



III-048 – UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA COMPARAÇÃO ENTRE A RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PROVENIENTES DE COLETA MISTURADA E SELETIVA

Sandro Donini Mancini⁽¹⁾

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Mestre em Engenharia de Materiais pela UFSCar e Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSCar. Professor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) - Sorocaba.

Eduardo D'Áurea Bordignon

Engenheiro Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba. Pós-graduando em Gestão de Projetos Ambientais na Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Gabriela Maria Serafim

Engenheira Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

Camila Silva Franco

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

Bruna Hinojosa de Souza

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

Luciane Lopes Rodrigues

Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (IQ/USP). Mestranda em Ciência e Tecnologia dos Materiais na UNESP.

Marina Schiave Rodrigues

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

Leonardo Machado Pitombo

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestrando em Agricultura Tropical e Subtropical no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Técnico de laboratório na UNESP, em Sorocaba.

Endereço⁽¹⁾: Av. 3 de Março, 511 – Alto da Boa Vista - Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 - Brasil - Tel: +55 (15) 3238-3409 - Fax: +55 (15) 3228-2842 - e-mail: mancini@sorocaba.unesp.br

RESUMO

A reciclagem é uma atividade industrial bastante interessante do ponto de vista ambiental, porém também apresenta impactos significativos. A avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos pode não só auxiliar na quantificação e interpretação desses impactos, bem como comparar situações distintas. Neste trabalho, utilizando procedimentos típicos de ACV, foram obtidas e comparadas as quantidades gastas de água e energia em duas indústrias semelhantes que reciclam filmes plásticos (uma necessita de lavagem prévia e a outra não). Ao menos para as indústrias estudadas, a reciclagem de resíduos plásticos que necessitam lavagem é duas vezes mais impactante em termos de consumo de energia e dez vezes mais em termos de consumo de água do que a reciclagem de resíduos que não necessitam de lavagem.

Foram pesquisados ainda os impactos ambientais da reciclagem de filmes plásticos provenientes de coleta seletiva (a partir de cooperativa de catadores) e provenientes de coleta misturada (a partir de aterro sanitário). Determinou-se que filmes submetidos à coleta misturada, caso fossem recuperados para atividades de reciclagem, são no mínimo 4 vezes mais sujos que os provenientes de coleta seletiva. Parâmetros dos efluentes da lavagem dos filmes, como sólidos, pH e turbidez também forneceram, em linhas gerais, resultados piores para os plásticos coletados em aterro em relação aos coletados em cooperativas. De acordo com a legislação federal vigente, se o efluente de lavagem dos filmes do aterro sanitário fosse lançado num corpo d'água classe 3, este necessitaria de tratamento prévio, já o efluente de lavagem dos filmes da cooperativa de reciclagem poderia, em princípio, ser lançado diretamente no rio sem tratamento prévio.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo de Vida, Coleta Misturada, Coleta Seletiva, Reciclagem, Filmes Plásticos.

INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química, os plásticos mais consumidos no Brasil são os polietilenos de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD) e o polipropileno (PP). Segundo a Associação, em



2006 cerca de 23% do PP, 40% do PEAD e 88% do PEBD fabricados foram para o segmento de filmes. Ou seja, 1,5 milhões de toneladas de sacos e sacolas de PEBD, PP e PEAD foram colocados no mercado no ano [1].

O Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos calcula que mais de 2,2 milhões de toneladas de plásticos pós-consumo foram geradas no Brasil em 2006. Desses, 19,8% foram reciclados (455 mil toneladas). A parcela dos resíduos de PE e PP foi grande: 1,5 milhões de toneladas, porém somente 167 mil toneladas foram recicladas, normalmente na forma de novos filmes, peças injetadas e na formulação com materiais virgens. Considerando os percentuais de venda de filmes, calcula-se que mais de 120 mil toneladas de PEAD, 670 mil toneladas de PEBD e 81 mil toneladas de PP não foram recicladas em 2006, tornando-se resíduos sólidos [2].

Atividade sempre relacionada à benefícios ambientais, a reciclagem também pode ser impactante e um dos motivos pode advir da qualidade da matéria prima. Para a reciclagem de plásticos é necessária uma rigorosa separação, pois polímeros diferentes não fornecem produtos úteis quando reciclados juntos (se isto for conseguido). A reciclagem conjunta de PEAD e PEBD é possível, porém tende a diminuir o valor agregado do produto final ao, entre outras conseqüências, perder a transparência característica dos filmes de PEBD [3-4]. Após a chegada de filmes separados na unidade recicladora, a reciclagem segue uma seqüência lógica de procedimentos, dentre os quais um dos mais importantes é a lavagem, pois separa o material de impurezas contidas. Essas impurezas podem advir do material embalado e, em muitos casos, do sistema de coleta empregado [5-6].

De acordo com o Compromisso Empresarial para a Reciclagem, somente 405 municípios brasileiros (entre os mais de 5 mil existentes) operavam programas abrangentes de coleta seletiva em 2007, atingindo cerca de 25 milhões de brasileiros. Ou seja, a grande maioria do lixo brasileiro, o correspondente aos resíduos sólidos de cerca de 160 milhões de pessoas, é descartado sem separação (coleta misturada) e enviado a unidades de destinação final sem nenhum tipo de reaproveitamento, reutilização ou reciclagem [7].

A coleta misturada, realidade de 86% dos brasileiros, é mais barata e simples de ser feita do que a coleta seletiva, pois esta última envolve uma participação mais ativa da população, além de coleta e transporte diferenciados. A coleta misturada facilita a impregnação de um resíduo por outro, dificultando a separação. Nesse sentido, pela elevada área superficial, os filmes plásticos são bastante susceptíveis a ficar impregnados com impurezas. A separação após coleta misturada tende a ser bastante complicada e ineficiente, e normalmente vende-se o filme sujo para o reciclador que, obviamente, paga menos por este resíduo em comparação com resíduos mais limpos. Na recicladora, o plástico será moído sujo e, durante a lavagem, boa parte das impregnações será transferida para a água, causando impactos ambientais e custos relativos à necessidade de tratamento dos efluentes.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados feitos com filmes de PEAD, PEBD e PP coletados em aterro sanitário (coleta misturada) e em sistemas de coleta seletiva, respectivamente. Esses filmes foram pesados, picotados, lavados, submetidos à secagem e novamente pesados. A diferença de massa é o que foi retirado por meio da lavagem, ou seja, massa de impurezas atribuída aos plásticos transferida para o efluente [8].

Tabela 1 – Teor de filmes plásticos de amostragens de coleta misturada após lavagem e secagem [8].

| Filme plástico | Plásticos (%) | | | Média (%) | Desvio-Padrão (%) |
|----------------|---------------|--------------|--------------|-----------|-------------------|
| | Amostragem 1 | Amostragem 2 | Amostragem 3 | | |
| PEAD | 82,1 | 51,1 | 45,9 | 59,7 | 19,6 |
| PEBD | 62,6 | 49,3 | 63,8 | 58,6 | 8,0 |
| PP | 49,3 | 70,1 | 91,8 | 70,4 | 21,3 |

Segundo a Tabela 1, na reciclagem de filmes plásticos, anteriormente ao reprocessamento, é necessário que tenha que ser separada (por meio de lavagem e secagem), em média, cerca de 40% da massa atribuída aos polietilenos e cerca de 30% da massa atribuída ao polipropileno na forma de impurezas. Ou seja, de cada mil quilogramas de filmes de polietilenos provenientes de coleta misturada, cerca de 400 kg são impurezas, líquidas e sólidas, que serão transferidas à água durante a lavagem, necessária à reciclagem. Para filmes de polipropileno, esse montante é menor, porém ainda bastante alto: cerca de 30% (300 kg de impurezas por tonelada) [8].



Tabela 2 – Teor de filmes plásticos de amostragens de coleta seletiva após lavagem e secagem [8].

| Filme plástico | Plásticos (%) | | Média (%) | Desvio-Padrão (%) |
|----------------|------------------|------------------|-----------|-------------------|
| | Amostragem 1 (%) | Amostragem 2 (%) | | |
| PEAD | 84,0 | 95,3 | 89,6 | 8,0 |
| PEBD | 93,8 | 97,7 | 95,7 | 2,7 |
| PP | 84,5 | 96,2 | 90,4 | 8,3 |

Quando a análise é feita a partir dos resultados da Tabela 2, ou seja, quando ocorre o descarte e a coleta seletiva, a massa de materiais estranhos aos polímeros que deve ser retirada é, em média, de 5 a 10% [8]. Ou seja, pelos resultados pode-se considerar que sistemas de coleta seletiva tem condições de oferecer matérias-primas muito mais limpas que sistemas de coleta misturada e isso obviamente causa impactos ambientais menores da atividade de reciclagem, sem contar o fato que representam custos também menores.

Para a avaliação de impactos ambientais são conhecidas várias ferramentas e a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma delas. Outros exemplos são: o Estudo de Impacto Ambiental, a Avaliação de Riscos, a Avaliação de Fluxo de Substâncias, a Avaliação de Tecnologia e a Auditoria Ambiental. Cada uma tem suas peculiaridades e potencialidades, bem como suas limitações. Por exemplo, os Estudos de Impacto Ambiental são indicados (e no caso da legislação ambiental brasileira, muitas vezes obrigatórios) a novos empreendimentos e são aplicáveis a uma localidade específica em um tempo específico. Já a ACV é indicada para estudos de produtos, não se restringem a uma determinada região nem a um tempo específico, porque seus resultados finais utilizam como unidade básica 1 kg do produto [9-10]. Tanto a ACV quanto a Auditoria Ambiental são ferramentas preconizadas na norma ISO 14.000, certificação voluntária de qualidade ambiental de uma organização e que muitas vezes facilita a abertura e manutenção de mercados por empresas.

Basicamente, a ACV compõe-se de três fases, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [11]:

- a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo.

O objetivo deste trabalho é apresentar resultados sobre os impactos ambientais da coleta misturada frente à seletiva no caso da reciclagem de filmes plásticos. Para tanto, serão apresentadas medidas obtidas típicas de um inventário de avaliação de ciclo de vida, como o energia e água empregada em um processo industrial que necessita e em um processo que não necessita de lavagem. Ainda, dados semelhantes aos das Tabelas 1 e 2 serão obtidos, porém dando ênfase não somente à massa de impurezas como também à qualidade do efluente obtido, avaliada por parâmetros físico-químicos da água antes e após a lavagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Trabalho foi realizado em duas etapas: Na primeira, a visita em duas indústrias de reciclagem de filmes plásticos para ACV com ênfase em consumo de energia e água; Na segunda, a caracterização, em laboratório, da água de lavagem dos filmes de polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade e polipropileno.

PRIMEIRA ETAPA: ACV EM INDÚSTRIAS DE RECICLAGEM DE FILMES PLÁSTICOS

Foram visitadas duas indústrias, distantes mais de 200 km uma da outra. Na indústria 1, os fornecedores são comércio de sucatas que, por sua vez, são alimentados em boa parte por catadores. A despeito de poder ser considerada uma coleta seletiva, é comum que os filmes plásticos sejam relativamente desprezados em comércios de sucatas em virtude do baixo valor agregado, comparativamente com outros materiais como alumínio, aço e até plásticos rígidos. A empresa trabalha com cerca de 80% de PEBD filme e 20% de PEAD filme. Os sacos e sacolas são moídos, lavados, secados em centrífugas, aglutinados e extrudados, após o que se obtém grânulos vendidos como plástico reciclado.



A indústria 2 obtém sua matéria-prima de indústrias da região e, por ser um resíduo bem mais limpo que o da indústria 1, paga cerca de 30% mais caro por isso e está bem mais pressionada a oscilações de preço. A empresa trabalha com cerca de 80% de PEAD rígido e 20% de PEBD filme, que são moídos, aglutinados e extrudados.

Após entrevistas com os proprietários das empresas, a equipe de pesquisa teve acesso às despesas e consumo de água e energia, bem como à potência de cada equipamento e a produção de cada empresa. Essas visitas e entrevistas foram realizadas no sentido de se obter um banco de dados sobre esses processos industriais.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados a respeito do processo produtivo das duas indústrias, focando no consumo de água e energia.

Tabela 3 – Diferenças entre as indústrias estudadas com relação ao consumo de água e energia.

| Item | Indústria 1 | Indústria 2 |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Produção (t/mês) | 47 | 88 |
| Energia (kWh/mês) | 70.000 | 64.000 |
| Energia (kWh/t) | 1.489,36 | 727,27 |
| Água (m ³ /mês) | 440 | 78 |
| Água (m ³ /t) | 9,36 | 0,89 |

Observa-se pela Tabela que a utilização de matéria-prima mais suja por parte da indústria 1, acarreta em custos bem maiores de processo. Isso, no caso dos produtos possuírem a mesma qualidade, causa uma diminuição da margem de lucro do empresário, o que pode gerar desestímulo. Sem contar a necessidade de tratamento de água, para se evitar o descarte de efluentes poluentes no sistema de esgotos municipais. Ressalta-se que a matéria-prima da indústria 2 é mais cara, porém em índices bem menores que as diferenças de consumo de energia (50%, considerando-se kWh/t) e água (mais de 10 vezes, considerando-se m³/t).

Como esperado, a necessidade de lavagem faz com que a indústria 1 tenha um consumo de água bem maior, gastando cerca de 9 litros de água para cada quilo de material reciclado produzido. Já a indústria 2 gasta menos de 900 mL por quilo de polietileno reciclado. Com relação ao maior consumo de energia, este também era esperado, na medida em que tanto o sistema de lavagem quanto as centrífugas para a secagem são alimentados por energia elétrica.

SEGUNDA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM

Foram realizados ainda estudos para a comparação entre o impacto ambiental da lavagem da matéria-prima suja através da caracterização do efluente de lavagem de filmes de polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP).

Quatro coletas foram realizadas, duas no aterro sanitário de Sorocaba (para se avaliar a coleta misturada) e duas na Cooperativa de Reciclagem Reviver (para se avaliar a coleta seletiva). Os parâmetros determinados foram sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos fixos (SDF), sólidos dissolvidos voláteis (SDV), sólidos sedimentáveis (SSE), turbidez, pH e teor de impurezas eliminadas pela lavagem e transferidas para o efluente. Boa parte dessas impurezas eram materiais maiores como papéis, fitas e outras embalagens descartáveis misturadas aos filmes.

Foram separados aproximadamente 150 g de cada tipo de filme plástico a partir de uma carga de resíduos sólidos domésticos. Duas amostragens foram feitas, em dias distintos, em aterro, assim como duas amostragens na cooperativa.

O material foi trazido à universidade para pesagem inicial. Em seguida, o mesmo foi cortado manualmente com tesoura. Cada amostra foi lavada obedecendo a relação de 100 g de amostra para 10 L de água, sendo que o sistema foi mantido à temperatura ambiente e sob agitação. Após 3 minutos de ciclo de lavagem, o material



foi recolhido e submetido a enxágue manual. Posteriormente, foi seco por aproximadamente 48 horas à temperatura ambiente e por mais 24 horas em estufa a 45-50 °C. Ao final desta etapa, foi novamente pesado e sua massa comparada à massa inicial para determinação do real teor de impurezas no polímero.

O efluente de lavagem foi caracterizado através da determinação do seu teor de sólidos totais, suspensos, dissolvidos e sedimentáveis. O impacto poluidor da lavagem de cada material foi avaliado também pela medida de pH e turbidez. Dessa maneira, além da diferença de quantidade de resíduos a serem transferidas para a água durante a lavagem, foram obtidas indicações sobre o potencial poluidor de cada efluente. A título de comparação, a água de abastecimento público utilizada para a lavagem foi considerada o “branco”, ou seja, também foi submetida aos mesmos ensaios de caracterização e teve seus resultados descontados do efluente de lavagem.

Para a quantificação do teor de sólidos totais foi utilizada alíquota de 5 mL da água de lavagem, a qual foi levada para secagem em estufa a 120 °C até peso constante. Para a determinação do teor de sólidos totais fixos, a mesma amostra foi levada para incineração em mufla a 550 °C por 1 hora. O teor de sólidos totais voláteis foi determinado a partir da diferença entre os sólidos totais e os sólidos totais fixos [12].

O teor de sólidos suspensos e dissolvidos foram determinados a partir da filtração a vácuo de 5 mL da amostra, onde o sólido retido no filtro foi levado à estufa por uma hora a 100°C e a porção filtrada foi levada para secagem em estufa a 120 °C até peso constante. Para a determinação do teor de sólidos dissolvidos fixos, a mesma amostra foi levada para incineração em mufla a 550 °C por 1 hora. O teor de sólidos dissolvidos voláteis foi determinado a partir da diferença entre os sólidos dissolvidos totais e os sólidos dissolvidos fixos [12].

Para o teor de sólidos sedimentáveis, foi transferido 1 L de amostra para o cone de Imhoff. A amostra foi mantida no cone por 45 minutos e sofreu agitação suave. Após mais 15 minutos, totalizando uma hora, a quantidade de sólidos que sedimentou foi medida [12].

Na determinação do pH foi feita a leitura da amostra em pHmetro calibrado. Para a leitura da turbidez foi utilizado um turbidímetro também calibrado.

Todos esses ensaios foram realizados em triplicata para garantir maior confiabilidade dos dados e seguiram normalizações específicas preconizadas pela Associação Americana de Saúde Pública (APHA) [12]. Para tanto, foram utilizados os seguintes equipamentos e instrumentos: Cone de Imhoff, forno-mufla marca Quimis modelo Q-318M24, Turbidímetro marca Policontrol modelo AP 2000iR, estufa marca Fanem modelo 320-SE e pHmetro marca Hanna Instruments modelo HI 98107.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

A Tabela 4 apresenta um resumo das médias dos parâmetros determinados do efluente de lavagem dos filmes plásticos para as quatro coletas.



Tabela 4 – Médias dos parâmetros determinados do efluente de lavagem para as quatro coletas.

| Local da Coleta | PEAD | | PEBD | | PP | |
|-----------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| | Aterro Sanitário | Cooperativa de Catadores | Aterro Sanitário | Cooperativa de Catadores | Aterro Sanitário | Cooperativa de Catadores |
| Impurezas (%) | 35,80 | 8,50 | 53,10 | 3,10 | 25,50 | 1,20 |
| ST (mg/L) | 1203,00 | 257,00 | 840,00 | 233,00 | 823,00 | 257,00 |
| STF (mg/L) | 647,00 | 77,00 | 347,00 | 147,00 | 184,00 | 74,00 |
| STV (mg/L) | 557,00 | 180,00 | 494,00 | 87,00 | 217,00 | 80,00 |
| SS (mg/L) | 767,00 | 24,00 | 804,00 | 57,00 | 824,00 | 107,00 |
| SDT (mg/L) | 0,00 | 137,00 | 314,00 | 44,00 | 310,00 | 0,00 |
| SDF (mg/L) | 0,00 | 90,00 | 0,00 | 0,00 | 84,00 | 67,00 |
| SDV (mg/L) | 110,00 | 43,00 | 320,00 | 60,00 | 226,00 | 0,00 |
| SSE (mL/L) | 3,20 | 0,20 | 3,80 | 0,10 | 1,10 | 0,1 |
| pH | 7,40 | 7,80 | 7,10 | 7,70 | 7,50 | 8,20 |
| Turbidez (NTU) | 768,00 | 48,00 | 618,00 | 19,00 | 371,00 | 17,00 |

A porcentagem de impurezas recebidas durante o uso, coleta e permanência dos filmes no local de destino (aterro sanitário ou cooperativa de reciclagem), pode incluir perda de material (filmes muito pequenos) durante a lavagem. Visualmente, os filmes de PEAD são os que mais perdem matéria na hora da lavagem em comparação com os filmes de PEBD e PP.

As figuras de 1 a 6 apresentam uma comparação de sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos sedimentáveis, pH, Turbidez e porcentagem de impurezas encontrados nos efluentes da lavagem dos filmes coletados no aterro e os filmes coletados na cooperativa. A Figura 1 apresenta o teor de sólidos suspensos e totais, a Figura 2 apresenta o teor de sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, a Figura 3 o teor de sólidos sedimentáveis e sólidos dissolvidos totais, a Figura 4 o teor de sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis, a Figura 5 o pH e a Turbidez e a Figura 6 o teor de impurezas nos filmes.

Com algumas amostras, como na determinação dos sólidos dissolvidos fixos para o PEBD (Figura 4a), ocorreram problemas experimentais que inviabilizaram a obtenção dos resultados.

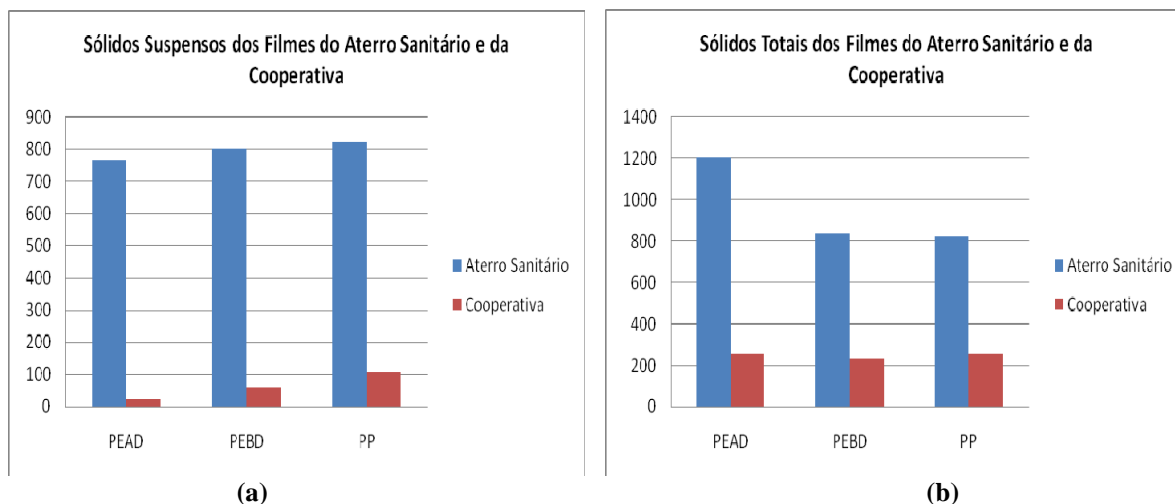


Figura 1: Sólidos Suspensos (a) e Sólidos Totais (b) dos Efluentes da Lavagem dos Filmes do Aterro e da Cooperativa

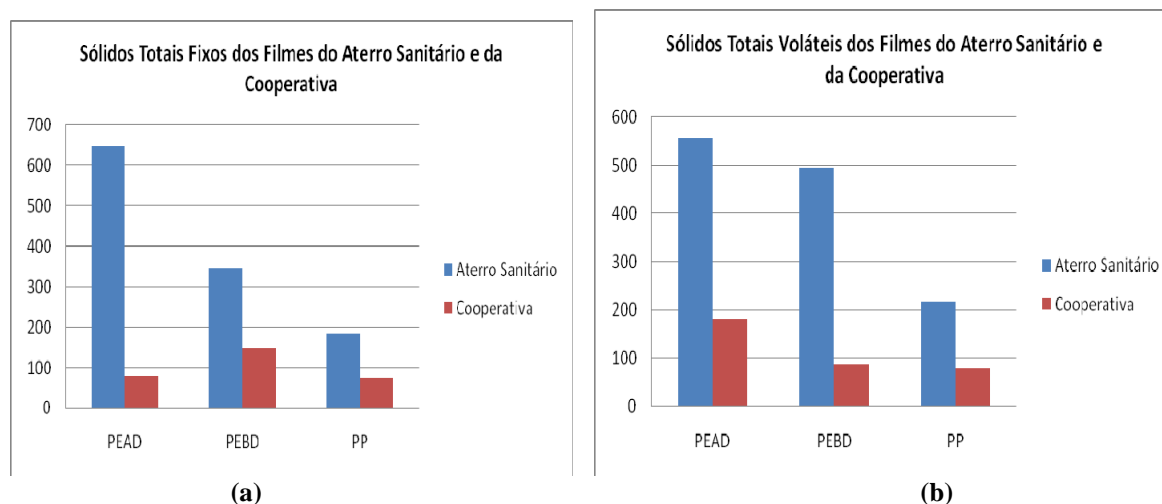


Figura 2: Sólidos Totais Fixos (a) e Sólidos Totais Voláteis (b) dos Efluentes da Lavagem dos Filmes do Aterro e Cooperativa

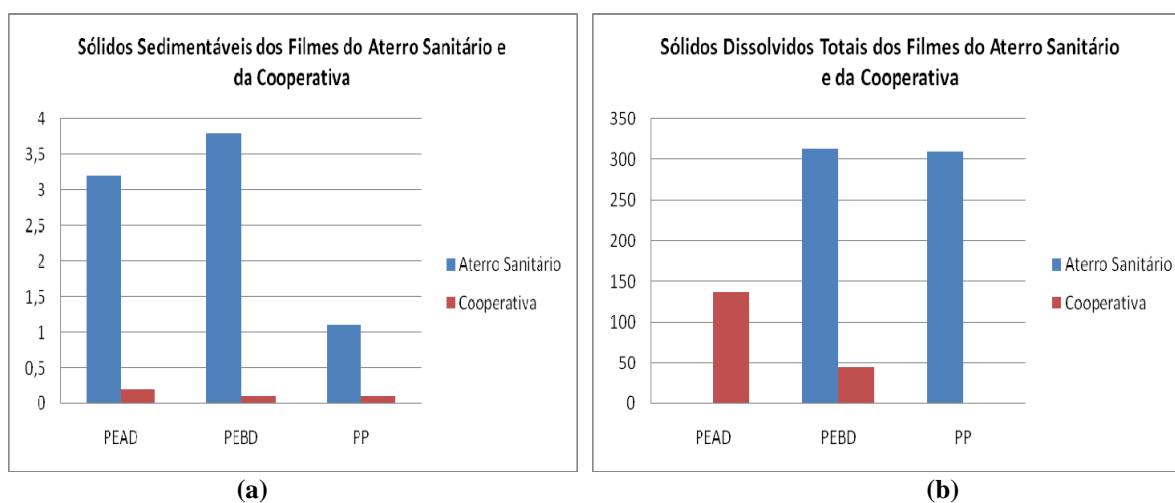


Figura 3: Sólidos Sedimentáveis (a) e Sólidos Dissolvidos Totais (b) dos Efluentes da Lavagem dos Filmes do Aterro e da Cooperativa

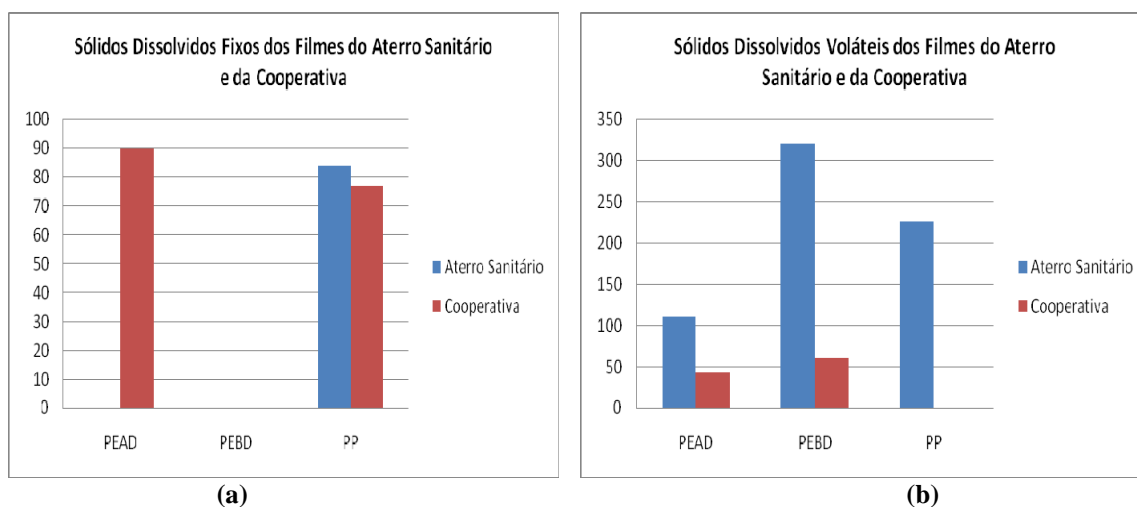


Figura 4: Sólidos Dissolvidos Fixos (a) e Sólidos Dissolvidos Voláteis (b) dos Efluentes da Lavagem dos Filmes do Aterro e da Cooperativa

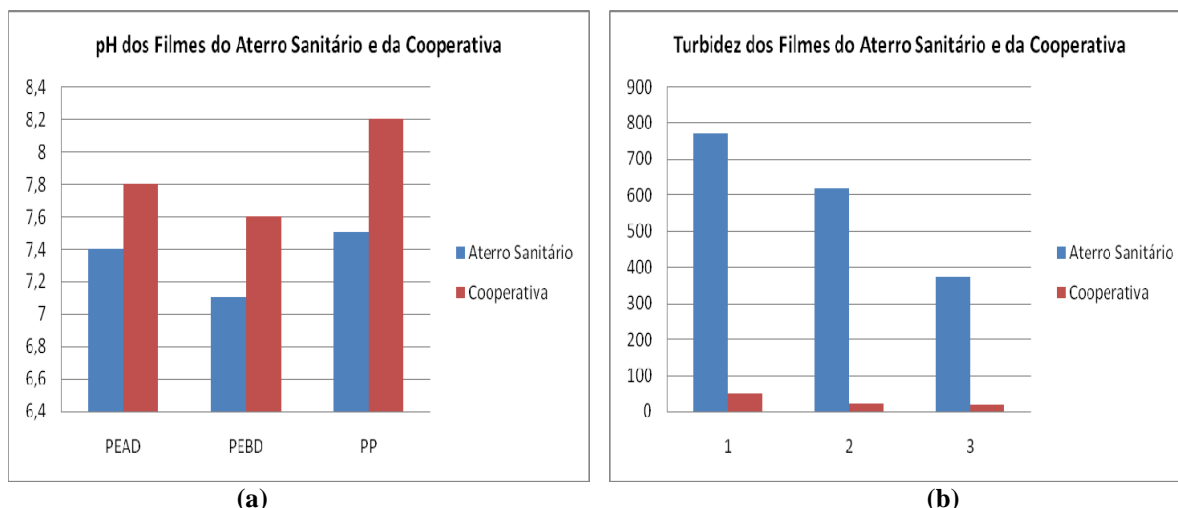


Figura 5: pH (a) e Turbidez (b) dos Efluentes da Lavagem dos Filmes do Aterro e da Cooperativa

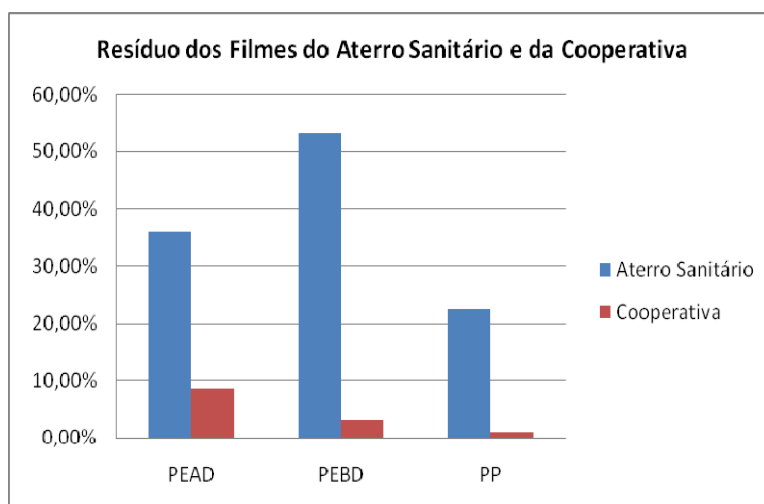


Figura 6: Impurezas nos Filmes do Aterro e da Cooperativa



Pode-se observar, através dos gráficos, que a maioria dos sólidos analisados dos filmes provenientes do aterro sanitário possuem concentrações muito maiores que os sólidos analisados dos filmes provenientes da cooperativa de reciclagem. Percebe-se também, maior acidez na água de lavagem dos filmes do aterro sanitário que dos filmes da cooperativa de reciclagem e maior turbidez na água de lavagem do aterro que a da cooperativa de reciclagem.

Nota-se, pela Figura 6, que o filme que agrega maior porcentagem de impurezas a sua massa no aterro sanitário é o de PEBD. Já o PP é encontrado com menos impurezas, uma vez que geralmente não é utilizado para embalar lixo doméstico, assim como o PEAD e o PEBD. É possível observar ainda que tratam-se de índices altíssimos, chegando quase a 60% numa das amostras (a média para PEBD de coleta misturada foi de 53% e para coleta seletiva 3%). Com base nesses resultados, não é exagero dizer que se um reciclador compra PEAD vindo de aterro, a cada mil quilos de material, estará comprando somente 420kg de plástico.

Para os filmes coletados na cooperativa, o PEAD é o filme com maior porcentagem de impurezas encontrado na cooperativa.

É perceptível a grande diferença encontrada na porcentagem de impurezas impregnadas aos filmes coletados no aterro e aos filmes coletados na cooperativa. Para efeito de comparação, pode-se calcular que os filmes de PEAD destinados ao aterro sanitário são cerca de 4 vezes mais sujos que os provenientes da coleta seletiva, os filmes de PEBD coletados no aterro sanitário são, aproximadamente, 18 vezes mais sujos e os de PP 25 vezes.

De acordo com a resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005, Capítulo IV (Condições e Padrões de Lançamentos de Efluentes), artigo 28 e Capítulo III, Seção II (Condições e Padrões de Qualidade das Águas – Águas Doces), considerando que o corpo receptor do efluente de lavagem dos filmes fosse um rio enquadrado na classe 3, o efluente das coletas no aterro sanitário não poderia ser lançado diretamente no rio. Isto porque não atende as condições de despejo de efluentes (teor de sólidos sedimentáveis máximo de 1mL/L.h) estabelecidas na legislação e/ou tenderia a piorar suas condições, inclusive podendo mudar a classe do corpo receptor. Assim, no caso de uma reciclagem desses resíduos é imperativo um processo de tratamento de efluentes ou encaminhamento desses efluentes à ETE (estação de tratamento de esgoto) mais próxima, uma vez que não está de acordo com os padrões de turbidez e sólidos sedimentáveis definidos na resolução (há uma série de outros parâmetros definidos na legislação, porém não medidos nesta pesquisa). Já o efluente de lavagem dos filmes coletados na cooperativa pode, considerando-se somente os resultados obtidos, ser lançado diretamente neste corpo hídrico, pois os resultados obtidos não ultrapassam os padrões da resolução CONAMA 357. Porém, há de ser ressaltado que a resolução trata de uma série de parâmetros para o lançamento e principalmente para a classificação de um corpo d'água e que o órgão ambiental fiscalizador possa adotar parâmetros mais restritivos se considerar conveniente [13].

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que, ao menos para as indústrias estudadas, a reciclagem de resíduos plásticos que necessitam lavagem é duas vezes mais impactante em termos de consumo de energia e 10 vezes mais em termos de consumo de água do que a reciclagem de resíduos que não necessitam de lavagem (resíduo industrial).

Determinou-se ainda que filmes de PEAD submetidos à coleta misturada, caso fossem recuperados para atividades de reciclagem, são 4 vezes mais sujos que os provenientes de coleta seletiva. No caso de PEBD, os filmes são, aproximadamente, 18 vezes mais sujos e os de PP 25 vezes mais quando provenientes de coleta misturadas em relação aos submetidos à coleta seletiva.

Outros parâmetros, como sólidos totais, sedimentáveis, suspensos, dissolvidos, pH e turbidez também forneceram, em linhas gerais, resultados piores para os plásticos coletados em aterro em relação aos coletados em cooperativas.

De acordo com a legislação federal vigente, se o efluente de lavagem dos filmes do aterro sanitário fosse lançado num corpo d'água classe 3, este necessitaria de tratamento prévio, já o efluente de lavagem dos filmes da cooperativa de reciclagem poderia, em princípio, ser lançado diretamente no rio sem tratamento prévio.



Desta forma, conclui-se que a reciclagem de filmes de polietileno e polipropileno é bem menos impactante ambientalmente e menos onerosa (pois não necessariamente necessita de tratamento) quando estes são coletados por meio da coleta seletiva. Porém, quando a coleta é misturada a reciclagem é bem mais impactante e pode não ser compensatória economicamente, uma vez que o efluente de lavagem deve ser tratado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Banco Real (Projeto de Pesquisa Convênio UNESP/Banco Real) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Projeto Jovem Pesquisador, processo 2004/08718-9) pelo apoio financeiro. Ainda, agradecem à Marcos Vinícius Pereira Remédio, Flávio Dini (proprietários das indústrias visitadas), Prefeitura Municipal de Sorocaba (proprietária do aterro) e à Cooperativa Reviver, por disponibilizar os locais onde ocorreram as coletas de amostras, bem como à Juliane Ziviani, Gabriela Antoniol, Vanessa Alves Mantovani, Natália Nogueira, Paula Maria Biral e Thaís Máscia Cechi pela ajuda nas medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Anuário Brasileiro da Indústria Química 2005. Abiquim, São Paulo, 2006.
2. Instituto Sócio-ambiental do Plástico. Elaboração e Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil em 2006. Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br>>. Acesso em 7 mai. 2009.
3. MANO, E.B.; MENDES, L.C. Identificação de Plásticos, Borrachas e Fibras. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 2000.
4. MANRICH, S.; FRATTINI, G.; ROSALINI, A.C. Identificação de Plásticos: uma ferramenta para reciclagem. Editora da UFSCar, São Carlos, Brasil, 1997.
5. PIVA, A. M.; e WIEBECK, H. Reciclagem do Plástico. Art Líber. São Paulo, Brasil, 2004.
6. ZANIN, M.; MANCINI, S.D. Resíduos Plásticos e Reciclagem: Aspectos Gerais e Tecnologia. : Editora da UFSCar, São Carlos, Brasil, 2004.
7. CEMPRES – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Portal da entidade. Disponível em:<<http://www.cempre.org.br>> Acesso em 5 mai. 2009.
8. MANCINI, S.D., NOGUEIRA, A.R., KAGOHARA, D.A., SCHWARTZMAN, J.A.S., MATTOS, T., ROSA, A.H. Influência do tipo de coleta (comum ou seletiva) na reciclagem de filmes de poliolefinas pós-consumo. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.XVIII, n.4, p. 289-296, out/dez. 2008.
9. UNEP – United Nations Environment Programme. Life Cycle Assessment: What it is and How to do It. UNEP, Paris, França, 1996.
10. VALT, R. B. G. Ciclo de Vida para Embalagens de Bebida no Brasil. Thesaurus, Brasília, Brasil, 2007.
11. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistemas de Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura - NBR - ISO 14.040. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
12. APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª Ed. United Book Press, Baltimore, EUA, 1998.
13. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 357/2005. CONAMA, Brasília, Brasil, 2005.