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	548	1.278	+ 730
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	56	143	+ 87
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	492	1.135	+ 643
Sólidos sedimentáveis filtrados	mL / L	N.D.	15	+ 15
Sólidos sedimentáveis não filtrados	mL / L	N.D.	240	+ 240
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$1,421 \cdot 10^6$	$1,421 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$1,08 \cdot 10^5$	$1,08 \cdot 10^5$
Alumínio	mg / L	N.D.	0,123	0,123
Chumbo, Cromo, Níquel, Cádmi	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.

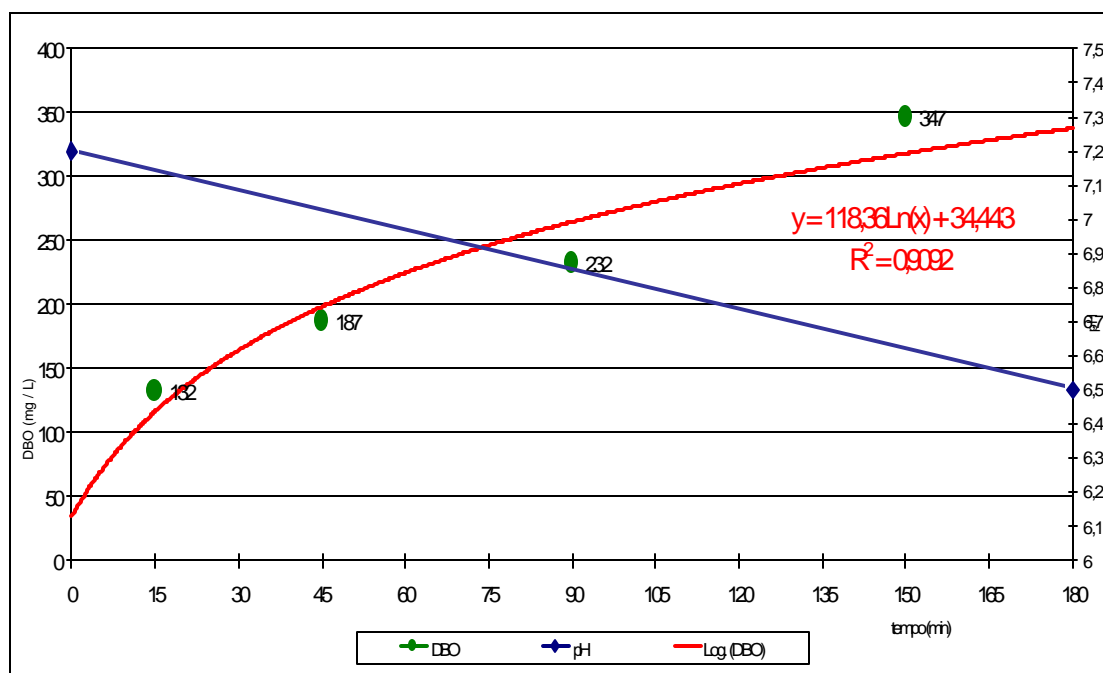


Figura 7. 10. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + água.

Tabela 7. 9. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com detergente a 0,5 %.

Variável	Unidade	0 h	3 h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,8	7,5	+ 0,7
Cor	mg Pt/Co	10	120	+ 110
Turbidez	FTU	20	250	+ 230
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	1.048	2.330	+ 1.282
Fósforo total	mg / L	0,13	3,43	+ 3,30
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	4,45	22	+ 17,55
Sólidos totais	mg / L	2.300	1.631	- 669
Sólidos totais fixos	mg / L	338	431	+ 93
Sólidos totais voláteis	mg / L	1.962	1.200	- 762
Sólidos suspensos totais	mg / L	27	490	+ 463
Sólidos suspensos fixos	mg / L	8	95	+ 87
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	19	395	+ 376
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	2.273	1.141	- 1.132
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	330	336	+ 6
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	1.943	805	- 1.138
Sólidos sedimentáveis filtrados	mL / L	N.D.	23	+ 23
Sólidos sedimentáveis não filtrados	mL / L	N.D.	360	+ 360
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$1,483 \cdot 10^6$	$1,483 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$1,58 \cdot 10^4$	$1,58 \cdot 10^4$
Alumínio	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.
Chumbo, Cromo, Níquel, Cádmio	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.

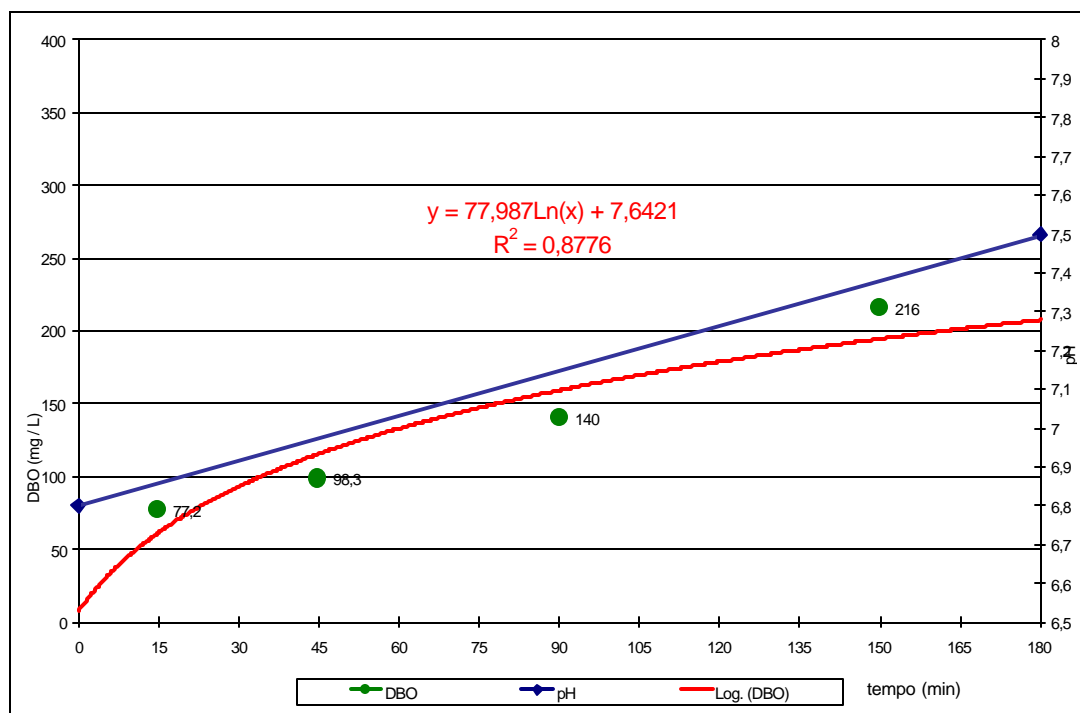


Figura 7. 11. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + detergente 0,5 %.

Tabela 7. 10. Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com detergente a 1 %.

Variável	Unidade	0 h	3 h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	7,1	7,5	+ 0,4
Cor	mg Pt/Co	5	150	+ 135
Turbidez	FTU	2,1	120	+ 117,9
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	2.330	3.588	+ 1.258
Fósforo total	mg / L	0,34	4,15	+ 3,81
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	11,5	45,1	+ 33,6
Sólidos totais	mg / L	2.511	3.286	+ 775
Sólidos totais fixos	mg / L	432	473	+ 41
Sólidos totais voláteis	mg / L	2.079	2.813	+ 734
Sólidos suspensos totais	mg / L	12	545	+ 533
Sólidos suspensos fixos	mg / L	6	170	+ 164
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	6	375	+ 369
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	2.499	2.281	- 218
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	426	303	- 123
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	2.073	1.978	- 95
Sólidos sedimentáveis filtrados	mL / L	N.D.	23	+ 23
Sólidos sedimentáveis não filtrados	mL / L	N.D.	360	+ 360
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$2,909 \cdot 10^7$	$2,909 \cdot 10^7$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$5,2 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$
Alumínio	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.
Chumbo, Cromo, Níquel, Cádmi	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.

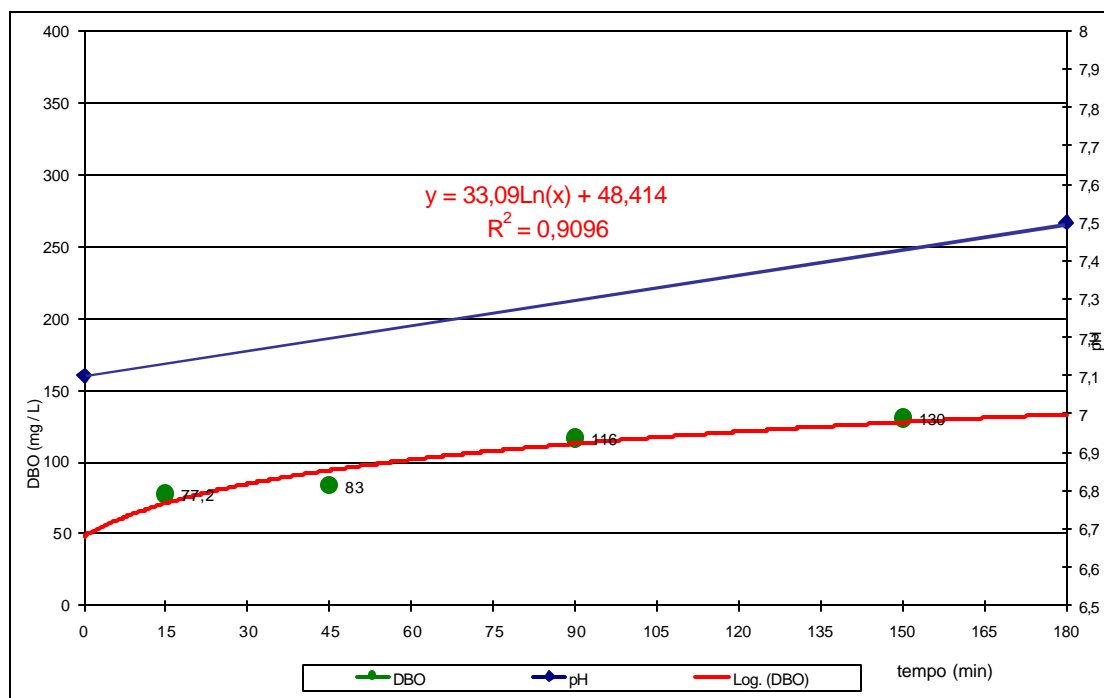


Figura 7. 12. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + detergente 1 %.



Tabela 7. 11.Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com NaOH a 1 %.

Variável	Unidade	0 h	3 h	Acréscimo absoluto na lava gem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	13,1	13,1	0
Cor	mg Pt/Co	15	300	+ 285
Turbidez	FTU	4,3	120	+ 115,7
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	70	375	+ 305
Fósforo total	mg / L	0,09	1,64	+ 1,55
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	5,5	16,3	+ 10,8
Sólidos totais	mg / L	12.208	29.730	+ 17.522
Sólidos totais fixos	mg / L	9.321	18.017	+ 8.696
Sólidos totais voláteis	mg / L	2.887	11.713	+ 8.826
Sólidos suspensos totais	mg / L	29	525	+ 496
Sólidos suspensos fixos	mg / L	25	250	+ 225
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	4	275	+ 271
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	12.179	29.205	+ 17.026
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	9.296	17.767	+ 8.471
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	2.883	11.438	+ 8.555
Sólidos sedimentáveis filtrados	mL / L	N.D.	38	+ 38
Sólidos sedimentáveis não filtrados	mL / L	N.D.	650	+ 650
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Alumínio	mg / L	0,051	N.D.	- 0,051
Chumbo, Cromo, Níquel, Cádmio	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.

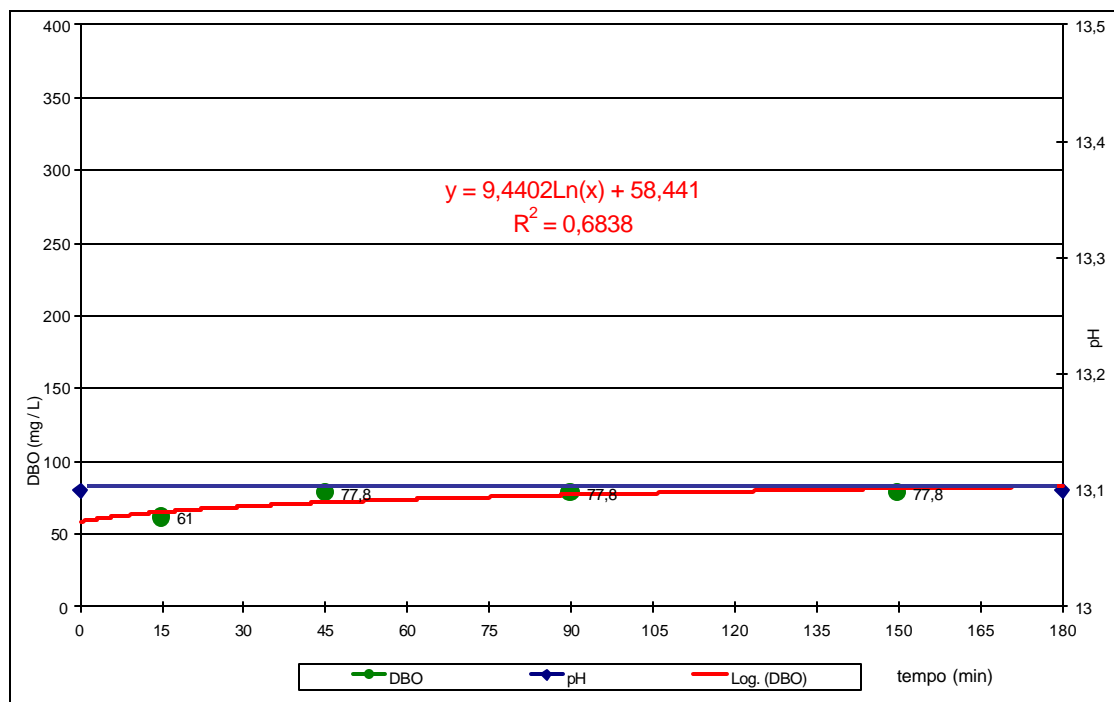


Figura 7. 13. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + NaOH 1 %.

Tabela 7. 12.Resultados da lavagem de embalagens cartonadas com NaOH a 2 %.

Variável	Unidade	0 h	3 h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	12,5	12,3	- 0,2
Cor	mg Pt/Co	15	350	+ 335
Turbidez	FTU	6	150	+ 144
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	11	1.664	+ 1.653
Fósforo total	mg / L	0,11	1,93	+ 1,82
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	3,07	16,2	+ 13,13
Sólidos totais	mg / L	25.179	34.726	+ 9.547
Sólidos totais fixos	mg / L	9.952	17.929	+ 7.977
Sólidos totais voláteis	mg / L	15.227	16.797	+ 1.570
Sólidos suspensos totais	mg / L	61	708	+ 647
Sólidos suspensos fixos	mg / L	52	365	+ 313
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	9	343	+ 334
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	25.118	34.018	+ 8.900
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	9.900	17.564	+ 7.664
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	15.218	16.454	+ 1.236
Sólidos sedimentáveis filtrados	mL / L	N.D.	25	+ 25
Sólidos sedimentáveis não filtrados	mL / L	N.D.	760	+ 760
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Alumínio	mg / L	0,031	N.D.	- 0,031
Chumbo, Cromo, Níquel, Cádmio	mg / L	N.D.	N.D.	N.D.

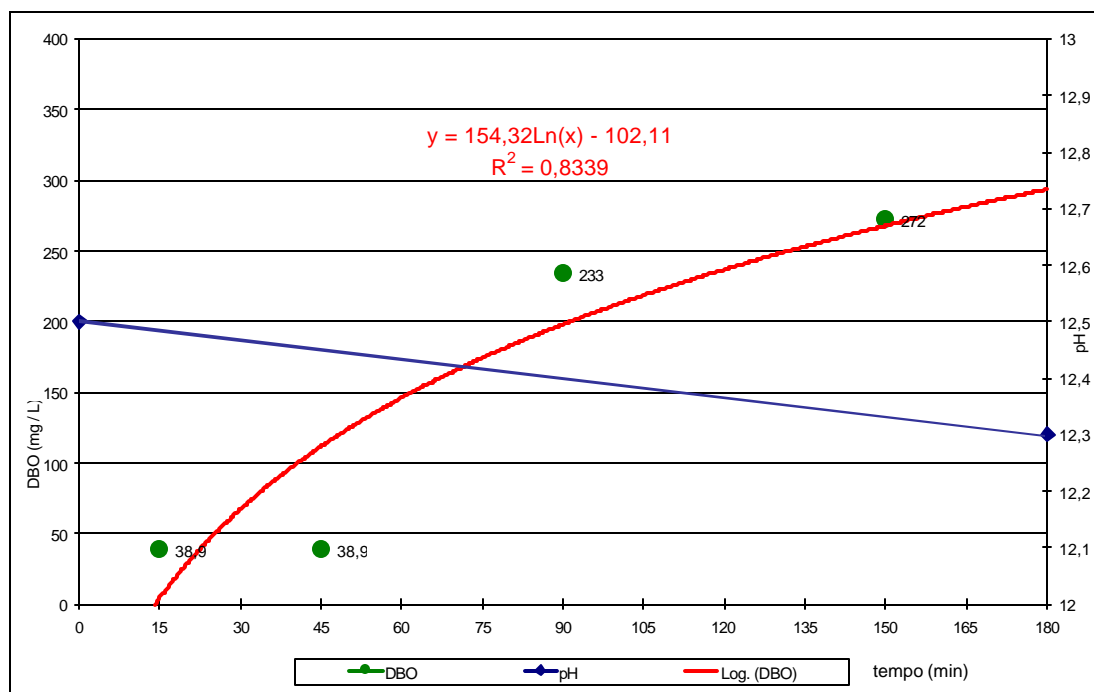


Figura 7. 14. DBO e pH da lavagem de embalagens cartonadas + NaOH 2 %.

Observa-se as vantagens da lavagem com soda, por promover total desinfecção do efluente gerado, bem como uma elevada remoção de material orgânico carbonáceo (DBO) na parte inicial da lavagem.

### 7.1.3 Lavagens de polipropileno (PP)

Os resultados das lavagens de polipropileno podem ser visualizados nas Tabelas 7.13 a 7.18 e nas Figuras 7.15 a 7.20.

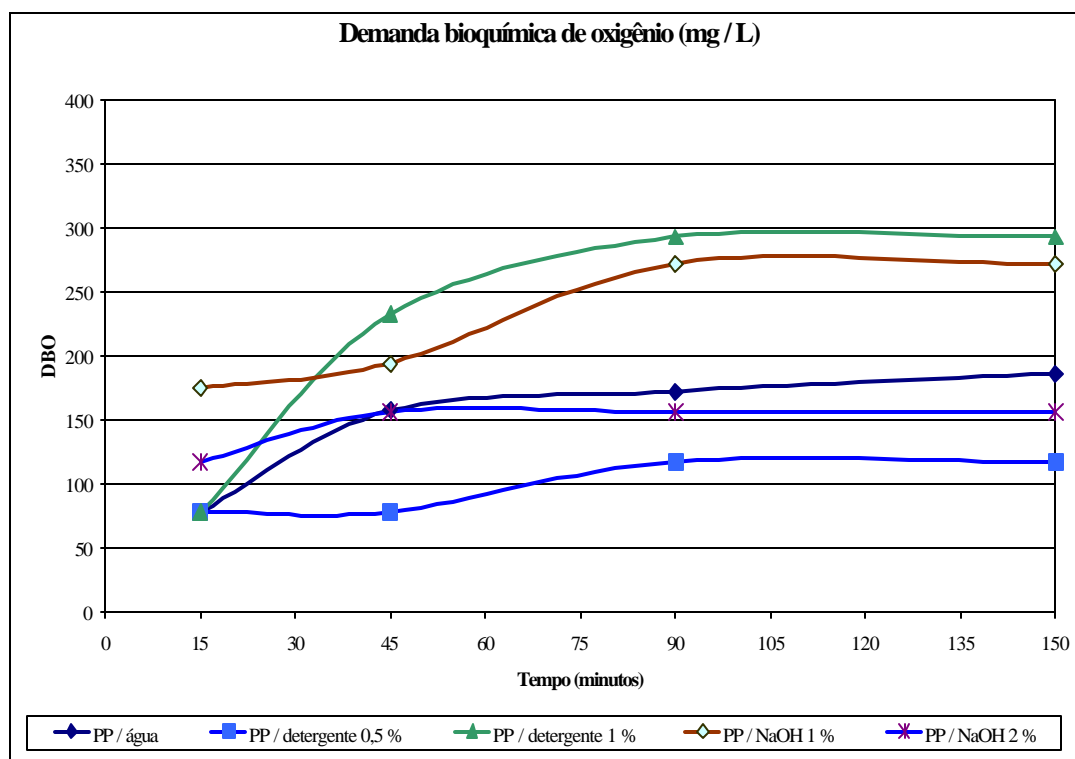


Figura 7. 15. DBO das lavagens de polipropileno.

Tabela 7. 13. Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos nas diversas lavagens.

Lavagem	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (1)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (2)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (3)	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> (mg O <sub>2</sub> /L) (4)
PP / água	77,8	157	172	186
PP / detergente 0,5 %	77,8	77,8	117	117
PP / detergente 1 %	77,2	232	293	293
PP / NaOH 1 %	175	194	272	272
PP / NaOH 2 %	117	156	156	156

(1) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 15 minutos de experimentação, (2) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 45 minutos de experimentação, (3) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 90 minutos de experimentação, (4) DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> aos 150 minutos de experimentação.

Tabela 7. 14. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com água.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	7	6,8	- 0,2
Cor	mg Pt/Co	10	300	+ 290
Turbidez	FTU	1,4	170	+ 168,6
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	16	717	+ 701
Fósforo total	mg / L	0,04	0,65	+ 0,61
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	3,42	12,8	+ 9,38
Sólidos totais	mg / L	775	7.743	+ 6.968
Sólidos totais fixos	mg / L	114	151	+ 37
Sólidos totais voláteis	mg / L	661	7.592	+ 6.931
Sólidos suspensos totais	mg / L	557	3	- 554
Sólidos suspensos fixos	mg / L	15	0	- 15
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	542	3	- 539
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	218	7.740	+ 7.522
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	99	151	+ 52
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	119	7.589	+ 7.470
Sólidos sedimentáveis	mL/L	N.D.	7,5	+ 7,5
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$6,77 \cdot 10^6$	$6,77 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$2,16 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^5$

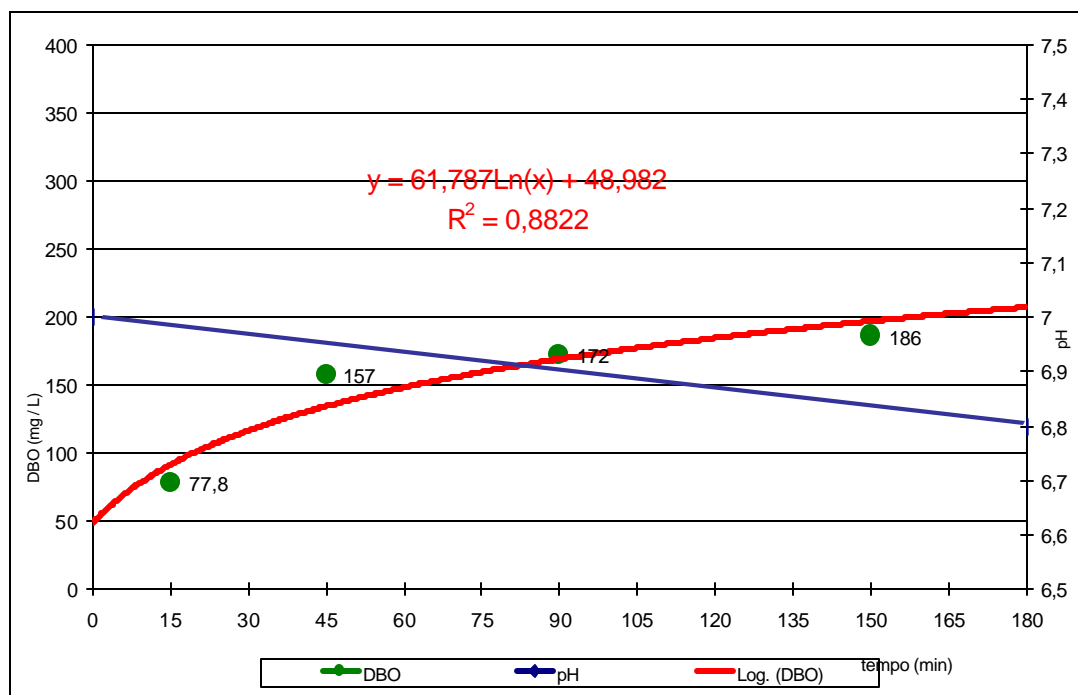


Figura 7. 16. DBO e pH da lavagem de polipropileno + água.

Tabela 7. 15. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com detergente a 0,5 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,9	7,4	+ 0,5
Cor	mg Pt/Co	20	500	+ 480
Turbidez	FTU	17	300	+ 283
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	1.361	4.030	+ 2.669
Fósforo total	mg / L	0,63	3,41	+ 2,78
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	6,5	33,6	+ 27,1
Sólidos totais	mg / L	1.008	5.875	+ 4.867
Sólidos totais fixos	mg / L	252	308	+ 56
Sólidos totais voláteis	mg / L	756	5.567	+ 4.811
Sólidos suspensos totais	mg / L	13	1.565	+ 1.552
Sólidos suspensos fixos	mg / L	2	55	+ 53
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	11	1.510	+ 1.499
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	995	4.314	+ 3.319
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	250	253	+ 3
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	745	4.061	+ 3.316
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	15	+ 15
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$4,352 \cdot 10^6$	$4,352 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$4,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$

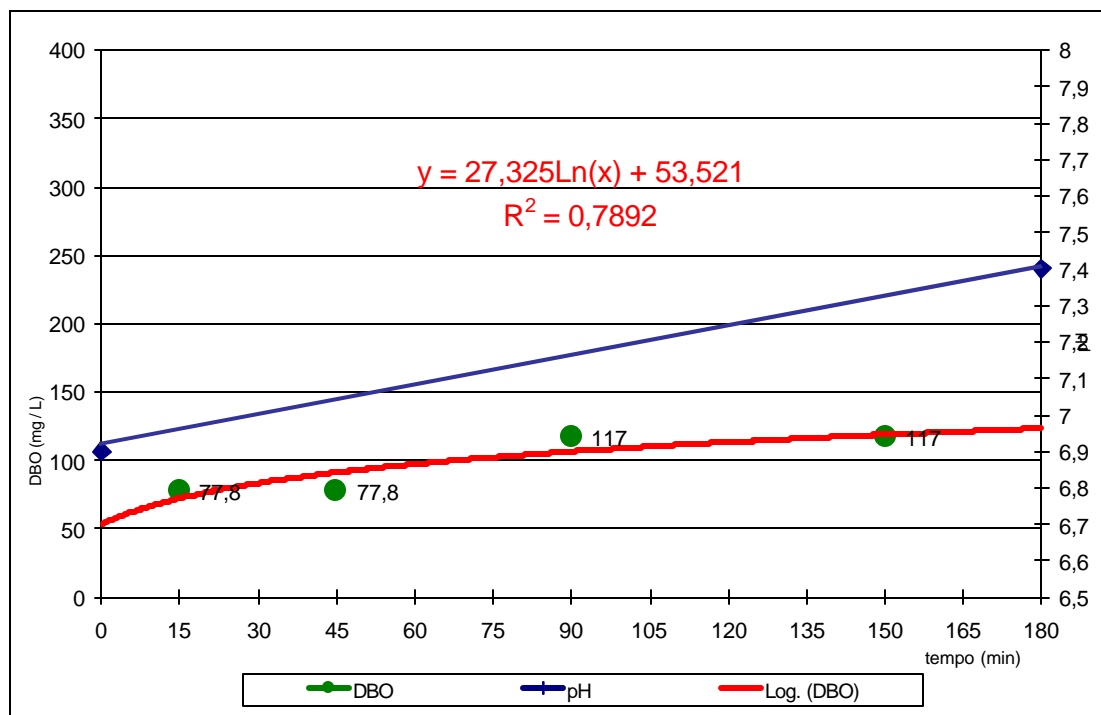


Figura 7. 17. DBO e pH da lavagem de polipropileno + detergente 0,5 %.

Tabela 7. 16. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com detergente a 1 %.

Variável	Unidade	0h	3 h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	7	7,2	+ 0,2
Cor	mg Pt/Co	10	150	+ 140
Turbidez	FTU	2,8	200	+ 197,2
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	2.691	5.846	+ 3.155
Fósforo total	mg / L	0,78	4,49	+ 3,71
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	11	39,5	+ 28,5
Sólidos totais	mg / L	17.113	4.807	- 12.306
Sólidos totais fixos	mg / L	400	504	+ 104
Sólidos totais voláteis	mg / L	16.713	4.303	- 12.410
Sólidos suspensos totais	mg / L	212	2.357	+ 2.145
Sólidos suspensos fixos	mg / L	188	50	- 138
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	24	2.307	+ 2.283
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	16.901	2.450	- 14.451
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	197	454	+ 257
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	16.704	1.996	- 14.708
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	18	+ 18
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	$4,26 \cdot 10^6$	$4,26 \cdot 10^6$
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	$8,45 \cdot 10^4$	$8,45 \cdot 10^4$

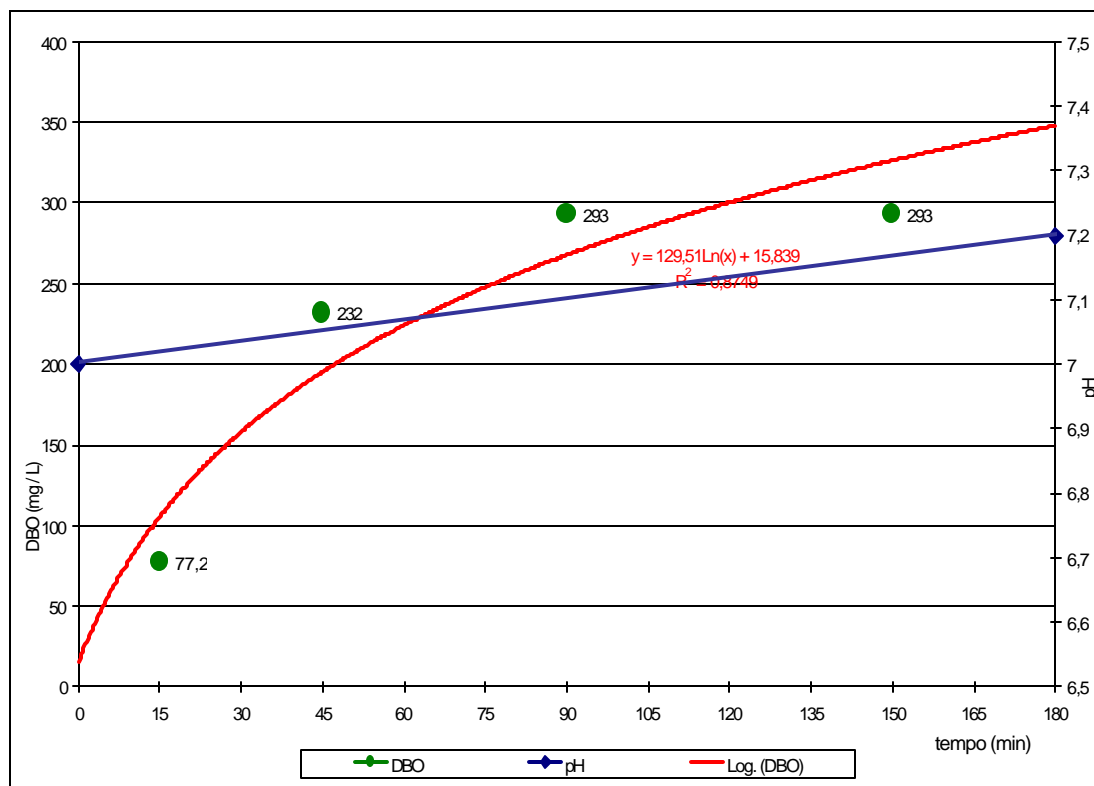


Figura 7. 18. DBO e pH da lavagem de polipropileno + detergente 1 %.

Tabela 7. 17. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com NaOH a 1 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	13,2	13,2	0
Cor	mg Pt/Co	15	500	+ 485
Turbidez	FTU	1,9	160	+ 158,1
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	12	1.286	+ 1.274
Fósforo total	mg / L	0,12	1,42	+ 1,30
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	5,77	17,3	+ 11,53
Sólidos totais	mg / L	10.623	12.254	+ 1.631
Sólidos totais fixos	mg / L	9.805	9.870	+ 65
Sólidos totais voláteis	mg / L	818	2.384	+ 1.566
Sólidos suspensos totais	mg / L	47	1.720	+ 1.673
Sólidos suspensos fixos	mg / L	37	380	+ 343
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	10	1.340	+ 1.330
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	10.576	10.534	- 42
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	9.768	9.190	- 578
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	808	1.344	+ 536
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	16	+ 16
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.

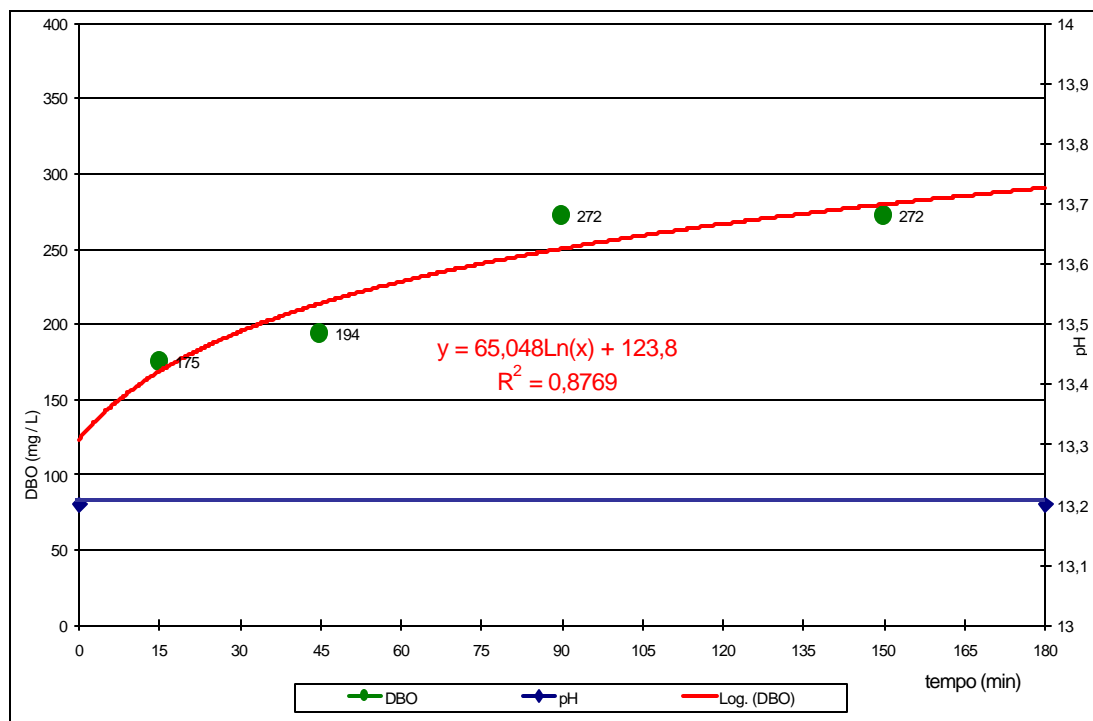


Figura 7. 19. DBO e pH da lavagem de polipropileno + NaOH 1 %.

Tabela 7. 18. Resultados da lavagem de polipropileno (PP) com NaOH a 2 %.

Variável	Unidade	0h	3h	Acréscimo absoluto na lavagem
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	13,1	13,2	+ 0,1
Cor	mg Pt/Co	15	550	+ 535
Turbidez	FTU	4,1	290	+ 285,9
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg / L	27	2.731	+ 2.704
Fósforo total	mg / L	0,14	2,52	+ 2,38
Nitrogênio total de Kjeldahl (NTK)	mg / L	6,23	17,3	+ 11,07
Sólidos totais	mg / L	20.338	30.737	+ 10.399
Sólidos totais fixos	mg / L	16.259	16.542	+ 283
Sólidos totais voláteis	mg / L	4.079	14.195	+ 10.116
Sólidos suspensos totais	mg / L	48	637	+ 589
Sólidos suspensos fixos	mg / L	31	195	+ 164
Sólidos suspensos voláteis	mg / L	17	442	+ 425
Sólidos dissolvidos totais	mg / L	20.290	30.100	+ 9.810
Sólidos dissolvidos fixos	mg / L	16.228	16.347	+ 119
Sólidos dissolvidos voláteis	mg / L	4.062	13.753	+ 9.691
Sólidos sedimentáveis	mL / L	N.D.	16	+ 16
Coliformes totais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes fecais	NMP / 100 mL	N.D.	N.D.	N.D.

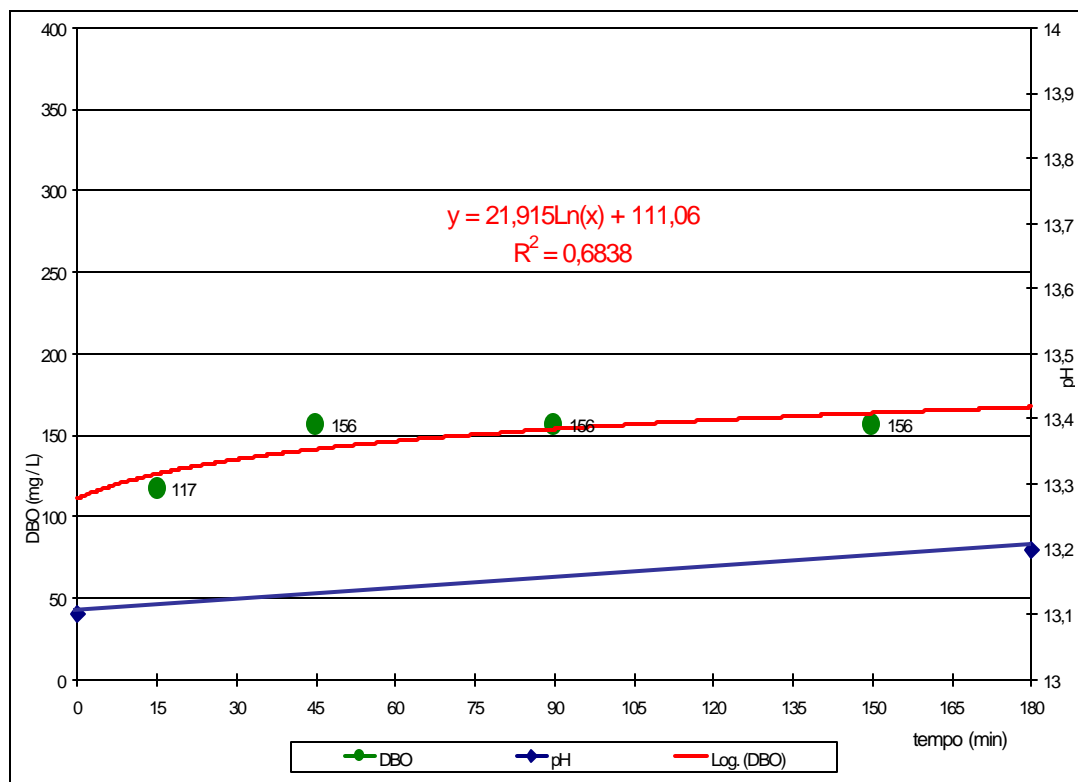


Figura 7. 20. DBO e pH da lavagem de polipropileno + NaOH 2 %.



Como em todas as lavagens percebe-se pela tendência da linha que a última análise de DBO executada (150 min) reproduz quase fielmente o valor de DBO máximo que seria obtido caso as lavagens fossem prolongadas, atribui-se as diferenças à grande variedade temporal e amostral do material bruto lavado, possuindo diversas impurezas retidas.

Observa-se as vantagens da lavagem com soda, por promover total desinfecção do efluente gerado, bem como uma elevada remoção de material orgânico carbonáceo (DBO) na parte inicial da lavagem.

## 7.2 Resultados da análise estatística

Através do software Excel 2000, fez-se três tentativas de regressão diferentes, conforme vê-se nas equações (1), (2) e (3).

$$\text{DBO} = a \cdot \ln(t) + b \quad (1)$$

$$\text{DBO} = a \cdot e^{bx} \quad (2)$$

$$\text{DBO} = a \cdot x^b \quad (3)$$

O modelo que se mostrou mais adequado nas lavagens foi o tipo:  $\text{DBO} = a \cdot \ln(t) + b$  (1), onde:

DBO = Demanda bioquímica de oxigênio, 5 dias, 20 °C.

t = tempo.

a, b = constantes diferentes para cada lavagem.

Nos valores de “a” e “b” obtidos e analisados em seqüência, “b” representa as concentrações de DBO ao início das lavagens (condições iniciais) e pode ser visualizado na Tabela 7. 19.

	Água	Detergente 0,5 %	Detergente 1 %	NaOH 1%	NaOH 2%
PET	-46,39	26,96	15,84	47,84	313,51
Tetra Pak	34,44	7,64	46,41	58,44	-102,11
PP	48,98	53,52	15,84	123,8	111,06

Tabela 7. 19. Valores de “b” obtidos nas lavagens (condições iniciais de DBO), em mg / L.

Os valores de “a” fornecem um indicativo do incremento nas concentrações de DBO nas lavagens. Quanto maior o valor de “a”, isto significa uma maior velocidade de remoção, ou seja, maior o incremento de DBO em menor intervalo de tempo. Os valores de “a” obtidos nas lavagens podem ser visualizados na Tabela 7. 20.

	Água	Detergente 0,5 %	Detergente 1 %	NaOH 1%	NaOH 2%
PET	71,55	67,31	129,51	44,78	20,7
Tetra Pak	118,36	77,99	33,09	9,44	154,32
PP	61,79	27,33	129,51	65,05	21,92

Tabela 7. 20. Valores de “a” obtidos nas lavagens.

Quanto aos sólidos, os gráficos contidos no Anexo D explicitam melhor os resultados obtidos.

## 8 Discussão dos resultados

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos na pesquisa.

### 8.1 Variabilidade do material bruto

Foi observada visualmente uma grande variabilidade nos resíduos. Primeiramente, há uma variação conforme o dia da semana em questão, sendo que nas segundas-feiras e terças-feiras as embalagens chegam à UTC com maior quantidade de sujeira que nos demais dias. Suspeita-se que este fato ocorra por as segundas e terças serem os dias que contém os resíduos produzidos no fim-de-semana, quando as pessoas ficam mais em casa e os produzem em maior quantidade. Há também o indicativo que as pessoas fazem uma certa “faxina” em geladeiras e armários, pois há muitos restos alimentares nestes dias, especialmente no caso do polipropileno, onde encontram-se várias embalagens de margarina com restos de alimentos congelados.

Há também a variabilidade devida ao acondicionamento dos materiais no saco de lixo. Enquanto há cidadãos que fazem uma espécie de separação de materiais dentro do saco (por exemplo, um saco apenas com garrafas PET, bem embalado, dentro de um saco maior, que contém todo o resíduo produzido no lar), há outros que colocam todos os materiais misturados em um saco comum, o que suja muito mais todos os componentes presentes.

Outra variabilidade observada é que há materiais que chegam à UTC mais compactados que outros, provavelmente pela sua posição no caminhão coletador, o que promove maior aderência de resíduos. Além do mais, percebe-se que os materiais que ingressam de coletas realizadas em dias de chuva chegam menos sujos, devido à lavagem parcial realizada pela chuva.

### 8.2 Sistema de lavagem

Ao se dar início a parte experimental, encontraram-se grandes dúvidas a ser esclarecidas. O principal problema encontrado foi a escassa bibliografia encontrada, levando a que muitas suposições fossem feitas e vários detalhes fossem descobertos através da técnica “tentativa e erro”, sem prévia desconfiança.

Eram desconhecidos os tipos de plásticos que mais se adaptariam ao equipamento de lavagem, o próprio equipamento, montado a partir de vários componentes isolados, quantidade a ser lavada, como seriam feitas as coletas de amostras, etc.

O sistema de lavagem mostrou-se bastante eficiente em todas as variantes, pois, nos três tipos de embalagens, com as cinco diferentes soluções de lavagem, houve uma remoção significativa dos resíduos a elas aderidos. Apesar disto, o sistema montado não é o mais indicado para realizar as lavagens, pois, sua geometria não é a mais adequada e o motor possui uma pequena potência, o que não permite uma alta relação material / solução de lavagem. Sistemas industriais de mesma função normalmente são horizontais, com eixo tipo parafuso-sem-fim e motor trifásico de 30 HP, sendo mais eficientes economicamente (menor consumo de água e produto final já granulado).

O sistema de lavagem com água produz, em média, menor remoção que as equivalentes com detergente e hidróxido de sódio.

Observa-se também que a lavagem com detergente possui o inconveniente, no equipamento utilizado neste experimento, de transbordar em todas as lavagens, conforme mostra a Figura 7.1. Tentou-se reduzir bastante o volume, chegando-se a trabalhar com 40 % do volume tradicional de lavagem (100 L). Apesar de se trabalhar com menos de 40 % da altura do equipamento, quando os primeiros pedaços batiam na hélice do equipamento, a espuma subia até transbordar, o que ocorria em quantidade razoável. Como o material sólido ficava bastante aderido à espuma, havia perda substancial de todas as variantes de sólidos.

A lavagem com hidróxido de sódio apresentou algumas vantagens, tais como: extrair o material mais rapidamente, ou seja, caso seja adotada lavagem com hidróxido de sódio, economizar-se-á em tempo e energia, pois a mesma é mais curta. Neste tipo de lavagem também é extraído mais material das embalagens.

Outras duas grandes vantagens do uso de hidróxido de sódio são: a total desinfecção do efluente final, já que todas as águas originárias das lavagens com este material não apresentaram um coliforme sequer nas análises e a remoção de parte do nitrogênio contido na água de lavagem, já que, com o pH elevado, a forma mais estável de nitrogênio é a amônia. Observou-se enorme quantidade de bolhas durante todos os processos de lavagem com hidróxido de sódio, especialmente no início das mesmas, o que, aliado ao forte odor característico de amônia sugerem a remoção parcial de nitrogênio do sistema.

As Figuras 8. 1 a 8. 4 mostram o PET sujo (bruto) e lavado.



Figura 8. 1. PET sujo (bruto).



Figura 8. 2. PET lavado com água.



Figura 8. 3. PET lavado com detergente.

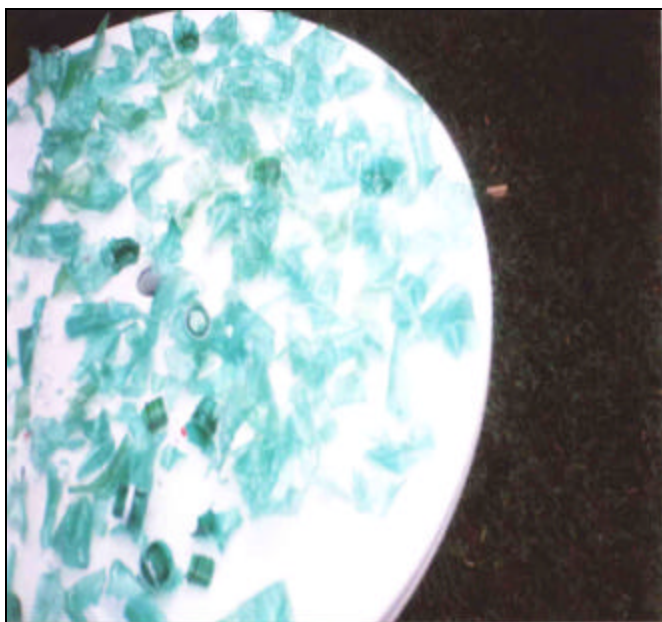


Figura 8. 4. PET lavado com hidróxido de sódio.

As Figuras 8. 5 a 8. 8 mostram as embalagens cartonadas sujas (brutas) e lavadas.



Figura 8. 5. Embalagens cartonadas sujas (brutas).



Figura 8. 6. Embalagens cartonadas lavadas com água.



Figura 8. 7. Embalagens cartonadas lavadas com detergente.



Figura 8. 8. Embalagens cartonadas lavadas com hidróxido de sódio.

As Figuras 8. 9 a 8. 12 mostram o polipropileno sujo (bruto) e lavado.



Figura 8. 9. Polipropileno sujo (bruto).





Figura 8. 10. Polipropileno lavado com água.



Figura 8. 11. Polipropileno lavado com detergente.



Figura 8. 12. Polipropileno lavado com hidróxido de sódio.

### 8.3 Processo de tratamento adequado ao efluente gerado

O sistema proposto para gerenciar os efluentes e resíduos sólidos produzidos nos processos de lavagem está explicitado na Figura 8. 13.

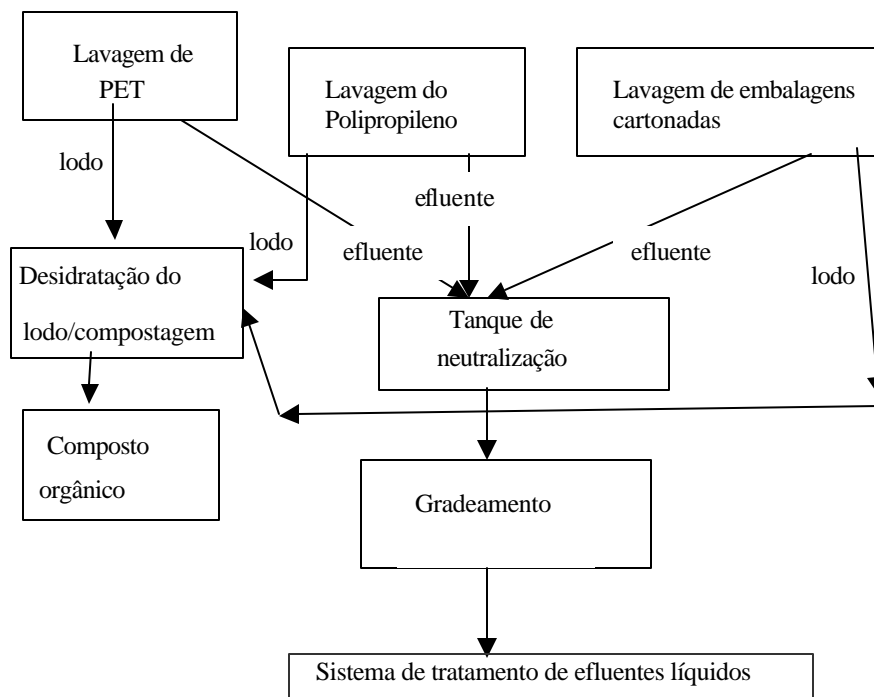


Figura 8. 13. Esquema de gerenciamento dos resíduos sólidos e efluentes líquidos produzidos nas lavagens.

Os efluentes líquidos dos três tanques de lavagem vão a um tanque comum, onde serão neutralizados. Após o tanque de neutralização, o efluente único passa por um pré-tratamento (gradeamento) e ingressa na etapa de tratamento propriamente dito.

Os lodos das lavagens são encaminhados à compostagem ou vermicompostagem, por não possuírem substâncias tóxicas. Quanto ao lodo da lavagem de embalagens cartonadas, poderia supor-se que o mesmo contém altas concentrações de alumínio livre, o que não é verdadeiro, como mostra a pesquisa realizada por Aboy (1999), onde é citado o fato de o alumínio presente em um lodo de características orgânicas ficar adsorvido nas moléculas orgânicas, ficando, portanto, indisponível ao meio externo ao lodo.

No sistema propriamente dito, são apresentadas três alternativas diferentes para o tratamento de efluentes, mostradas na Figura 8. 14. Para o projeto que segue, será considerada a reciclagem de todo o PET, PP e embalagens cartonadas coletadas em uma cidade com cem mil habitantes.

Considerando a quantidade coletada e a composição média do resíduo da cidade de Porto Alegre, estes 100.000 habitantes produzem 61.000 kg de resíduos diariamente. As produções diárias aproximadas dos materiais de interesse são as seguintes:

2.550 kg de PET,

700 kg de PP,

800 kg de embalagens cartonadas.

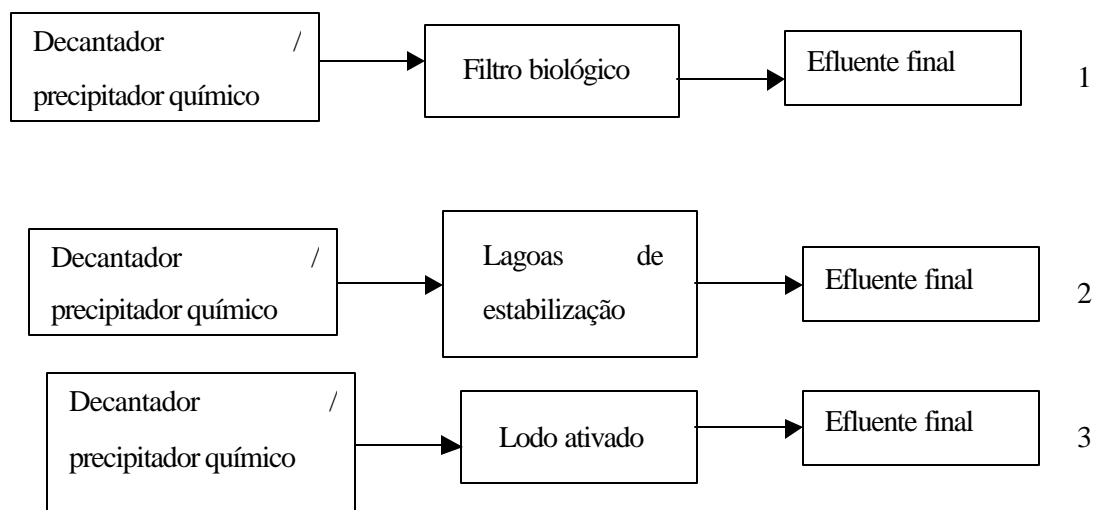


Figura 8. 14. Três alternativas diferentes para o tratamento do efluente oriundo dos sistemas de lavagem.

Nestas condições, considerando as proporções quantidade de material lavado / volume de lavagem utilizado neste experimento, o efluente gerado nas lavagens é mostrado na Tabela

8. 1. As colunas “Efluente PET”, “Efluente TP” e “Efluente PP” referem-se, respectivamente, às concentrações das variáveis na saída das linhas de lavagem de PET, Tetra Pak e PP. A coluna “Efluente final” mostra o valor das variáveis no efluente final, que é a composição das três lavagens.

Tabela 8. 1. Efluente gerado nas lavagens.

Variável (mg / L)	Efluente PET	Efluente TP	Efluente PP	Efluente final
Vazão (m <sup>3</sup> / dia)	507,8	131,2	92,3	731,3
DBO	367	272	272	338,0
DQO	1177	1664	1286	1278,1
P total.	1,9637	1,932	1,424	1,89
NTK	4,28	16,2	17,3	8,06
Cor	200	350	500	265
Turbidez	98	150	160	115
pH	13,2	12,3	13,2	13,1
ST	21474	34726	12254	22688
STF	19985	17929	9870	18339
STV	1489	16797	2384	4349
SST	512	708	1720	700
SSF	403	365	380	393
SSV	109	343	1340	306
SDT	20962	34018	10534	21988
SDF	19582	17564	9190	17908
SDV	1380	16454	1344	4080
Sólidos sedimentáveis (mL / L)	4	25	16	9,28
Alumínio	0	0	0	0,0

Segundo a norma aplicada pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental), com a vazão de 731,3 m<sup>3</sup> / dia a ser gerada na lavagem dos materiais, existem padrões de emissão a serem cumpridos. Os valores dos parâmetros do efluente que ingressa no tratamento (já neutralizado e gradeado) e que devem ser cumpridos para o lançamento final são visualizados na Tabela 8. 2.

Tabela 8. 2. Valores do efluente que ingressa no sistema de tratamento e padrões ambientais a serem cumpridos

Variável (mg / L)	Efluente	Padrão a ser cumprido	Condição do efluente ao ingressar no tratamento
Vazão (m <sup>3</sup> / dia)	731,3	Não há	Não aplicável.
DBO	338,0	80	Valor a ser reduzido.
DQO	1278,1	240	Valor a ser reduzido.
P total.	1,89	1	Valor a ser reduzido.
NTK	8,06	10	Atende ao padrão.
Cor	265	Critério subjetivo	Atende ao padrão.
Turbidez	115	Não há	Não aplicável.
pH	8	6 a 8,5	Não aplicável.
ST	22688	Não há	Não aplicável.
STF	18339	Não há	Não aplicável.
STV	4349	Não há	Não aplicável.
SST	700	80	Valor a ser reduzido.
SSF	393	Não há	Não aplicável.
SSV	306	Não há	Não aplicável.
SDT	21988	Não há	Não aplicável.
SDF	17908	Não há	Não aplicável.
SDV	4080	Não há	Não aplicável.
Sólidos sedimentáveis (mL / L)	9,28	1	Valor a ser reduzido.
Alumínio	0	10	Atende ao padrão.
Coliformes fecais (NMP / 100 mL)	0	3000	Atende ao padrão.

De acordo com a Tabela 4. 13, seguindo as remoções padrão dos parâmetros, o efluente sairá do sistema floculador / decantador praticamente sem sólidos sedimentáveis, com DBO de aproximadamente 186 mg / L, DQO de 703 mg / L e 175 mg / L de sólidos suspensos. O fósforo será precipitado quimicamente no sistema decantador / precipitador químico e deverá sair do mesmo com valores muito baixos.

Para o tratamento complementar, são sugeridos três processos diferentes: filtro biológico de baixa capacidade, lodo ativado convencional e sistema de lagoas de estabilização: anaeróbia, aerada e mista.

Caso se possua espaço suficiente, o sistema de lagoas é o mais indicado, pois, devido a seu alto tempo de detenção, depura bastante o efluente, que sairia da última lagoa com as seguintes concentrações aproximadas: 19 mg / L de DBO, 71 mg / L de DQO e praticamente nada de sólidos suspensos, que devem ser eliminados gradativamente com o longo tempo que o efluente permanece nas lagoas.

Se o espaço disponível não é muito amplo, é sugerido o sistema por filtração biológica, que deve depurar e colocar o efluente dentro dos padrões aceitáveis para seu

lançamento no corpo receptor, sem a necessidade de gastos com energia elétrica. As concentrações aproximadas do efluente final neste sistema devem ser: 28 mg / L de DBO, 106 mg / L de DQO e 18 mg / L de sólidos suspensos.

Apesar de o sistema já tratar o efluente, deixando-o dentro dos padrões aceitáveis para seu lançamento, recomenda-se a emissão sobre um leito de brita construído, para, daí sim, seguir até o corpo receptor final.

Todo o lodo produzido nas etapas citadas será encaminhado para compostagem.

## 9 Conclusões

Do presente trabalho, de lavagem de embalagens plásticas com vistas a sua reciclagem, conclui-se que:

- ◆ o equipamento utilizado, apesar de cumprir bem a tarefa e produzir um grau de limpeza elevado, não é o mais adequado para executar este trabalho. Os sistemas industriais são mais viáveis técnica e economicamente, consistindo em máquinas cilíndricas horizontais, com parafuso-sem-fim e potência de 30 HP, conforme informações de fabricantes destes equipamentos;
- ◆ todas as lavagens se mostraram eficientes para a limpeza desejada, tornando o material plenamente apto para seguir à etapa de reciclagem (Figuras 8.1 a 8.12). Os resultados da lavagem com detergente ficaram um tanto prejudicadas por o mesmo transbordar em todas as lavagens feitas com este material (Figura 7.1). A lavagem com hidróxido de sódio é a melhor por limpar o material mais rapidamente, volatilizar parte do nitrogênio presente no efluente e por promover desinfecção total do mesmo. Uma desvantagem é o alto pH, a ser neutralizado posteriormente. O tempo de lavagem mostrou ser mais importante que a solução utilizada na mesma;
- ◆ suspeitava-se, antes de realizar a parte prática, que a maior parte dos resíduos aderidos às embalagens seria de restos de alimentos na parte interna das embalagens. Após, verificou-se que praticamente não há resíduos internos às embalagens (exceto no caso do polipropileno, em algumas embalagens). A maior parte do material removido pelas lavagens está na parte externa das embalagens, não possuindo, geralmente, relação com o conteúdo das mesmas;
- ◆ a sujeira aderida às embalagens também é bastante variável. Há dias em que a maior parte do material é orgânico e em outros bastante inorgânico. Em certas lavagens os sólidos dissolvidos sofrem um incremento maior que os sólidos suspensos, enquanto, em outros, ocorre a situação inversa;
- ◆ os baixos teores de matéria orgânica sugerem um poder impactante reduzido para o lançamento do efluente final, apesar de o mesmo necessitar de depuramento antes da emissão;
- ◆ o polietileno tereftalato (PET) reciclado não perde suas propriedades de resistência, notórias quando se trata de PET virgem, ou seja, o material pode ser reciclado e, em sua reutilização, manterá as mesmas propriedades e vantagens (Pisano et al., 2000) ;

- ◆ o alumínio, possível precursor do mal de Alzheimer, somente esteve disponível no efluente da lavagem de embalagens cartonadas com água, mas em pequenas concentrações. Nas demais lavagens de embalagens cartonadas, o efluente não mostrou alumínio disponível, o qual provavelmente estava complexado (Figura 4.21);
- ◆ quanto à análise dos demais metais (cromo, chumbo, níquel e cádmio), em nenhuma lavagem de embalagens cartonadas houve presença de qualquer um destes metais em quantidade acima do limite de detecção;
- ◆ a análise de regressão (Tabelas 7.19 e 7.20) mostrou que, na grande maioria das lavagens, o valor de  $r^2$  foi bastante próximo a 1, o que significa o comportamento fortemente logarítmico das curvas de DBO X tempo, o que significa que, na medida do transcurso do tempo, a tendência da curva é de ficar paralela ao eixo das abcissas, não havendo mais vantagem em prosseguir com a lavagem.



## 10 Recomendações

Como recomendações, sugere-se:

- ◆ fazer repetições nas lavagens e verificar a significância dos resultados;
- ◆ utilizar outros agentes de limpeza;
- ◆ quantificar outras variáveis, como, por exemplo, nitrato, dureza, óleos e graxas, surfactantes, além de uma análise bacteriológica mais completa, pois a quantidade de coliformes encontrada nos resíduos foi bastante elevada;
- ◆ fazer experimentos levando em conta o dia da semana como variável, para verificar possíveis diferenças;
- ◆ usar como agente de limpeza soluções mistas de detergente e hidróxido de sódio, variando proporções e concentrações;
- ◆ utilizar um sistema de agitação mais agressivo e verificar quanto tempo se economiza nas lavagens;
- ◆ utilizar um recipiente de agitação transparente (por exemplo, acrílico), verificando visualmente o que ocorre durante o processo de lavagem;
- ◆ utilizando tempos totais de lavagem menores, coletar amostras em intervalos de tempo mais curtos, quantificando todos os parâmetros e observando sua evolução;
- ◆ fazer o mesmo tipo de lavagem em outros materiais (outros plásticos, papel, alumínio, etc.) e avaliar a qualidade do material lavado, bem como as características físico-químicas do efluente;
- ◆ otimizar o tempo de lavagem, para diminuir os gastos do processo;
- ◆ otimizar o consumo de água nas lavagens, com um equipamento de geometria mais adequada.

## 11 Referências bibliográficas

- ABOY, N. 1999. Secagem natural e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AGUIAR, A. ; PHILIPPI JR., A. 1998, Reciclagem de plásticos de resíduos sólidos domésticos: problemas e soluções. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP. 19 p.
- ALLIANCE FOR BEVERAGE CARTONS AND THE ENVIRONMENT. 2001a. Benefits of modern waste-to-energy methods. Brussels. Disponível em: <[http://www.ace.be/the\\_benefits\\_of\\_modern\\_waste-to-energy\\_methods.htm](http://www.ace.be/the_benefits_of_modern_waste-to-energy_methods.htm)>. Acesso em: 05 nov. 2001.
- ALLIANCE FOR BEVERAGE CARTONS AND THE ENVIRONMENT 2001b. Energy recovery. Brussels. Disponível em: <[http://www.ace.be/energy\\_recovery.htm](http://www.ace.be/energy_recovery.htm)>. Acesso em: 05 nov. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. 1999. Radiografia da indústria de reciclagem de plástico : Rio Grande do Sul – São Paulo. Disponível em <<http://www.abiquim.org.br/plastivida>>. Acesso em: 12 jan. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS DE PET. 2001. Reciclagem. São Paulo. Disponível em: <<http://www.abepet.com.br/reciclagem.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS IN EUROPE. 2001. Plastics and the environment. Disponível em: <<http://www.apme.org/environment/htm/04.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- BARTONE, . 2001. Gestión recuperación y reciclaje de los desechos municipales: estrategia para la autosuficiencia en los países en desarrollo. Washington: World Bank 11 p.

- BIDONE, F.R.A. ; POVINELLI, J. 1999. Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: Escola de Engenharia se São Carlos da USP. p. 1-14.
- BORGES, A. 1999. PET transforma-se em uma mina de negócios. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/clipping08.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- CALDERONI, S. 1998. Os bilhões perdidos no lixo. 2. ed. São Paulo: Humanitas. p. 31-52, 112, 131-138.
- CAMPINAS. Prefeitura Municipal. 1996. Campinas : a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Campinas. p. 21-47, 189-207.
- CARDAMONE, U. 2002. Propriedades. Disponível em: <<http://www.geocities.com/tehasconcreto/propr.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2002.
- CARVALHO, C.A.P. 2001. Lixo. Disponível em: <<http://lixomil.vila.bol.com.br/lixo.htm>>. Acesso em 27 set. 2001.
- CASTRO, M.C.A.A. 1996. Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 1997. Ficha técnica 9. CEMPRE. São Paulo.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2001a. Brasil dá primeiro passo na implantação de política tributária diferenciada para reciclados. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/cempre\\_destaca.html](http://www.cempre.org.br/cempre_destaca.html)>. Acesso em: 27 set. 2001.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2001b. CEMPRE destaca. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/destaca.htm>>. Acesso em: 27 set. 2001.

- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2001c. CEMPRE destaca. Disponível em: <<http://www.cenpre.org.br/destaca2.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2001d. Pesquisa Ciclosoft 1999. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/pes\\_ciclosoft.html](http://www.cempre.org.br/pes_ciclosoft.html)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2001e. PET – o mercado para reciclagem. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/frames/fr\\_fichastecnicas.html](http://www.cempre.org.br/frames/fr_fichastecnicas.html)>. Acesso em 28 set. 2001.
- CONSONI, A.J.; BENVENUTO, C.; PARZANESE, G.A.C.; SILVA, I.C.; FILHO, J.L.A.; CUNHA, M.A. 1997. Disposição final do lixo. In: IPT / CEMPRE. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. p. 75-124.
- CORPUS SANEAMENTO E OBRAS LTDA. 1997a. A reciclagem dos resíduos. Disponível em: <[http://www.corpus.com.br/artigos/reciclagem\\_residuos.htm](http://www.corpus.com.br/artigos/reciclagem_residuos.htm)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- CORPUS SANEAMENTO E OBRAS LTDA. 1997b. Será possível resgatar os bilhões contidos no lixo ?. Disponível em: <[http://www.corpus.com.br/artigos/bilhoes\\_no\\_lixo.htm](http://www.corpus.com.br/artigos/bilhoes_no_lixo.htm)>. Acesso em 28 set. 2001.
- CORSEUIL, H. X. 2001a. Caixas de areia e decantação. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page7.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.
- CORSEUIL, H. X. 2001b. Digestão e secagem do lodo. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page9.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.
- CORSEUIL, H. X. 2001c. Filtração biológica – desinfecção. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page13.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.

- CORSEUIL, H. X. 2001d. Gradeamento e remoção de gorduras. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page5.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.
- CORSEUIL, H. X. 2001e. Tratamento biológico – processo de lodos ativados. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page11.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.
- CORSEUIL, H. X. 2001f. Tratamentos terciários. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ens.ufsc.br/corseuil/antigo/tratesgoto/page15.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.
- D’ALESSIO, S.P. s.d. Aumenta a reciclagem de embalagens “longa vida”. Revista Celulose & Papel, nº 62. p. 27-29.
- EMPRESA busca estimular a reciclagem de lixo. 2001. O Estado de São Paulo Online, São Paulo, 29 set. 2001. Disponível em: <<http://www.estado.estadao.com.br/suplementos/seub-sud/2001/02/13/seub-sud011.html>>. Acesso em: 29 set. 2001.
- HENS, T. 2001. Lixo pode gerar energia elétrica. Disponível em: <<http://200.246.213.21/rs/jornal/10956.htm>>. Acesso em: 29 maio 2001.
- HOMMA, A.K.O. 1997. Criando um preço positivo para o lixo urbano: a reciclagem e a coleta informal. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 2., 1997, São Paulo. A Economia ecológica e os instrumentos e políticas para uma sociedade sustentável: anais São Paulo: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. P. 22-34.
- JARAMILLO VILLEGAS, G.A. 1995. Acerca del reciclaje o la economía de los desechos. Itaguí: Cooperativa Recuperar. 14 p. Trabalho apresentado ao Seminário Taller sobre minimización de residuos, 1995, Bogotá – Colômbia.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. 1995. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: ABES. p. 52, 55.

- KIE MÁQUINAS E PLÁSTICOS LTDA. 2001. KIE máquinas e equipamentos. São Paulo. Disponível em: <<http://www.kie.com.br/pe-pp.htm>>. Acesso em: 27 set. 2001.
- LIXO municipal: manual de gerenciamento integrado. 1995. São Paulo: IPT. p. 26-32, 129-140, 185-190, 219-224.
- LOGOPLASTE 2001. Produtos: história dos plásticos. Cascais, Portugal. Disponível em: <<http://www.logoplaste.pt/produtos/hplasticos.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- MADI, L.; MÜLLER, M.; WALLIS, G. 1998. Brasil pack trends 2005 – tendências da indústria brasileira de embalagens na virada do milênio. Campinas: CETEA / ITAL.
- METCALF & EDDY 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3. Ed. New York. McGraw – Hill. p. 50-101.
- METROPLAN. 1998. Plano diretor de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Porto Alegre. Metroplan: Porto Alegre.
- MILLER, C. 2000. O paradoxo fatal da reciclagem Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.resol.com.br/esp/TextTrabIntegral\\_esp.asp?id=900049446](http://www.resol.com.br/esp/TextTrabIntegral_esp.asp?id=900049446)>. Acesso em: 27 set. 2001.
- MILLER, M. 2001. A reciclagem do plástico Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/mariana.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- MOTTIN, V. 2001. Reciclagem de PET avança no país e gera premiação São Paulo: Agência Estado. Disponível em: <<http://www.aesetorial.com.br/quimica/noticias/2001/nov/27/140.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2001.
- NATIONAL ASSOCIATION FOR PET CONTAINER RESOURCES 2001. Fun facts about PET. Charlotte, EUA. Disponível em: <<http://www.napcor.com/funfacts.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.

- NEVES, F. 2001. Tetra Pak: caderno de ecoeficiência. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/cases/tetrapak/>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- PANKOW, J.F. 1991. Aquatic chemistry concepts. Chelsea: Lewis, p. 229-239, 510-519.
- PET CONTAINER RECYCLING EUROPE 2001a. PET recycling – methods of collection. Haarlem. Disponível em: <<http://www.petcore.com/recycle/collect.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- PET CONTAINER RECYCLING EUROPE 2001b. PETCORE – PET recycling – recycled products. Disponível em: <<http://www.petcore.com/recycle/apps.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- PET se torna vilão ambiental do Rio. 2001c. Jornal do Brasil Online, Rio de Janeiro, 24 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.jb.com.br/jb/papel/cidade/2001/06/23/jorcid20010623007.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- PISANO, C.A.; CARDAMONE, U.; CONDE, P.D. 2000. Estudio comparado de PET reciclado. Centro Tecnológico de Plásticos y Elastómeros. 12 p. Trabalho apresentado ao Seminário Reciclado del PET.
- PLASTIVIDA. 1997. Plásticos em foco. São Paulo. Fevereiro, 1997.
- POLILIX. 2001. Curiosidades. Disponível em: <<http://www.polilix.com.br/curiosidades.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Limpeza Urbana. 2001a. Resultados da coleta seletiva em Porto Alegre no ano de 2000. Porto Alegre.
- PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Limpeza Urbana. 2001b. Resultados da quantidade da coleta domiciliar em Porto Alegre em junho de 2001. Porto Alegre.

- PREÇO do material reciclável. 2001. CEMPRE informa, n. 58, jul / ago. Disponível em:  
<[http://www.cempre.org.br/informa/julago\\_2001/mercado.htm](http://www.cempre.org.br/informa/julago_2001/mercado.htm)>. Acesso em: 30 out. 2001.
- RECICLAGEM de lixo pode render muito mais. 2001a. Zero Hora, Porto Alegre, 09 set. 2001, p. 32-33.
- RECICLAGEM será solução. 2001b. Jornal do Brasil Online. Rio de Janeiro, 23 jun. 2001. Disponível em:  
<<http://jbonline.terra.com.br/jb/papel/cidade/2001/06/23/jorcid20010623008.html>>. Acesso em: 09 nov. 2001.
- RECICLAVEIS.COM.BR. 2001a. Mercado ... classificação dos plásticos. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/mercado/clasplas.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RECICLAVEIS.COM.BR 2001b. Mercado ... identificação prática dos plásticos. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/mercado/idenplast.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RECICLAVEIS.COM.BR 2001c. Mercado ... os dados, processos, classificação .... Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/mercado/procepet.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RECICLAVEIS.COM.BR 2001d. Reciclagem de PET no Brasil. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/repet.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- REIS, M.F.; REICHERT, G.A.; BRITTO, M.J.P.S. 2000. Segregação na origem: uma solução para a qualificação do composto produzido em unidade de triagem e compostagem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABES. 7 p. Trabalho apresentado no 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- REMÉDIO, M.V.P. 1999. Estudo da viabilidade de reciclagem de plásticos em forma de filme provenientes do rejeito de uma usina de reciclagem de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Materiais, São Carlos.



- RESOL ENGENHARIA LTDA. 2001a. Australianos são beneficiados com a reciclagem Rio de Janeiro. Disponível em:  
<[http://www.resol.com.br/esp/curios\\_esp\\_2.asp?id=993562923](http://www.resol.com.br/esp/curios_esp_2.asp?id=993562923)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. 2001b. El plástico, un producto contaminante o ecológico. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.resol.com.br/port/curios\\_port\\_2.asp?id=99](http://www.resol.com.br/port/curios_port_2.asp?id=99)>. Acesso em: 27 set. 2001.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. 2001c. Empresa em Ohio, nos Estados Unidos, anuncia a fabricação de garrafas a partir de plástico cem por cento reciclado. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.resol.com.br/esp/curios\\_esp\\_2.asp?id=-164134425](http://www.resol.com.br/esp/curios_esp_2.asp?id=-164134425)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. 1997d. Informe infra-estrutura – Área de projetos de infra-estrutura julho / 97, nº 12 – Resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/textos/BNDES-residuos%20solidos.htm>>. Acesso em: 27 set. 2001.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. 2001e. Reciclaje de botellas de plástico Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.resol.com.br/esp/curios\\_esp\\_2.asp?id=121521828](http://www.resol.com.br/esp/curios_esp_2.asp?id=121521828)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RIO DO SUL. Prefeitura Municipal 2001. Manual de materiais recicláveis PMRS. Disponível em: <[http://www.riodosul.sc.gov.br/m\\_ambiente/mmreciclavel.html](http://www.riodosul.sc.gov.br/m_ambiente/mmreciclavel.html)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente. 1989. Norma técnica SSMA nº 01 / 89: referente a critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos. Porto Alegre. 5p.
- ROLIM, A.M. 2000. A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- SANEAMENTO DE GOIÁS S/A. 2001. Tratamento de esgoto. Goiânia. Disponível em:  
<<http://www.saneago.com.br/wwwsan/Biblioteca/Html/egtrat.html>>. Acesso em: 29 nov. 2001.
- SANTOS, J.M.R. ; MARTINS, M.T. 1995. Coleta seletiva de lixo: uma alternativa ecológica no manejo integrado dos resíduos sólidos urbanos. São Paulo: Escola Politécnica da USP. 21 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PHD, 18).
- SAWYER, C.N. ; McCARTY, P.L. 1987. Chemistry for Environmental Engineering. New York: McGraw – Hill. p. 205-211.
- SCHARF, R. 1999. Programa vai incentivar a reciclagem de lixo. Disponível em:  
<<http://www.unilivre.org.br/centro/experiencias/experiencias/257.html>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- TETRA PAK LTDA. 2000. Caderno de artigos: os segredos da reciclagem. São Paulo. p. 28.
- TETRA PAK LTDA. 2001a. Tetra Pak: meio ambiente. São Paulo. Disponível em:  
<<http://www.tetrapak.com.br/html/meio/reciclagem.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- TETRA PAK LTDA. 2001b. Tetra Pak – meio ambiente – galeria de fotos. São Paulo. Disponível em: <[http://www.tetrapak.com.br/html/meio/galeria\\_amb.htm](http://www.tetrapak.com.br/html/meio/galeria_amb.htm)>. Acesso em: 28 set. 2001.
- UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE 2001. Pesquisa de resíduos. Disponível em:  
<<http://www.uff.br/ceg/proam/pesquisa.htm>>. Acesso em: 28 set. 2001.
- ZORTEA, R.B. 2000. Análise das tecnologias de reciclagem para as embalagens Tetra Pak. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 21., 2000, São Paulo. [Anais]. São Paulo: USP. Núcleo de Política e Gestão Tecnológica.

# ANEXO A

At.: Sr. Adriano	<b>Registro da Qualidade</b> <b>SODA CÁUSTICA ESCAMAS CM</b> <b>Ficha de Análise</b>	Sistema da Qualidade FA Nº 112.1 Rev.00    Pag. 1/1
---------------------	--	---

Procedência : Carbocloro S/A Nome Comercial : Soda Escamas CM Data de Fabricação : 05/01/2001 Validade : 3 ANOS	Observações: Análise conforme laudo do fornecedor Nº 278971  Conferido:  Engº Jorge P. Abumanssur  Date : 15/01/2001
--	--

DETERMINAÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO
Alcalinidade Total	m/m NaOH	95,5 %
Carbonatos	m/m Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	< 2,2 %
Cloretos	m/m NaCl	< 2,2 %
Ferro	ppm	< 10,0 ppm

BOLETIM INFORMATIVO**HILDA DETERGENTE****DESCRIÇÃO**

Detergente, desengordurante, emulsionante e umectante. Poderoso limpador, formulado à base de tensoativos, atuando emulsionantes, umectantes e dispersantes que aumentam sua eficiência na limpeza, fazendo com que a sujeira retirada fique na água e não remonte. Contém reguladores de espuma e suavizantes para a pele. Alcalinidade balanceada. Tem alta concentração e solubilidade. Alto poder de detergência e umectação. Pode ser usado em água fria ou quente. Limpa e aromatiza. **Composição:** tensoativo, emulsionante, dispersante e sobre engordurante.

**APLICAÇÃO**

As diluições variam conforme a concentração (matéria ativa) do produto e a sujeira a ser removida. Indicado na indústria alimentícia, frigoríficos, abatedouros de aves, hotéis, restaurantes e congêneres.

**Concentrações:** 1) **Especial:** altamente concentrado, permite diluições na proporção de 1:200 partes de água. 2) **Extra:** concentrado, permite diluições na proporção de 1:100 partes de água.

Também para uso doméstico (louças, talheres etc). Nos aromas limão ou maçã. Na limpeza geral (banheiros, louças sanitárias, pisos, azulejos etc). Limpa e aromatiza. Nos aromas eucalipto e pinho.

Laboratórios: na limpeza de vidrarias, buretas, pipetas e tubos de ensaio.

**PRECAUÇÕES**

Manter o produto fora do alcance de crianças e animais.

O vasilhame vazio não deve ser reaproveitado.

**CARACTERÍSTICAS**

Cor .....	Característico do aroma
Estado Físico .....	Líquido
Odor .....	Neutro, limão e maçã
pH .....	7.0

## ANEXO B

## B. Qualidade do polietileno tereftalato reciclado

Pisano et al. (2000) desenvolveram um experimento para avaliar a qualidade do polietileno tereftalato (PET) reciclado, frente ao material virgem. Três materiais foram utilizados no estudo: o PET virgem Eastapack 9921W, PET 100 % reciclado de preforma (resíduo pós-industrial) e PET 100 % reciclado de garrafas (resíduo pós-consumo, “flake”).

Julgou-se conveniente discorrer brevemente sobre as propriedades ensaiadas naquele experimento; estas segundo definições de Cardamone (2002).

### B.1. Viscosidade intrínseca

A viscosidade expressa a resistência de um fluido ao escoamento. Nos polímeros ela aumenta com o peso molecular. Sua determinação em uma solução diluída de um polímero permite obter informações sobre o tamanho molecular.

### B.2. Resistência à tração

A resistência à tração é definida pela máxima força de tração nominal amparada pela proveta durante o ensaio de tração. Quando a força máxima ocorre no ponto de fluência, esta será designada como tensão de fluência. Quando ela ocorre na ruptura, esta será designada tensão de ruptura.

### B.3. Ponto de fluência

O ponto de fluência é o primeiro ponto da curva tensão – deformação na qual o incremento da deformação ocorre sem incremento da tensão.

### B.4. Resistência ao impacto

A resistência ao impacto é a energia de impacto absorvida ao quebrar-se um corpo intocado, referida à área da seção transversal original do corpo.

#### B.5. Resistência à flexão

Resistência à flexão é a tensão nominal da superfície externa do corpo testado na metade de seu comprimento.

#### B.6. Módulo de tração

O módulo de tração tem como sinônimo o módulo de elasticidade, que é a razão de tensão nominal correspondente à deformação abaixo do limite de proporcionalidade do material. Expressa-se em unidades de força por unidade de área, usualmente mega Pascal (Mpa). Também é conhecido como módulo de Young.

#### B.7. Condições de teste

O ensaio foi executado com equipamentos calibrados e certificados de fábrica, sob condições de atmosfera controlada, temperatura de  $23 \pm 2$  °C e umidade de  $50 \pm 5$  %. Os resultados da pesquisa serão explicitados nos parágrafos seguintes, ilustrados pelas Figuras B.1 a B.4.



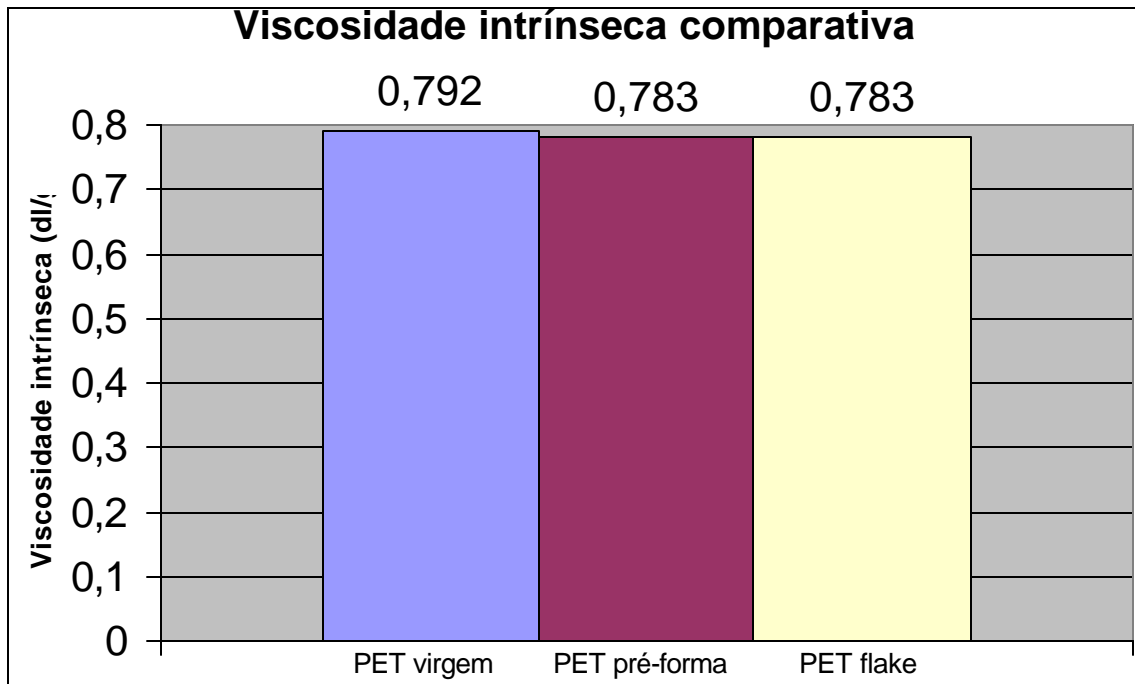


Figura B.1. Viscosidade intrínseca do PET virgem e do PET reciclado. Fonte: Pisano et al. (2000).

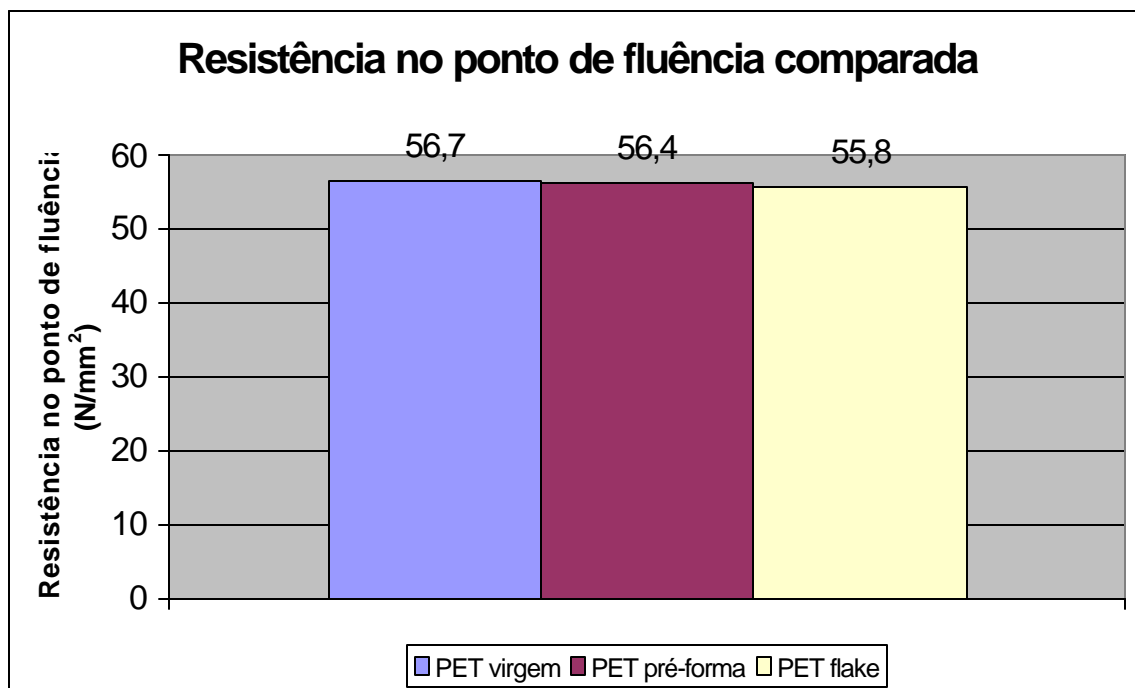


Figura B.2. Resistência à tração comparada. Fonte: Pisano et al. (2000).

O teste de resistência no ponto de fluência foi feito a uma velocidade de 50 mm / min e com proveta tipo M-I, seguindo a norma ASTM D638 M.

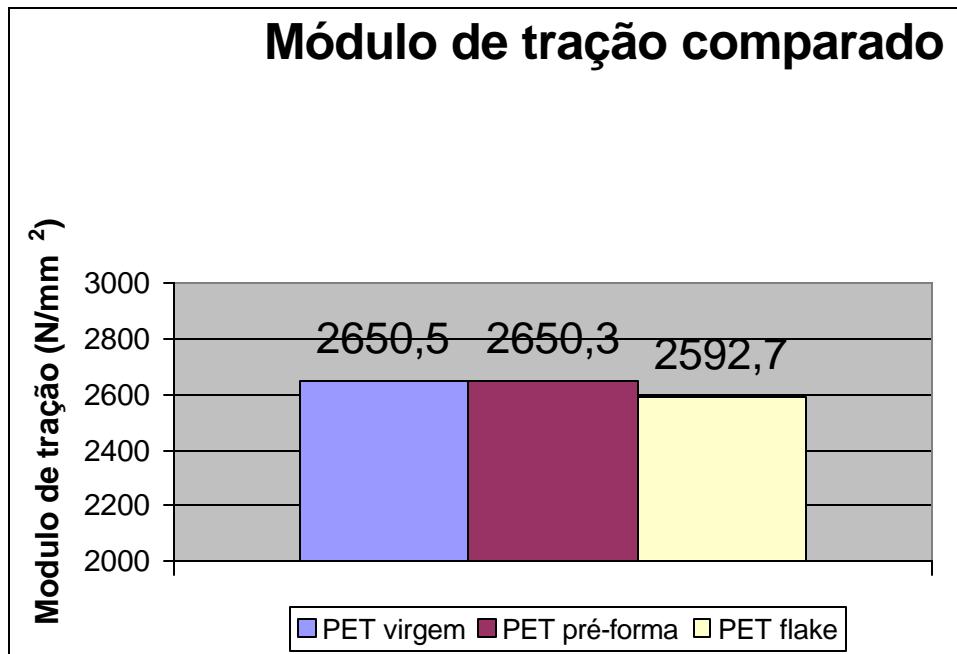


Figura B.3. Módulo de tração comparado. Fonte: Pisano et al. (2000).

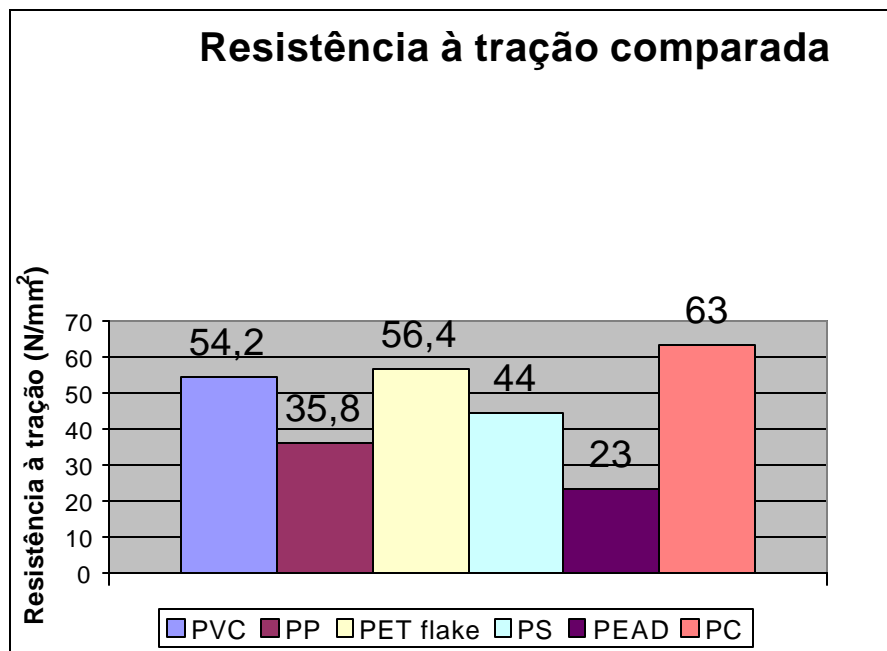


Figura B.4. Resistência à tração de alguns plásticos. Fonte: Pisano et al. (2000).

No teste cujos resultados estão listados na Figura B.4, o PET ensaiado é 100 % reciclado, enquanto os demais materiais utilizados são virgens.

Para o teste de resistência ao impacto foi utilizado o ensaio de impacto Charpy, sem entalhe, seguindo a norma ISO 179. Os resultados mostraram que nem o PET virgem nem o pré-forma ou flake romperam no ensaio. Os valores numéricos obtidos no referido ensaio são mostrados na Tabela .

Tabela B.1. Resistência ao impacto de diferentes materiais.

<b>Material</b>	<b>Resistência ao impacto (kJ / m<sup>2</sup>)</b>
<b>Polietileno tereftalato (PET) flake 100 % reciclado</b>	Não rompe.
<b>Policloreto de vinila (PVC)</b>	35,48
<b>Polipropileno (PP)</b>	Não rompe.
<b>Poliestireno (PS)</b>	98,73
<b>Polietileno de alta densidade (PEAD)</b>	Não rompe.
<b>Policarbonato (PC)</b>	Não rompe.
<b>Nylon com 30 % de fibra de vidro</b>	54,57

Fonte: Pisano et al. (2000).

# **ANEXO C**

### *C. Padrões de lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores*

Segundo Rio Grande do Sul (1989), a norma técnica SSMA 01 / 89 governa o critério e os padrões de emissão de efluentes líquidos a serem cumpridos por todas as fontes poluidoras que operem em território gaúcho.

Os parâmetros gerais, a serem cumpridos por todas as fontes são citados a seguir:

- Temperatura < 40 °C
- Cor: Não deve conferir mudança de coloração acentuada ao corpo receptor, no ponto de lançamento
- Odor: Livre de odor desagradável
- Espumas: Ausentes
- Materiais flutuantes: Ausentes
- Sólidos Sedimentáveis < 1,0 ml / L em teste de 1 (uma) hora em "Cone Imhoff"
- pH entre 6,0 e 8,5
- Dureza < 200 mg / L CaCO<sub>3</sub>
- Óleos e Graxas: Vegetal ou Animal < 30 mg / L
- Óleos e Graxas: Mineral < 10 mg / L
- Coliformes Fecais < 3.000 NMP / 100 mL

Os seguintes padrões máximos de emissão de parâmetros nos efluentes também devem ser cumpridos por todas as fontes poluidoras instaladas em território gaúcho:

- Fenóis 0,1 mg / L
- Fluoretos 10 mg / L F
- Fósforo Total 1 mg / L P
- Nitrogênio Total 10 mg / L N
- Sulfeto 0,2 mg / L S
- Alumínio 10 mg / L Al
- Bário 5 mg / L Ba

- Boro 5 mg / L B
- Cobalto 0,5 mg / L Co
- Estanho 4 mg / L Sn
- Ferro 10 mg / L Fe
- Lítio 10 mg / L Li
- Manganês 2 mg / L Mn
- Molibdênio 0,5 mg / L Mo
- Vanádio 1 mg / L Va
- Arsênio 0,1 mg / L
- Cádmio 0,1 mg / L Cd
- Chumbo 0,5 mg / L Pb
- Cianeto 0,2 mg / L CN
- Cobre 0,5 mg / L Cu
- Cromo Hexavalente 0,1 mg / L Cr<sup>+6</sup>
- Cromo Total 0,5 mg / L Cr
- Mercúrio 0,01 mg / L Hg
- Níquel 1 mg / L Ni
- Prata 0,1 mg / L Ag
- Selênio 0,05 mg / L Se
- Zinco 1 mg / L Zn
- Compostos Organofosforados e Carbamatos 0,1 mg / L
- Surfactantes 2 mg / L

Determinados parâmetros são específicos para cada fonte poluidora e seus padrões máximos de emissão são diferenciados caso a fonte já esteja instalada ou se a mesma será implantada. As fontes já implantadas devem seguir os padrões de emissão apontados na Tabela C.1, enquanto as fontes a serem implantadas devem seguir os valores da Tabela C.2.

Tabela C.1. Padrões de emissão a serem cumpridos por fontes poluentes já instaladas .

<b>Vazão (m<sup>3</sup> / dia)</b>	<b>DBO (20 °C) (mg / L)</b>	<b>DQO (mg / L)</b>	<b>SS (mg / L)</b>
<b>&lt; 20</b>	200	450	200
<b>20 – 200</b>	150	450	150
<b>200 – 1.000</b>	120	360	120
<b>1.000 – 2.000</b>	80	240	80
<b>2.000 – 10.000</b>	60	200	70
<b>&gt; 10.000</b>	40	160	50

Fonte: Rio Grande do Sul (1989).

Tabela C.2. Padrões de emissão a serem cumpridos por fontes poluentes a serem implantadas.

<b>Vazão (m<sup>3</sup> / dia)</b>	<b>DBO (20 °C) (mg / L)</b>	<b>DQO (mg / L)</b>	<b>SS (mg / L)</b>
<b>&lt; 200</b>	120	360	120
<b>200 – 1.000</b>	80	240	80
<b>1.000 – 2.000</b>	60	200	70
<b>2.000 – 10.000</b>	40	160	50
<b>&gt; 10.000</b>	20	100	40

Fonte: Rio Grande do Sul (1989).

# **ANEXO D**



## **D. Análises de sólidos**

Nas figuras a seguir será utilizada a seguinte legenda:

Sólidos totais fixos: STF.

Sólidos totais voláteis : STV.

Sólidos suspensos totais: SST.

Sólidos suspensos fixos: SSF.

Sólidos suspensos voláteis: SSV.

Sólidos dissolvidos totais: SDT.

Sólidos dissolvidos fixos: SDF.

Sólidos dissolvidos voláteis: SDV.

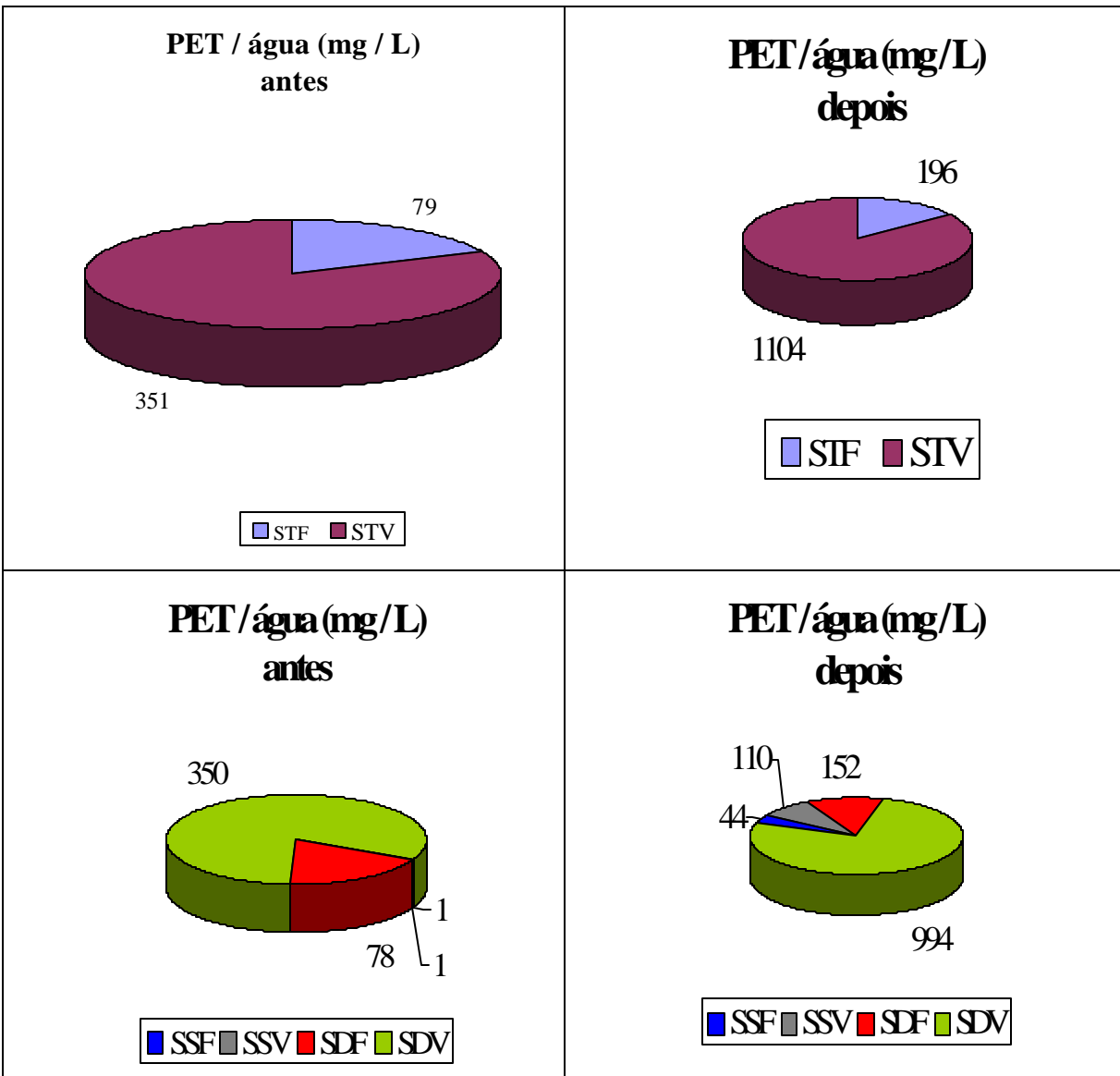


Figura D.1. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). PET + água.

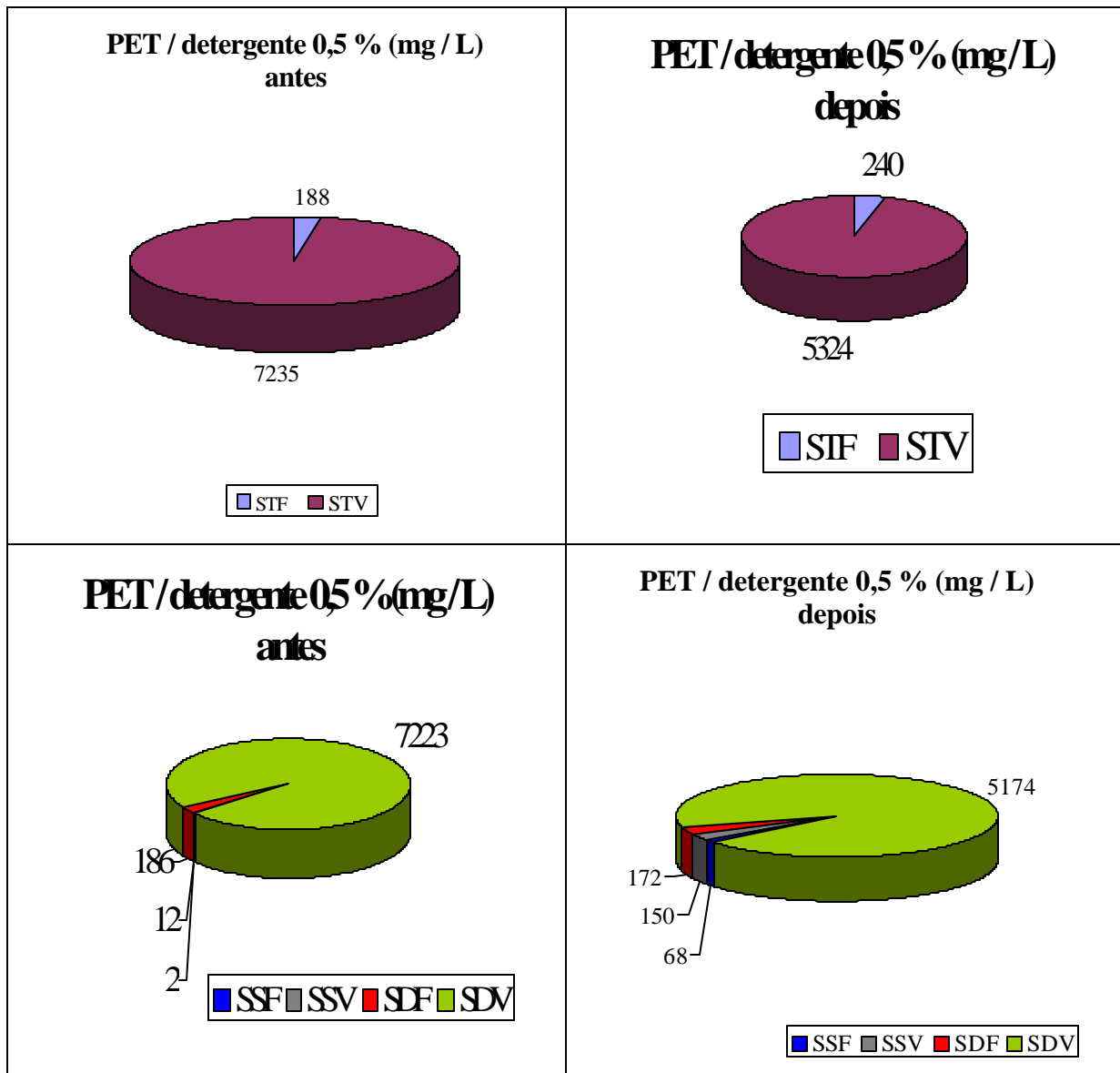


Figura D.2. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). PET + detergente 0,5 %.

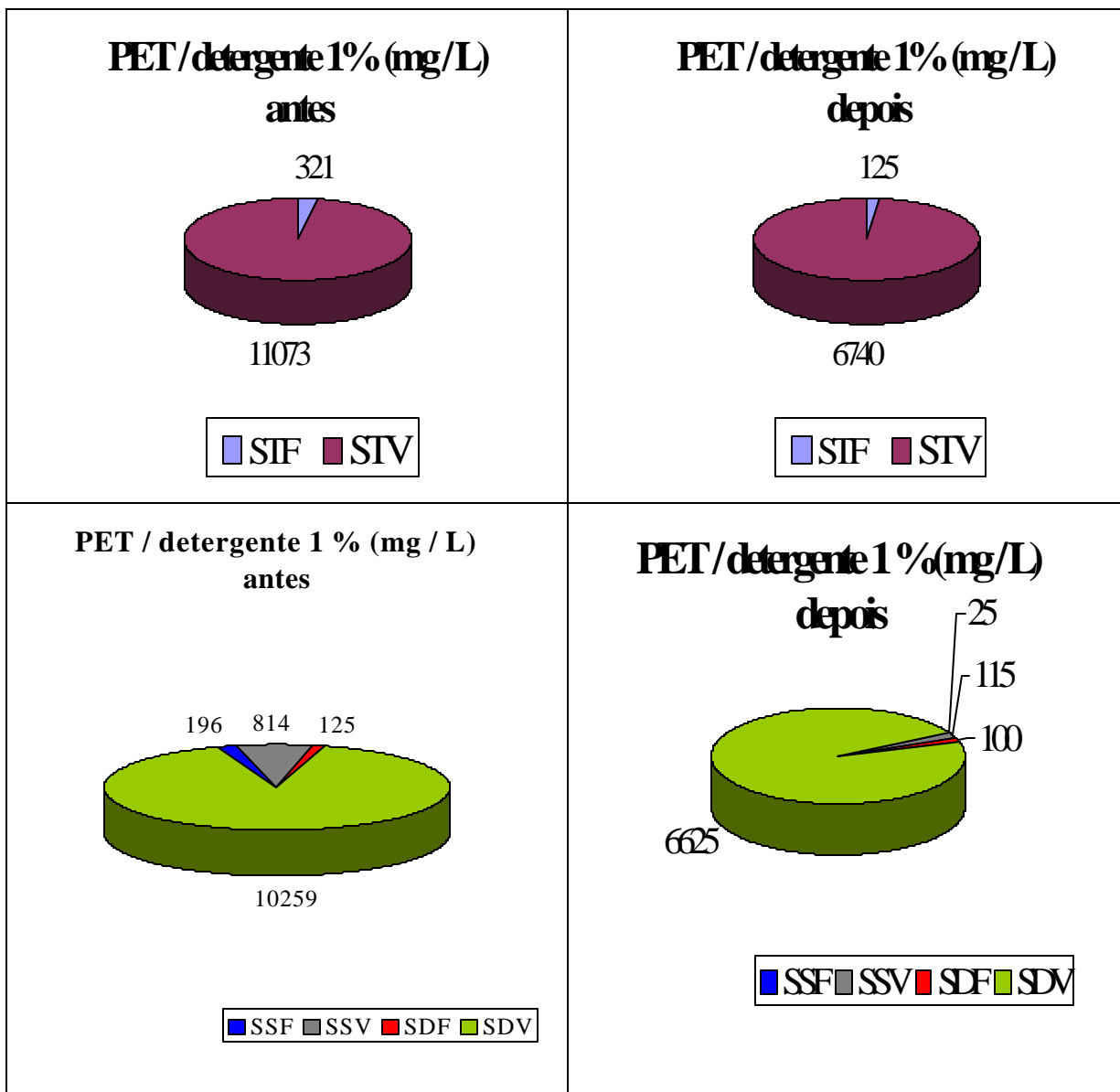


Figura D.3. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). PET + detergente 1 %.

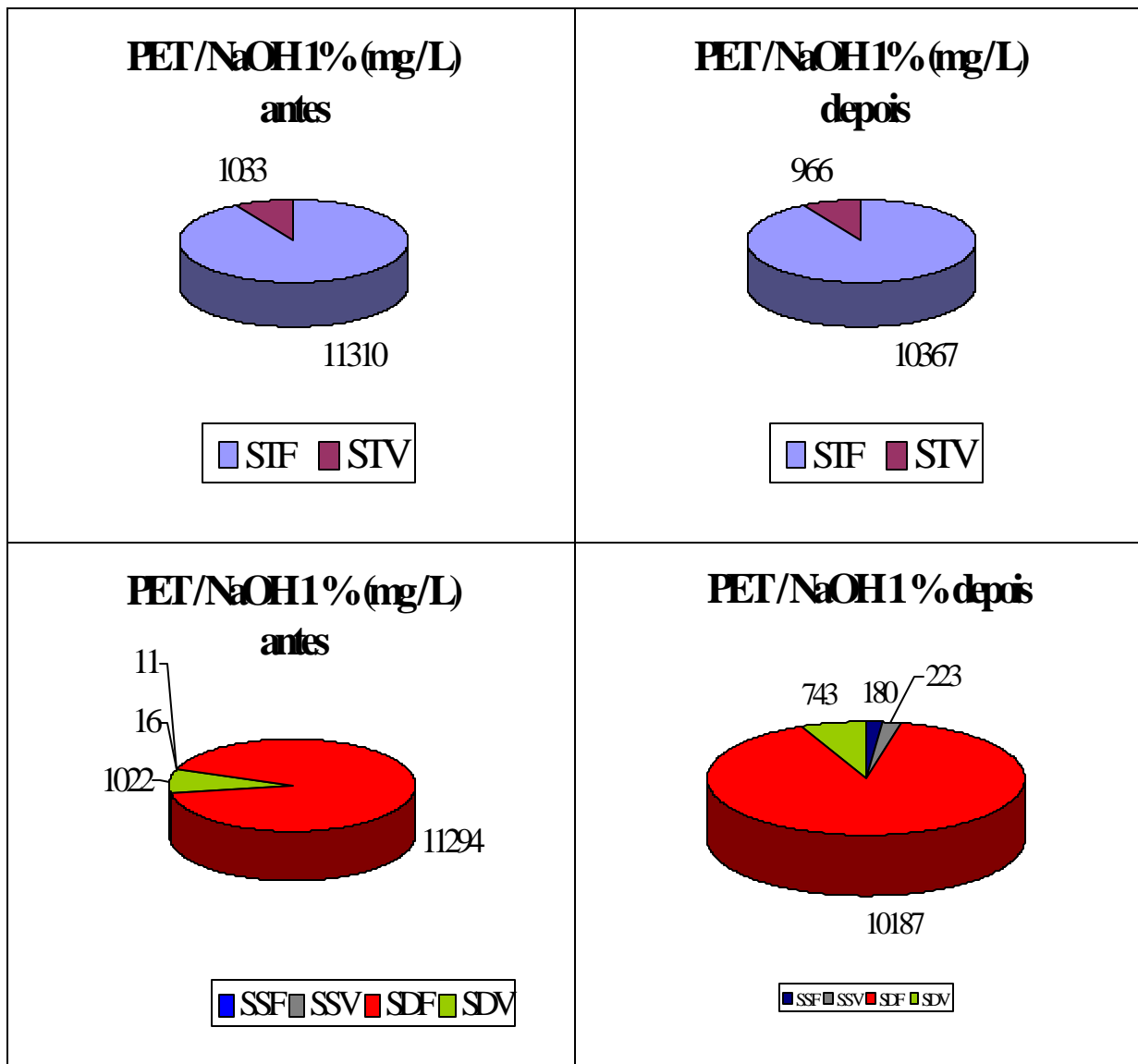


Figura D.4. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). PET + NaOH 1 %.

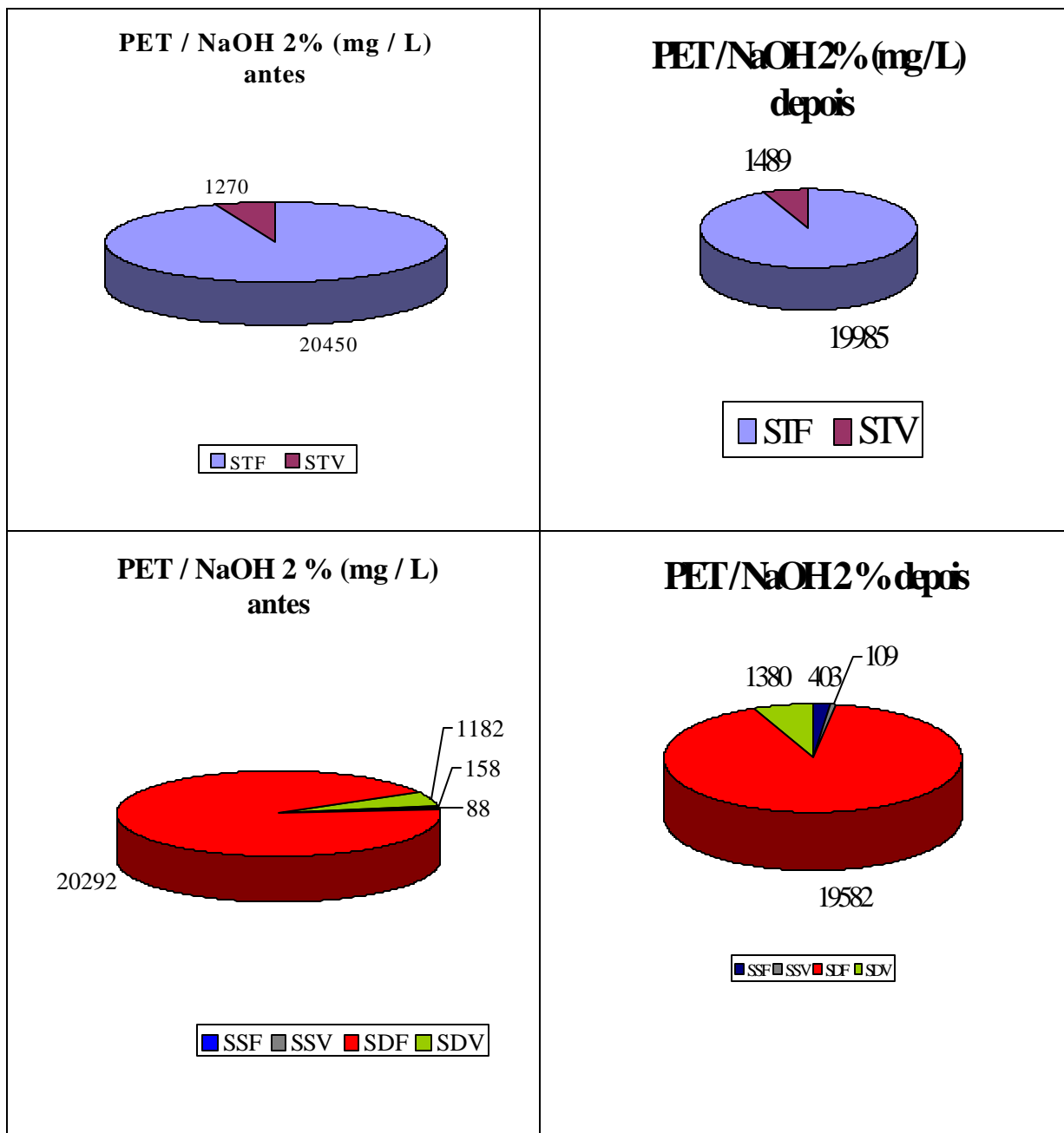


Figura D.5. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). PET + NaOH 2 %.

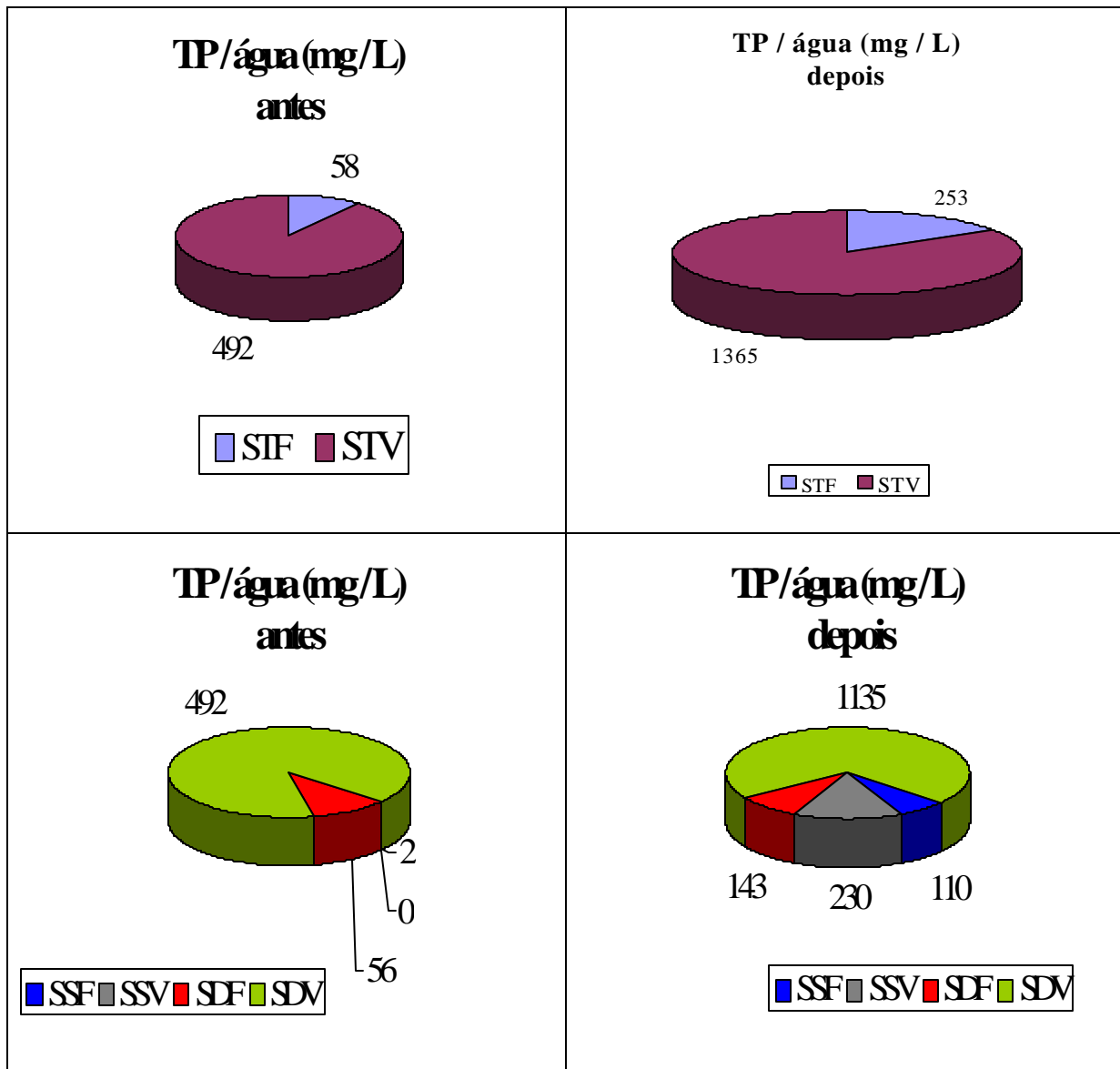


Figura D.6. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Embalagens cartonadas + água.

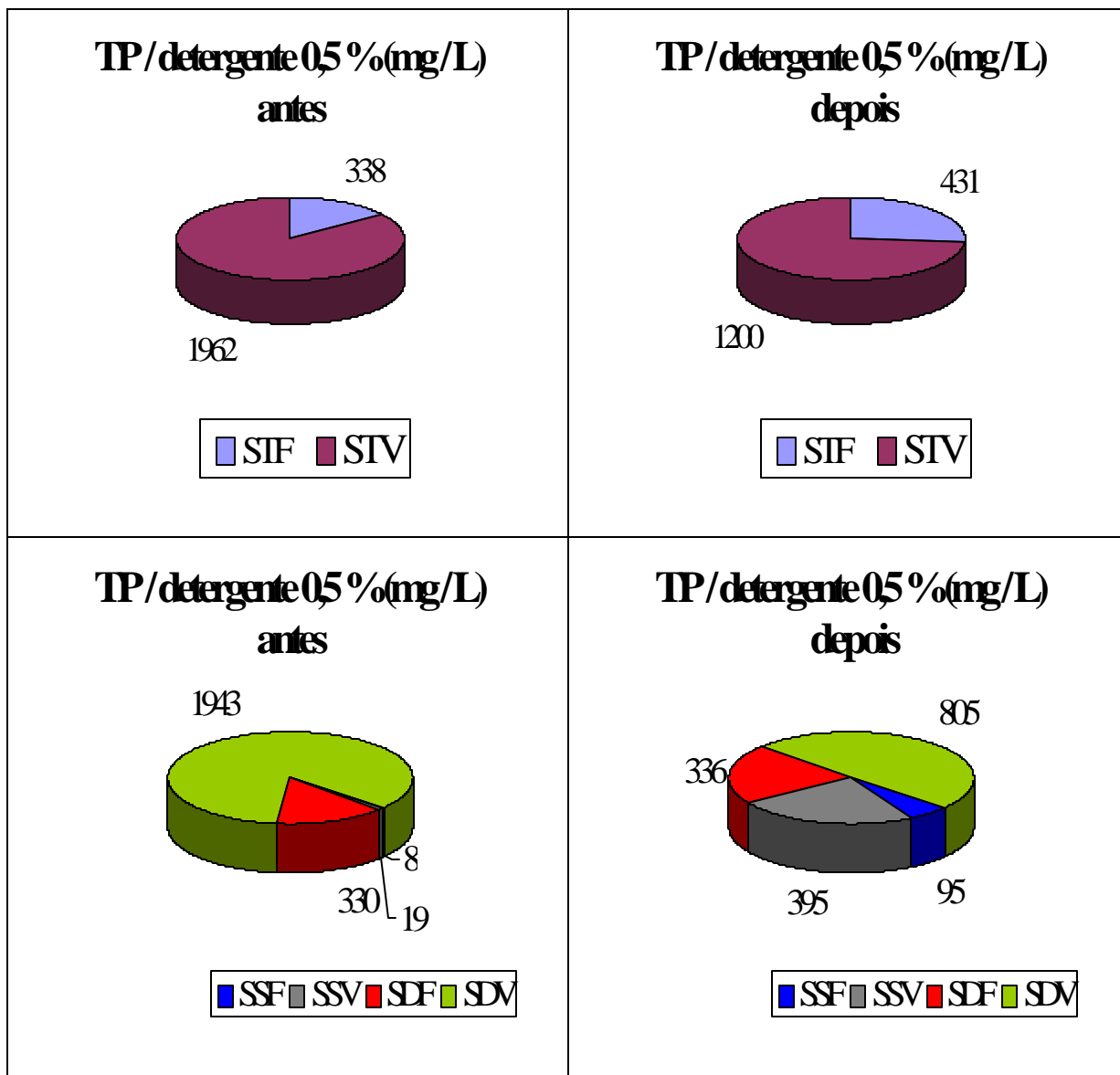


Figura D.7. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Embalagens cartonadas + detergente 0,5 %.



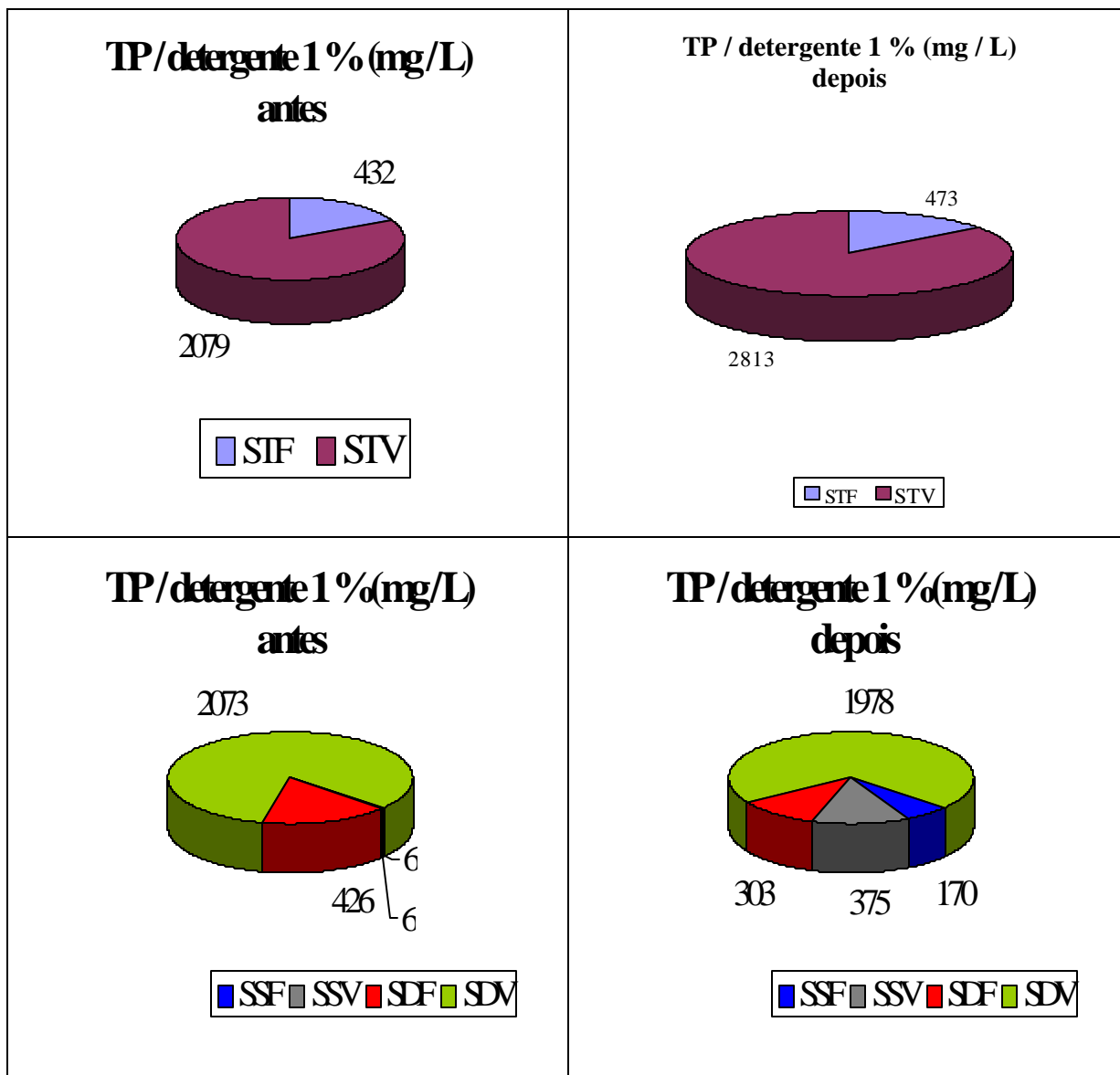


Figura D.8. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Embalagens cartonadas + detergente 1 %.

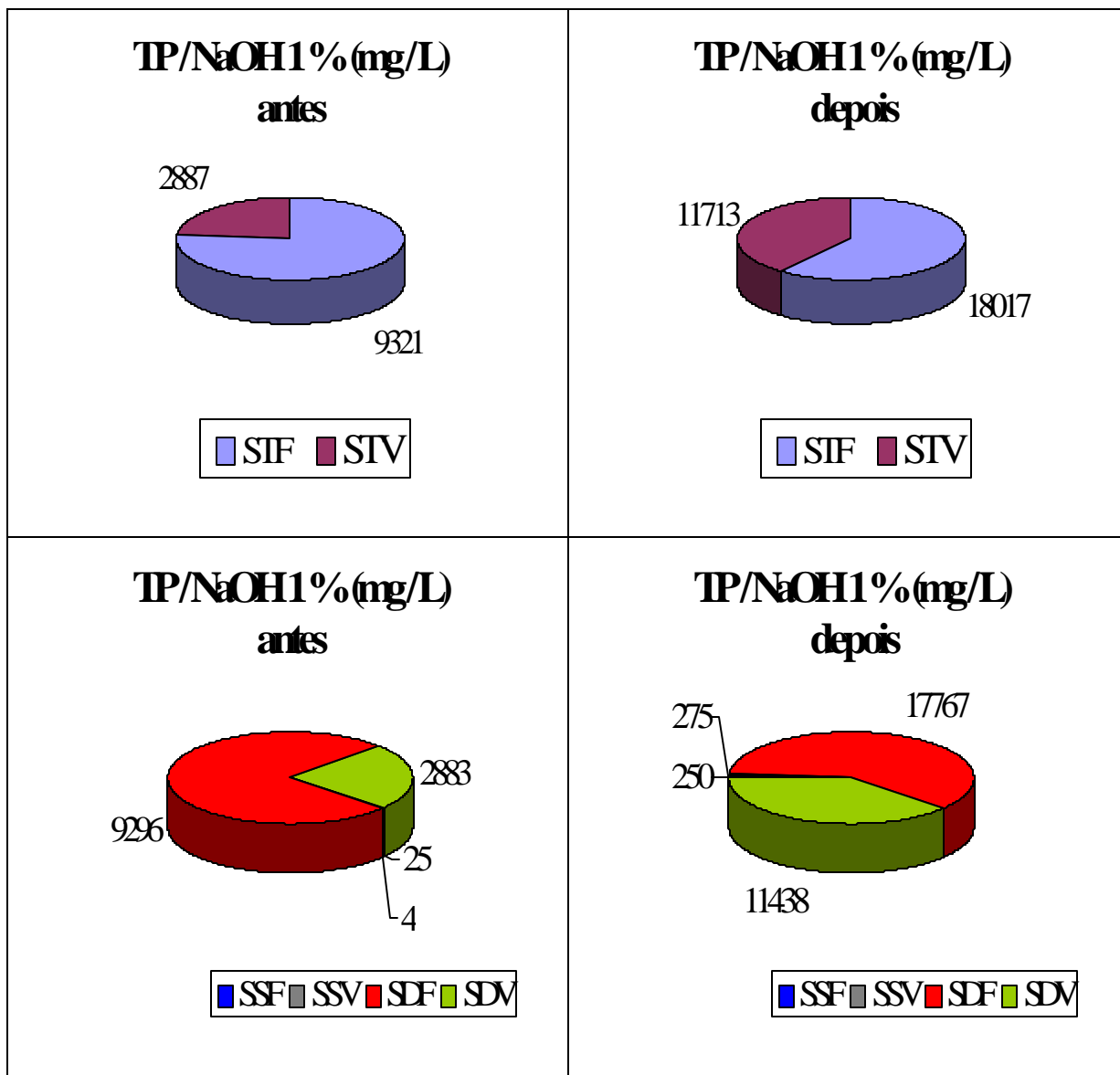


Figura D.9. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Embalagens cartonadas + NaOH 1 %.

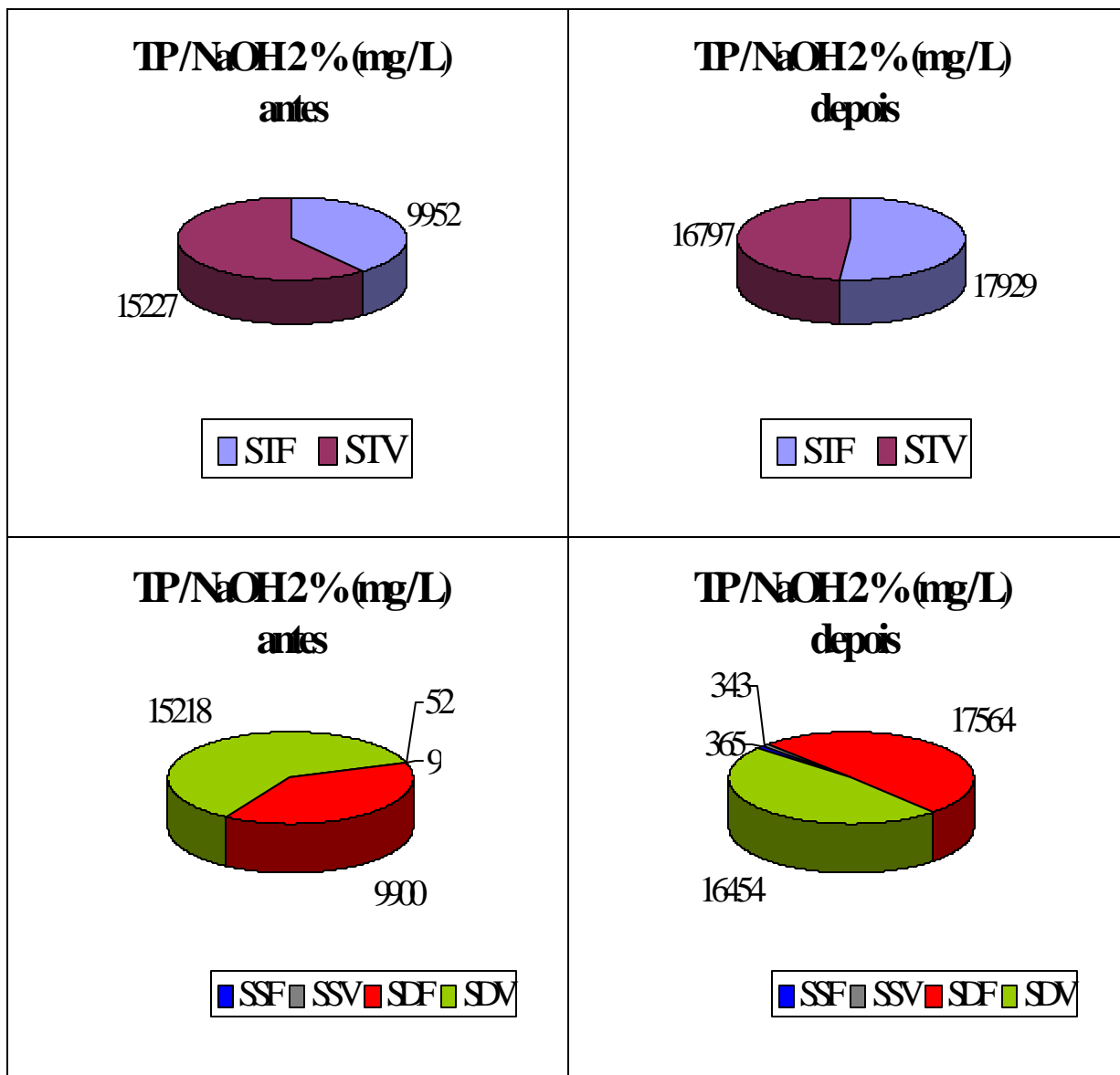


Figura D.10. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Embalagens cartonadas + NaOH 2 %.

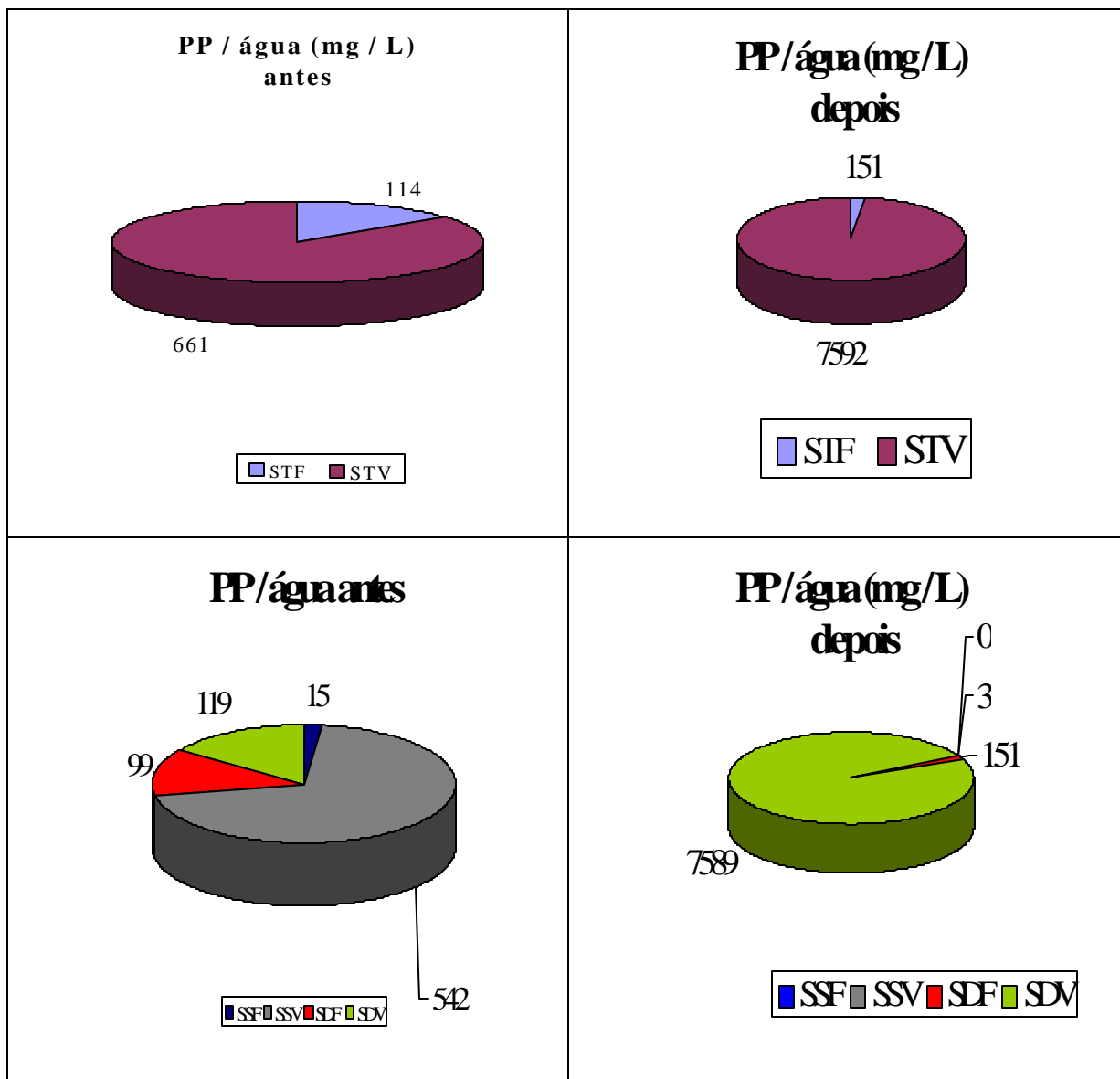


Figura D.11. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Polipropileno + água.

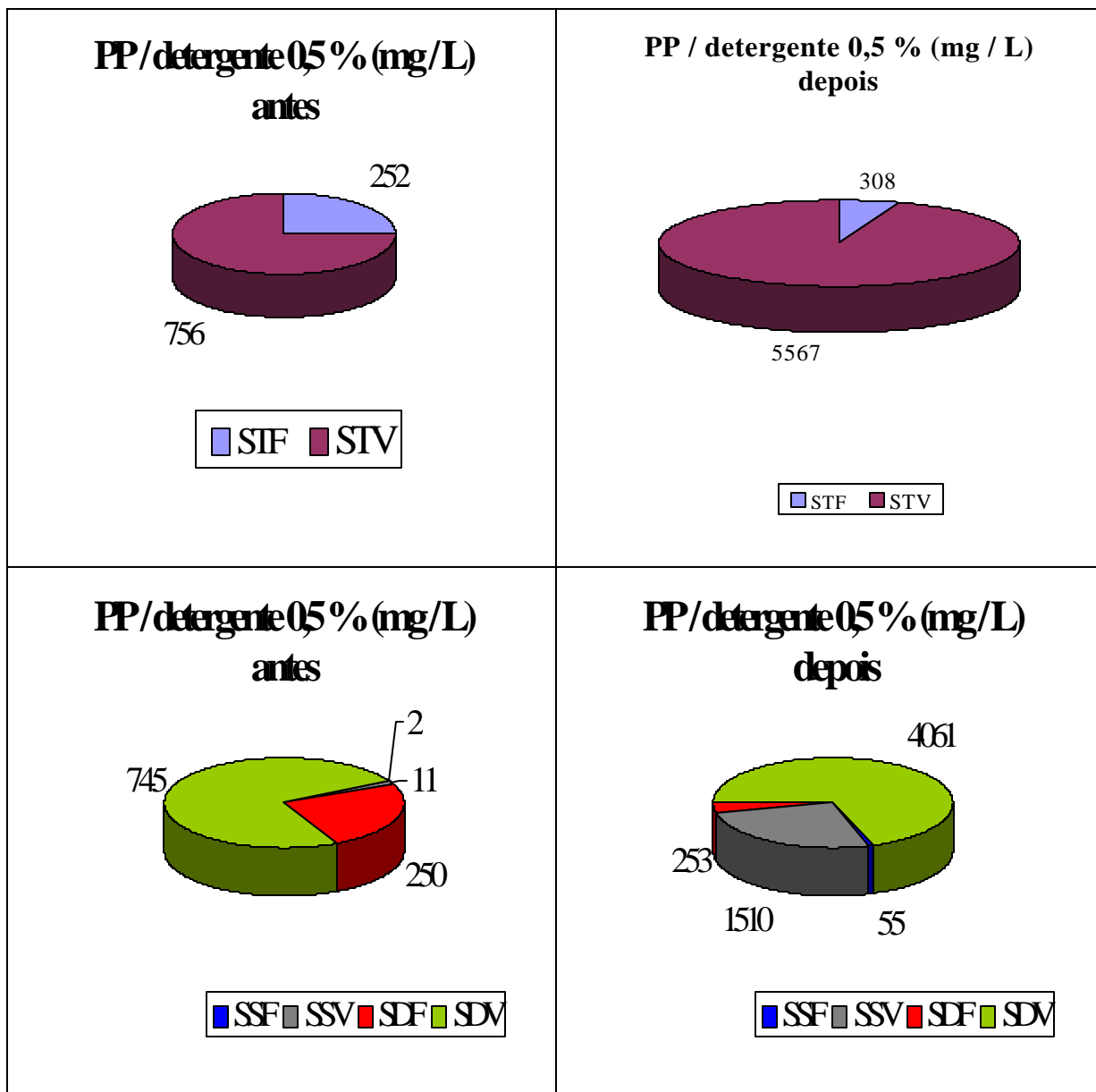


Figura D.12. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Polipropileno + detergente 0,5 %.

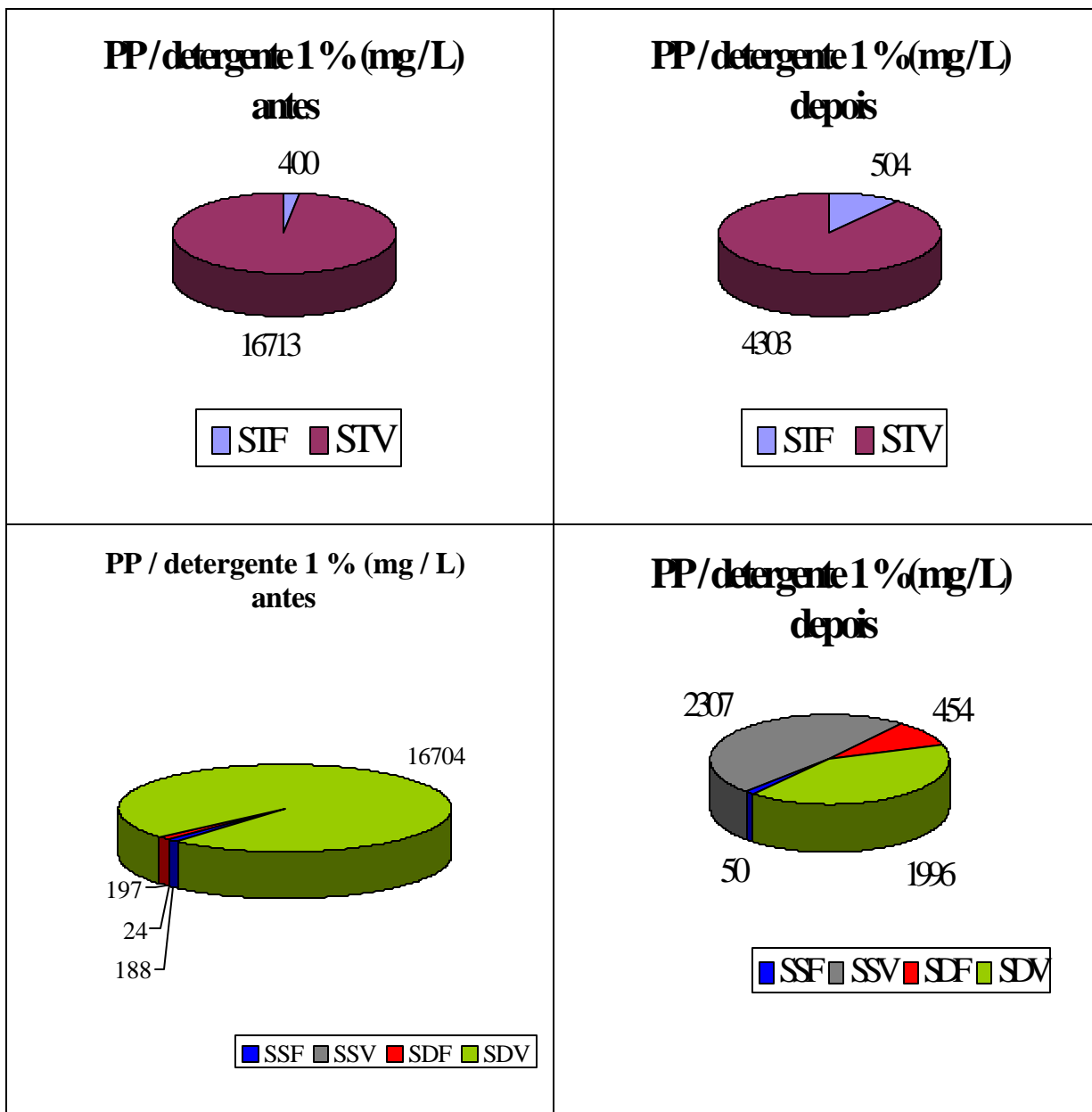


Figura D.13. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Polipropileno + detergente 1 %.

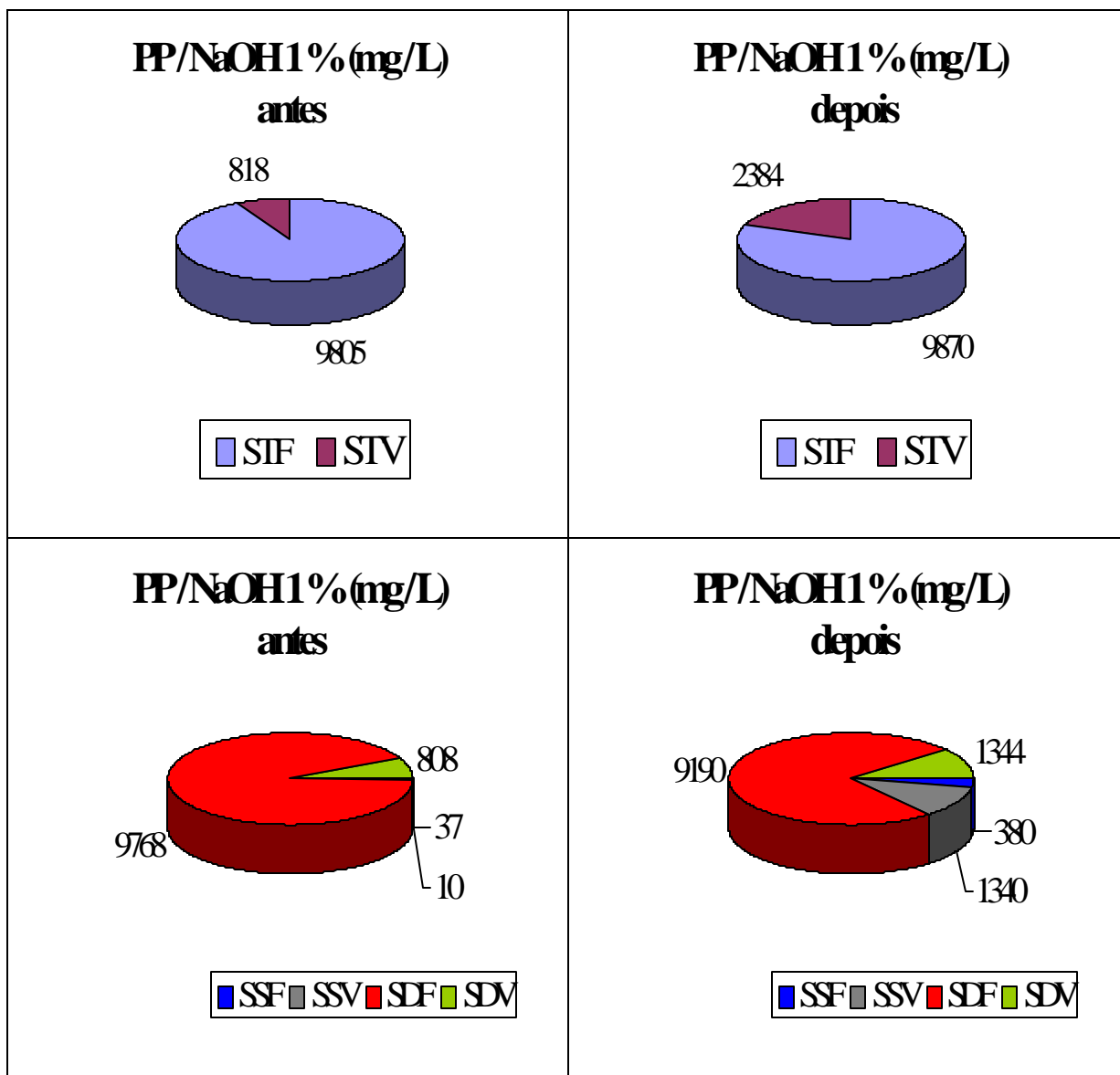


Figura D.14. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Polipropileno + NaOH 1 %.

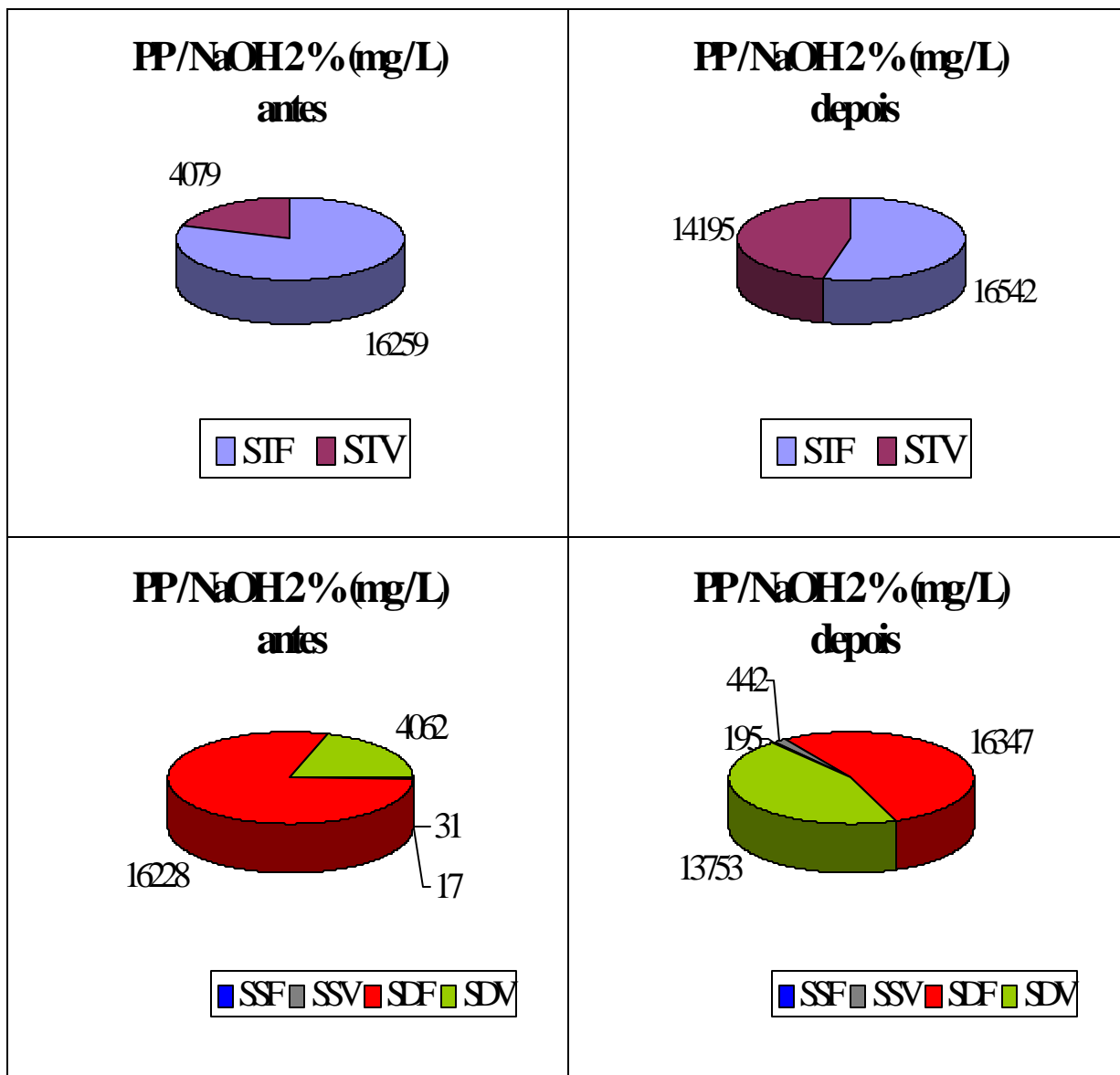


Figura D.15. Distribuição dos sólidos entre os vários tipos antes da lavagem (esquerda) e após a lavagem (direita). Polipropileno + NaOH 2 %.