

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

JULIANA MATOS SEIDEL

**Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental das várias
formas de reciclagem de embalagens cartonadas revestidas com
plástico e alumínio**

São Paulo

2004

JULIANA MATOS SEIDEL

**Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental das várias
formas de reciclagem de embalagens cartonadas revestidas com
plástico e alumínio**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo– IPT, para
obtenção do título de Mestre em Tecnologia
Ambiental.

Área de concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Dr. José Mangolini Neves

São Paulo

2004

Seidel, Juliana Matos

Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental das várias formas de reciclagem de embalagens cartonadas revestidas com plástico e alumínio. / Juliana Matos Seidel. São Paulo, 2004.

123p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Mangolini Neves

1. Embalagem acartonada 2. Reciclagem 3. Impacto ambiental 4. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico II. Título

CDU 621.798:504.062(043)

Aos meus pais que nunca deixaram de confiar em sua filha e foram os primeiros a mostrar que tudo vale à pena e ao meu marido, Antonio Carlos, pela confiança e apoio em todos os momentos.

A todos aqueles que lutam por um mundo melhor para todos nós.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por estar aqui e poder contribuir para um mundo melhor.

A minha família pela compreensão, revisões e apoio a todas as minhas decisões.

Ao Antonio Carlos por toda a compreensão, carinho, discussões e contribuições a esse trabalho.

Ao Prof. Dr. José Mangolini Neves pela orientação e discussões do trabalho.

A Tetra Pak Ltda e, principalmente, aos colegas do Departamento de Desenvolvimento Ambiental que tanto contribuíram para esse trabalho com discussões, trocas de informações e estudos nos assuntos aqui tratados.

As empresas que hoje já processam embalagens cartonadas e acreditaram nisso como alternativa de trabalho.

RESUMO

O comprometimento com a busca do desenvolvimento sustentável é essencial para a obtenção de um planeta com qualidade de vida e respeito ao meio ambiente. Esse intuito deve estar presente em todas as ações de uma sociedade e em seus diversos setores, sem estar desvinculado das atividades técnicas e econômicas que regem o desenvolvimento.

Nesse contexto está inserido o setor de embalagens e um dos fatores de preocupação é a destinação pós-consumo, após as embalagens cumprirem suas funções. Este trabalho estuda as embalagens cartonadas laminadas com plástico e alumínio desde a sua formação, seus componentes e as diversas alternativas de descarte e tratamento do material pós-consumo, como formas de reaproveitamento e reciclagem. Além disso, analisa criticamente essas últimas etapas para a determinação da viabilidade operacional técnico-econômica e seu impacto ambiental. Os casos objetos desta análise foram a reciclagem em indústrias de papel para recuperação de fibras celulósicas, a reciclagem do plástico e alumínio em indústrias de plásticos para produção de “pellets” e em fábricas de telhas. O uso das embalagens cartonadas em indústrias papeleiras mostrou-se muito interessante e com custos de produção muito próximos e até menores, se comparados com o uso de aparas de papelão na preparação da massa celulósica: cerca de 7% menor quando há a venda do plástico/alumínio para reciclagem e 0,08% maior quando o sub-produto é encaminhado para aterros industriais. Os outros casos analisados também mostraram-se viáveis do ponto de vista técnico-econômico e ambiental, com geração de resíduos que podem ser reaproveitados em outros processos produtivos. O prazo de retorno de investimento em uma unidade de fabricação de “pellets” é de 10 meses e o de fabricação de telhas, de 1 ano e 8 meses.

Dessa forma, conclui-se que o processo de reciclagem de embalagens cartonadas é viável como um todo e que estudos para aprimoramento dessas atividades são muito importantes, além de haver espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias de recuperação desses materiais.

Palavras-chave: Viabilidade técnica, econômica e ambiental; Reciclagem; Embalagens cartonadas.

ABSTRACT

The search for sustainable development is essential to obtain high levels of quality life and respect to the environment in our planet. This purpose must be present in all sectors of society, not forgetting to connect it to the technical and economical activities that rule the development.

The packaging sector is part of this world and its main concern is the package post-consumption destination. This paper aims to study the beverage cartons from their components until the treatment of post-consumption material such as reusing and recycling possibilities. It also analyses critically the last fases to determine its technical and economic viabilities as well as the impact on the environment. The objects of this analysis were the recycling of beverage cartons in paper industry in order to recover the cellulose fibre and the recycling of plastic and aluminium in plastic industries for the production of plastic pellets and in roof tiles industry. The process of using beverage cartons in paper industry became very interesting and, in some cases, the production cost revealed to be less expensive than the use of old corrugated containers to produce cellulose paste. It is 7% lower than the use of corrugated containers if the plastic and aluminium are sold to recyclers and only 0,08% higher if the residues are sent to landfills. Both productions of recycled pellets and roof tiles appeared to be viable in the technical, economical and environmental aspects, generating residues that can be used in other production processes, instead of being sent to landfills. The costs of production should be recovered in about 10 months for pellets production and 1 year and 8 months for the industry of roof tiles.

The analysis concludes that the recycling of beverage cartons is not only possible— recovery of paper fibre and recycling of plastic and aluminium to produce pellets or roof tiles —, but it is important to continue the studies in order to improve all these applications. Moreover, new technologies and other processes to recover the materials from beverage cartons in separate forms can be developed.

Key words: Technical, economical and environmental analysis; Recycling; Beverage cartons.

Lista de figuras

Figura 1 – Esquema da estrutura multicamadas das embalagens cartonadas laminadas .	4
Figura 2 - Mercado de embalagens no mundo em 1996	10
Figura 3 – Distribuição do consumo de materiais na indústria brasileira de embalagens em função da avaliação econômica do mercado – ano 2001.....	11
Figura 4 – Distribuição do consumo de materiais na indústria de embalagens brasileira em função da quantidade em peso – ano 2001	12
Figura 5 – Corte transversal da embalagem cartonada mostrando as diferentes espessuras das suas multicamadas.....	18
Figura 6 – Destino final dos resíduos domiciliares no Brasil em 2000.....	19
Figura 7 – Peças artesanais feitas com o reaproveitamento de embalagens longa vida.	29
Figura 8 – Bijuteria feita com o reaproveitamento de embalagens longa vida	29
Figura 9 – Representação esquemática da reciclagem de embalagens longa vida.....	31
Figura 10 – Fluxograma representativo do processo de reaproveitamento das fibras de papel de embalagens longa vida em indústrias papeleiras	37
Figura 11 – Possibilidades de destino para os sub-produtos do processo de reciclagem de embalagens longa vida.....	55
Figura 12 – Fluxograma para representação do processo de fabricação de placas ou telhas a partir do uso de plástico/alumínio reciclado de embalagens longa vida ...	75
Figura 13 – Fluxograma para representação do processo de fabricação de pellets reciclados a partir do plástico/alumínio de embalagens longa vida	94

Lista de tabelas

Tabela 1 – Custos dos principais equipamentos de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras celulósicas.....	57
Tabela 2 – Custo final para uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibra de papel.....	58
Tabela 3 – Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras de papel.....	58
Tabela 4 – Determinação dos custos fixos totais para planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras celulósicas.....	59
Tabela 5 – Balanço de massa para a desagregação de embalagens longa vida (tempo de desagregação de 40 min.)	60
Tabela 6 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 40 min.....	61
Tabela 7 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 40 min.....	62
Tabela 8 – Balanço de massa para a desagregação de embalagens longa vida (tempo de desagregação de 20 min.)	63
Tabela 9 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 20 min.....	64
Tabela 10 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 20 min.....	64
Tabela 11 – Balanço de massa para a desagregação de aparas de papelão (tempo de desagregação de 5 min.)	66

Tabela 12 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de aparas de papelão – tempo de desagregação de 5 min.....	67
Tabela 13 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de aparas de papelão – tempo de desagregação de 5 min.....	67
Tabela 14 – Resumo dos custos de produção por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação	68
Tabela 15 – Comparação do consumo energético por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação.....	70
Tabela 16 – Comparação do consumo de água por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação	70
Tabela 17 – Descrição e custos para aquisição dos principais equipamentos necessários para a fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida	77
Tabela 18 – Custo final para instalação da planta de fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida.....	78
Tabela 19 – Balanço de massa para fabricação de telhas de plástico/alumínio reciclados	79
Tabela 20 – Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida ...	80
Tabela 21 – Determinação dos custos fixos por tonelada produzida de telha reciclada de plástico/alumínio	81
Tabela 22 – Determinação do custo variável por tonelada produzida de telha reciclada de plástico/alumínio.....	82
Tabela 23 – Custo de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de telha de plástico/alumínio	83

Tabela 24 – Descrição e custos para aquisição dos equipamentos necessários para a fabricação de “pellets” reciclados de plástico/alumínio proveniente da recuperação de fibras celulósicas das embalagens longa vida.....	96
Tabela 25 – Custo final para instalação da planta de fabricação de “pellets” reciclados	97
Tabela 26– Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de fabricação de “pellets”	97
Tabela 27 – Balanço de massa para a fabricação de “pellets” de plástico/alumínio de embalagens longa vida e recuperação de fibra celulósica residual	98
Tabela 28 – Determinação dos custos fixos por tonelada produzida de “pellets” reciclados de plástico/alumínio	99
Tabela 29 – Determinação do custo variável por tonelada produzida de “pellets” reciclados de plástico/alumínio	100
Tabela 30 – Custo de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de “pellets”	101
Tabela 31 – Resumo dos custos de produção por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e diferentes tempos de desagregação.....	111
Tabela 32 – Resumo dos dados de viabilidade dos empreendimentos de reciclagem de plástico/alumínio para fabricação de telhas e de “pellets” reciclados	112

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio

ABRE – Associação Brasileira de Embalagens

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CC - Custos de Comercialização

CF - Custos Fixos

CFU - Custo Fixo Unitário

COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

CUP - Custo Unitário de Produção

CV - Custos Variáveis

CVU - Custo Variável Unitário

DSC – Differential Scanning Calorimetry (Calorimetria Diferencial de Varredura)

I - Investimento Total do Empreendimento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS – Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IRPJ – Imposto de Renda de Pessoa Jurídica

L - Lucro Líquido

Luc - Lucratividade

ML - Margem de Lucro

MC - Margem de Contribuição do Lucro

PEq - Ponto de Equilíbrio

PE – Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEBD - Polietileno de Baixa Densidade

PEBDL – Polietileno de Baixa Densidade Linear

PET - Polietileno Tereftalato

PEV – Ponto de Entrega Voluntária

PIS – Programa de Integração Social

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVC - Policloreto de Vinila

PVU - Preço de Venda Unitário

Q - Quantidade

R total - Receita Total

Ren - Rentabilidade

Ret - Prazo de Retorno

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SENAC – Serviço Nacional do Comércio

SENAI – Serviço Nacional da Indústria

SESC – Serviço Social do Comércio

SESI – Serviço Social da Indústria

Sumário

Resumo

Abstract

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. JUSTIFICATIVA	5
4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	6
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
5.1. EMBALAGENS	8
<i>5.1.1. Histórico do uso de embalagens.....</i>	<i>9</i>
5.2. O MERCADO DE EMBALAGENS	10
5.3. TIPOS DE EMBALAGENS	13
<i>5.3.1. Alumínio</i>	<i>14</i>
<i>5.3.2. Papel cartão</i>	<i>15</i>
<i>5.3.3. Polietileno.....</i>	<i>16</i>
5.4. A EMBALAGEM CARTONADA	17
5.5. O DESCARTE DE EMBALAGENS	19
<i>5.5.1. Vazadouro a céu aberto (lixão)</i>	<i>20</i>
<i>5.5.2. Aterro Sanitário.....</i>	<i>21</i>
<i>5.5.3. O descarte de embalagens cartonadas em vazadouros a céu aberto e aterros sanitários.</i>	<i>23</i>

5.5.4. Coleta Seletiva.....	24
5.6. A REUTILIZAÇÃO DA EMBALAGEM CARTONADA	27
5.6.1. Atividades em pequena escala para reutilização de embalagens	28
5.6.2 Forração de casas populares	30
5.7. RECICLAGEM DA EMBALAGEM CARTONADA	31
5.7.1 Reaproveitamento das fibras de papel	32
5.7.2. Reaproveitamento das fibras de papel presentes nas embalagens cartonadas	35
5.7.3. Beneficiamento das camadas de plástico/alumínio.....	38
5.7.4. Destinação de rejeitos para aterro industrial.....	38
5.7.5. Reciclagem de polietileno de baixa densidade.....	39
5.7.6. Reciclagem de plástico/alumínio.....	42
5.7.7. Produção de placas e telhas.....	44
5.7.8. Recuperação do alumínio.....	46
5.8. ANÁLISE DE VIABILIDADE OPERACIONAL, TÉCNICA-ECONÔMICA	47
6. CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DE CASOS DE ESTUDO	48
7. ESCOLHA DE CASOS DE ESTUDO	50
8. ESTUDO DE VIABILIDADE DOS CASOS ESCOLHIDOS	50
8.1. RECICLAGEM DA EMBALAGEM CARTONADA EM INDÚSTRIA DE PAPEL PARA RECUPERAÇÃO DE FIBRA CELULÓSICA	51
8.1.1 Desagregação de embalagens longa vida – 40 minutos	59
8.1.2. Desagregação de embalagem longa vida – 20 minutos.....	62
8.1.3. Desagregação de aparas de papelão	65
8.1.4 Comparação dos resultados para obtenção de fibra de papel a partir de fontes alternativas	68
8.2. RECICLAGEM DO PLÁSTICO/ALUMÍNIO PARA FABRICAÇÃO DE PLACAS E TELHAS	72
8.3. RECICLAGEM DO PLÁSTICO/ALUMÍNIO PARA FABRICAÇÃO DE “PELLETS”	90

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
-------------------------------------	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
--	------------

1. Introdução

A história humana sempre evoluiu tendo como base o desenvolvimento. Inicialmente foi o do próprio ser humano e depois de sua interação com o meio em que estava inserido, sempre com o objetivo de melhorar a sua vida. Esses passos podem ser observados desde o início da pré-história com as ferramentas feitas em pedra lascada e, em seguida, com o uso da pedra polida. O homem descobre, então, o fogo e inicia os trabalhos com cerâmica e depois com os metais. Milhares de anos mais tarde, o desenvolvimento de novos processos de produção dos aços e dos ferros fundidos permitiu a viabilização da revolução industrial. A partir desta, as inovações tecnológicas sempre continuaram e hoje não é mais possível nos imaginarmos sem esses recursos.

Em todas essas etapas, entretanto, não houve nenhuma preocupação com o meio ambiente. Ela só começa a aparecer após o surgimento de alguns desastres ambientais, como a contaminação por mercúrio em Minamata no Japão em 1959, o derramamento de óleo do petroleiro Torrey Canyon na Inglaterra em 1967 (SERRA, 2002) e aos primeiros sinais de possível esgotamento do planeta, caso os mesmos padrões de consumo dos países ricos continuassem, conforme colocado pelo relatório para o Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade de Meadows em 1978 (MEADOWS, 1978).

A solução encontrada foi a necessidade do estabelecimento de um desenvolvimento sustentável, uma alternativa para continuação do desenvolvimento econômico atendendo às necessidades do momento atual sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades. Segundo Ignacy Sachs (1994), o conceito de ecodesenvolvimento, ou desenvolvimento sustentável como veio a ser conhecido mais tarde, incorpora cinco dimensões: a social, a econômica, a ecológica, a espacial e a cultural. A primeira trata da necessidade de construir uma civilização com maior equidade da distribuição de renda e bens. A sustentabilidade econômica seria possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e uma eficiência econômica deveria ser avaliada em termos macrossociais e não por critérios de rentabilidade empresarial de caráter

microeconômico. Já a dimensão ecológica deve ser conseguida pela intensificação do uso potencial de recursos diversos, sem danos ao meio ambiente; pela limitação do consumo de combustíveis fósseis e recursos facilmente esgotáveis; pela redução do volume de resíduos e da poluição com conservação de energia e de recursos e reciclagem; pela intensificação nas pesquisas em tecnologias de baixo teor de resíduos e mais eficientes, com a definição de normas adequadas para proteção ambiental. A sustentabilidade espacial consistiria na redução da concentração de população nas áreas metropolitanas, na diminuição da destruição dos ecossistemas frágeis, na exploração do potencial da industrialização descentralizada e na criação de uma rede de reservas naturais para proteção da biodiversidade. Todas essas dimensões seriam complementadas pelo lado cultural, pois as mudanças sugeridas devem ser feitas sem alterar a cultura do povo. Portanto, muitas dessas soluções devem ser específicas para um local com ecossistema, cultura e área particulares.

Esse novo conceito de desenvolvimento deve ser baseado em tecnologias ambientais que busquem não degradar o meio ambiente. Entende-se por tecnologias ambientais os equipamentos de produção, os métodos e procedimentos, os desenvolvimentos de produtos e os mecanismos de distribuição que conservam energia e recursos naturais, que minimizam a carga ambiental das atividades humanas e protegem o meio ambiente natural (SHRIVASTAVA, 1995). É necessário, portanto, alterar os conceitos de desenvolvimento econômico e incluir preocupações ambientais em todas as etapas, desde os equipamentos, passando por métodos e procedimentos, projetos de produto, mecanismos de entrega, conservação de energia e recursos naturais e minimização da carga das atividades humanas. Esse processo é fundamental e representa o caminho para o uso das tecnologias ambientais.

A incorporação do meio ambiente deve ser colocada também como variável econômica. Nesse sentido o ambiente é visto como fonte de recursos naturais para o consumo direto, como fonte de água e ar para respiração e espaço para lazer, como fonte de insumos para produção (matérias-primas e energia) e como receptor de resíduos de produção e de consumo em geral.

Dentro desse contexto, está inserido um setor que tem crescido muito nos últimos anos – o setor de embalagens. Este é composto, principalmente, por indústrias que trabalham com materiais de descarte rápido e que necessitam retornar para o processo produtivo para terem um ciclo de vida um pouco maior. Apesar desse curto tempo de vida como embalagens, sua função é importantíssima também do ponto de vista ambiental. Além de identificarem o produto e trazerem informações sobre uso, regulamentações e cuidados, as embalagens também protegem seus produtos, facilitam o transporte entre a produção e os diversos pontos de venda até a chegada ao consumidor final e evitam descartes desnecessários e desperdícios. Em toda essa indústria, procura-se sempre trabalhar com materiais recicláveis, tais como os plásticos (de preferência os termoplásticos, que podem ser facilmente retrabalhados), o vidro, os metais e o papel.

Com o objetivo de atender todos os requisitos de uma embalagem a um custo mínimo e resultado competitivo, tem crescido o uso de materiais combinados, em que as propriedades de cada material componente são maximizadas (DANTAS, 2000) e um desses exemplos são as embalagens cartonadas, também denominadas embalagens compostas de laminados de papel revestido com plástico e alumínio. Esse tipo de embalagem utiliza o papel cartão (camada 2 na figura 1) para fornecer estrutura e dar forma ao recipiente, o plástico é usado como impermeabilizante externo (camada 1 da figura), como camada de adesão (item 3) do papel e do alumínio e como contato com o produto envasado (camadas 5 e 6). Neste caso é o alumínio (item 4) que realmente protege o produto evitando a entrada de luz, ar, contaminantes e a saída de aromas (ABLV, 2002).

Essa estrutura multicamadas pode ser melhor visualizada na figura 1.

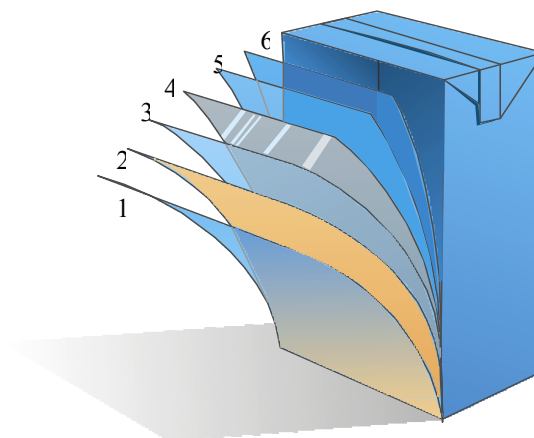


Figura 1 – Esquema da estrutura multicamadas das embalagens cartonadas laminadas

Fonte: ABLV, 2002.

Esse tipo de embalagem tem sua maior aplicação na indústria alimentícia. Após cumprir a sua função de embalagem, é gerada uma grande quantidade de resíduos em locais diversificados. São os resíduos pós-consumo gerados por todos os consumidores junto com os outros resíduos sólidos urbanos, como materiais orgânicos, entulhos e outros rejeitos. Por muito tempo, não houve uma preocupação com a destinação adequada desses materiais. Entretanto, esse é um assunto que se faz cada vez mais urgente, uma vez que a quantidade de resíduos aumenta diariamente e a disposição final é cada vez mais complicada.

Para que haja um destino ambientalmente adequado a todo esse material, é necessário o estabelecimento de um gerenciamento integrado de resíduos em busca de soluções mais adequadas para cada tipo de material. Para a maioria das embalagens deve ser incluído um sistema de coleta seletiva para que os materiais recicláveis sejam separados e enviados para empresas recicladoras. O conceito de reciclagem aplicado por essas empresas pode ser entendido como um ou mais processos responsáveis por introduzir um produto ou material que já tenha servido aos propósitos a que se destinava em um ou mais processos produtivos, transformando-o em um novo produto com características iguais, semelhantes, ou diferentes do anterior (DUSTON, 1993).

2. Objetivos

Objetivo geral:

Levantar informações e estudar as diversas formas de reciclagem das embalagens cartonadas compostas de laminado de papel revestido com plástico e alumínio (embalagem cartonada) com o intuito de analisá-las criticamente em termos de sua viabilidade operacional, técnica e econômica, impacto ambiental e aplicabilidade de seus produtos.

Objetivos específicos:

- Levantar informações sobre os componentes das embalagens cartonadas;
- Estudar e analisar criticamente as alternativas existentes para disposição e destinação dos resíduos pós-consumo de embalagens cartonadas;
- Estudar e analisar criticamente as alternativas existentes de reuso e reciclagem da embalagem cartonada e de todos os seus componentes – papel, plástico e alumínio;
- Analisar a viabilidade operacional, técnica, econômica e ambiental dessas alternativas.

3. Justificativa

O uso cada vez maior de embalagens tem contribuído para um tratamento adequado dos alimentos e uma diminuição na geração de desperdícios de matérias orgânicas. Entretanto, essa alteração não diminui a importância da destinação adequada dos resíduos pós-consumo, tanto para as embalagens como para os rejeitos. Essa destinação passa pela existência de locais adequados para a disposição dos materiais descartados e, principalmente, pela existência de alternativas de reuso e reciclagem.

À primeira vista, as embalagens cartonadas, objeto de estudo deste trabalho, parecem ser um tanto complexas para reciclagem, uma vez que são produtos de multicamadas de papel cartão, polietileno de baixa densidade e alumínio. Entretanto, o processo de reciclagem pode ser realizado com pequenas adaptações em processos já estabelecidos para a reciclagem de papel e de termoplásticos.

Apesar de serem esses processos de reciclagem já conhecidos, em cada um deles são observadas peculiaridades específicas quando se trabalha com embalagens cartonadas. Portanto, faz-se necessário conhecer cada uma destas peculiaridades e as interações entre as mesmas para viabilizar a reciclagem destas embalagens como um todo a fim de inseri-las novamente no mercado com um menor impacto para o meio ambiente, além de respeitar as características do mercado brasileiro.

Um estudo preliminar dos tipos de componentes das embalagens é fundamental para auxiliar na escolha dos processos mais adequados e das adaptações necessárias em cada um deles para o melhor aproveitamento das matérias-primas presentes na embalagem cartonada.

4. Métodos e procedimentos

Esse trabalho está dividido em diversas etapas, apresentadas a seguir:

a) Levantamento bibliográfico

Nessa etapa foram levantadas informações sobre as características dos principais componentes das embalagens multicamadas. Procuraram-se, também, na literatura dados que envolvessem as tecnologias de reciclagem existentes para esses componentes e para as embalagens onde são utilizados, procurando-se, inclusive, dados sobre análises de viabilidade técnica-econômica de empreendimentos recicladores;

- b) Análise das diversas alternativas existentes de disposição e reciclagem com base na literatura e em dados coletados em campo, incluindo a escolha de casos para estudo. Para esta escolha, o caso teve que atender a uma série de requisitos, que também foram estabelecidos neste trabalho;
- c) Coleta dos dados específicos de cada caso
Coleta e verificação de dados dos sistemas implementados, procurando levantar informações do empreendimento, de suas facilidades e dificuldades e sobre a disposição e reciclagem dos novos produtos e resíduos gerados;
- d) Análise dos dados coletados
Análise dos dados obtidos para definição do (s) caso (s) de estudo. Etapa em que foram levantados todos os dados necessários para a análise da viabilidade técnica e econômica do (s) caso (s) escolhido (s) para estudo;
- e) Estabelecimento dos casos para estudo de viabilidade técnica e econômica
Análise crítica dos dados existentes para determinação de um caso problema;
- f) Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental
A partir dos dados coletados e com as possíveis modificações necessárias levantadas durante a pesquisa bibliográfica e os possíveis testes, levantar os custos envolvidos nas etapas de reciclagem e característicos de todo o processo de reaproveitamento da embalagem. Além disso, levantar os consumos energéticos, de água, as matérias-primas, os resíduos e sua destinação em cada uma das situações.

5. Revisão Bibliográfica

Para um estudo completo sobre a viabilidade da reciclagem das embalagens multicamadas foi necessário um levantamento dos usos e das funções das embalagens, assim como de seus componentes. Além disso, foi preciso analisar o seu descarte e as diversas destinações pós-consumo, tais como aterros sanitários para disposição final, as possibilidades de reuso e alternativas de reciclagem para incorporação do material novamente nos processos produtivos.

5.1. Embalagens

O uso de embalagens é uma prática comum em nossos tempos, mas sua definição é um tanto complexa por ser reconhecida de formas diferentes por cada indivíduo. Segundo Pichler (1984), embalagem é a interface entre um produto e os ambientes físicos e sociais (culturais) de distribuição. Dentro deste conceito, é possível definir e classificar as embalagens de acordo com suas aplicações e também escolher os materiais mais adequados para cada uma delas.

Alguns estudos dividem as embalagens em três categorias (HANLON, 1971). A primeira é a das embalagens para consumo. Geralmente esta é constituída por embalagens pequenas e em grandes quantidades, cuja finalidade é disponibilizar os produtos em apresentação adequada para o consumidor final, de maneira atrativa e com todas as informações necessárias para sua aquisição imediata. A outra categoria é a de embalagens industriais, que são fabricadas em unidades grandes e resistentes, sem necessidade de informações extras ou aparência atrativa. A última categoria seria a de materiais de uso militar, visando apenas a proteção do material embalado.

Independentemente de sua aplicação, as embalagens contribuem tanto para a diminuição das perdas de produtos primários, quanto para a preservação dos padrões de vida atualmente praticados. Elas são feitas de diversos materiais e podem ser

apresentadas de diferentes formas e modelos. Entretanto, suas funções de fornecer estrutura, apresentar uma estética adequada, ter estilo, funcionar como forma de comunicação e veículo para atender os requisitos legais devem ser constantes nas mais diferentes formas de apresentação. A necessidade do desenvolvimento de embalagens mais adequadas, convenientes e competitivas aumenta à medida que aumentam as exigências na qualidade dos produtos.

5.1.1. Histórico do uso de embalagens

As primeiras embalagens surgiram há mais de 10.000 anos e serviam como simples recipientes para beber ou estocar, como cascas de coco ou conchas de mar sem qualquer beneficiamento. A primeira matéria-prima utilizada em grande escala para a produção de embalagens foi o vidro, mas o grande crescimento do uso de outras matérias-primas aconteceu após a Segunda Guerra Mundial. Por exemplo, o uso de embalagens de folha de Flandres difundiu-se muito, ocorrendo também um aumento enorme no uso de alumínio para embalagens (ABRE, 2002).

Nesse mesmo período, começa a estrutura de supermercados e surge a necessidade maior das embalagens permitirem que os alimentos fossem transportados dos locais de produção até esses centros de distribuição, mantendo-os estáveis por longos períodos de estocagem. Assim, as embalagens de papel começam a ocupar o seu espaço por atenderem bem esses requisitos. O desenvolvimento do uso de embalagens plásticas também acontece no período pós-guerra e estas apresentam as seguintes vantagens: são mais leves, mais baratas e mais fáceis de se produzir.

No Brasil, até 1945, poucos produtos eram comercializados pré-acondicionados. A maioria dos itens de primeira necessidade eram vendidos a granel, pesados no balcão e embrulhados em folhas ou sacos de papel. Mas após a Segunda Guerra, a necessidade de substituição de importações impulsiona a demanda por embalagens e o setor começa o seu grande crescimento (ABRE, 2002).

5.2. O mercado de embalagens

O mercado de embalagens vem crescendo muito nos últimos anos. Em 1996, representou um valor de US\$ 415 bilhões no mundo inteiro seccionado conforme está apresentado na figura 2.

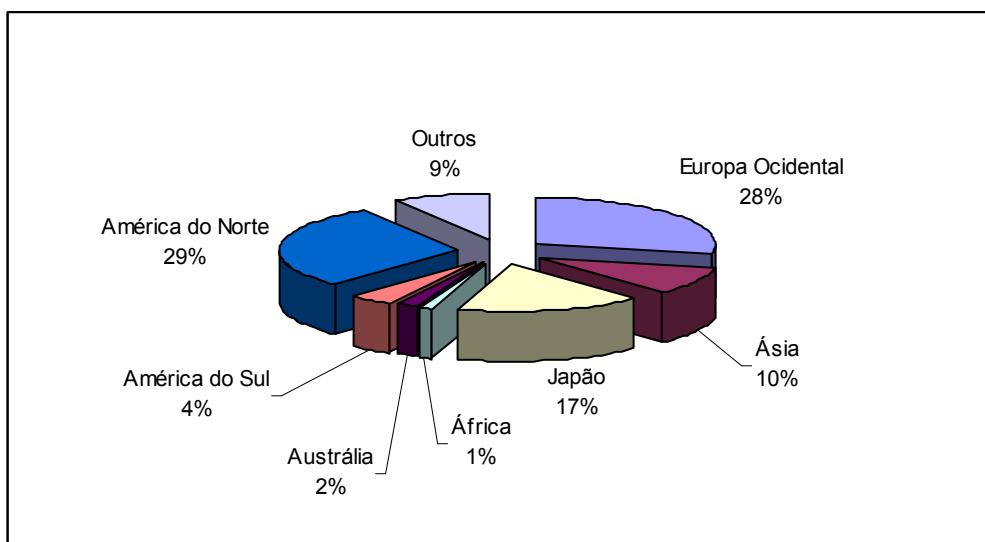


Figura 2 - Mercado de produção de embalagens no mundo em 1996

Fonte: DATAMARK, 2003b

A figura 2 mostra que o mercado de embalagens é muito maior em países industrializados, como os da América do Norte (29% da produção mundial), os da Europa Ocidental (28%) e o Japão (17%), enquanto a América do Sul é responsável por apenas 4%. Essa situação mostra que a indústria de embalagens acompanha o crescimento de um país e será mais expressiva quanto maior for a participação produtiva deste.

De acordo com a Datamark (2003a), a indústria de embalagens no Brasil no ano de 2001 foi avaliada em US\$ 9,1 bilhões, englobando todos os seus tipos, como mostra a figura 3. Por este gráfico é possível perceber que cada material apresenta uma contribuição diferente nos mais diversos tipos de indústria, sendo que os plásticos

representam 30% do valor desse mercado, as embalagens flexíveis correspondem a 20% e os metais respondem por 21%. A menor representação do volume de negócios de embalagens fica a cargo do vidro com um participação de 5%.

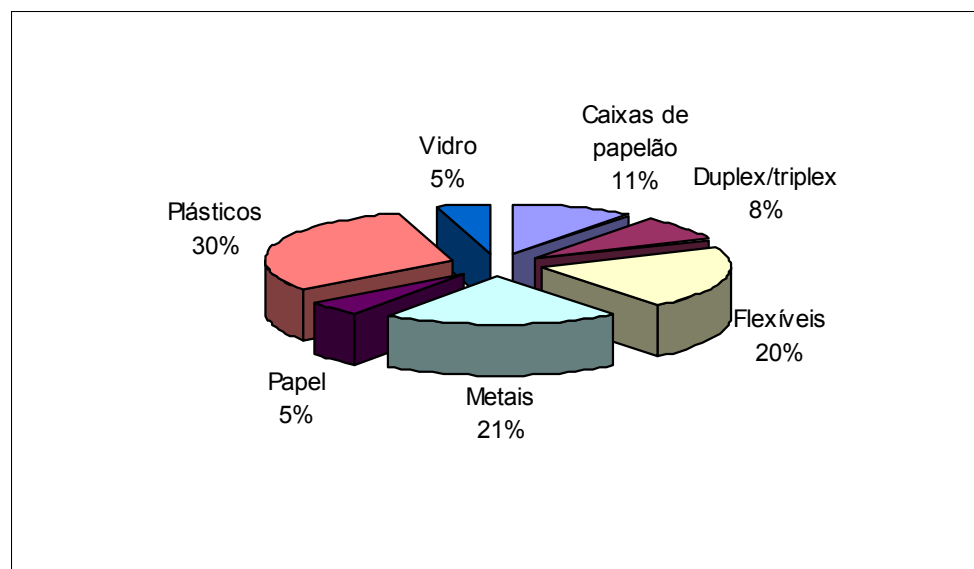


Figura 3 – Distribuição do consumo de materiais na indústria brasileira de embalagens em função da avaliação econômica do mercado – ano 2001

Fonte: DATAMARK, 2003a

A distribuição dos diversos tipos de materiais em função da sua contribuição no peso total de embalagens produzidas no Brasil, que em 2001 foi de 5,8 milhões de toneladas, é apresentada na figura 4.

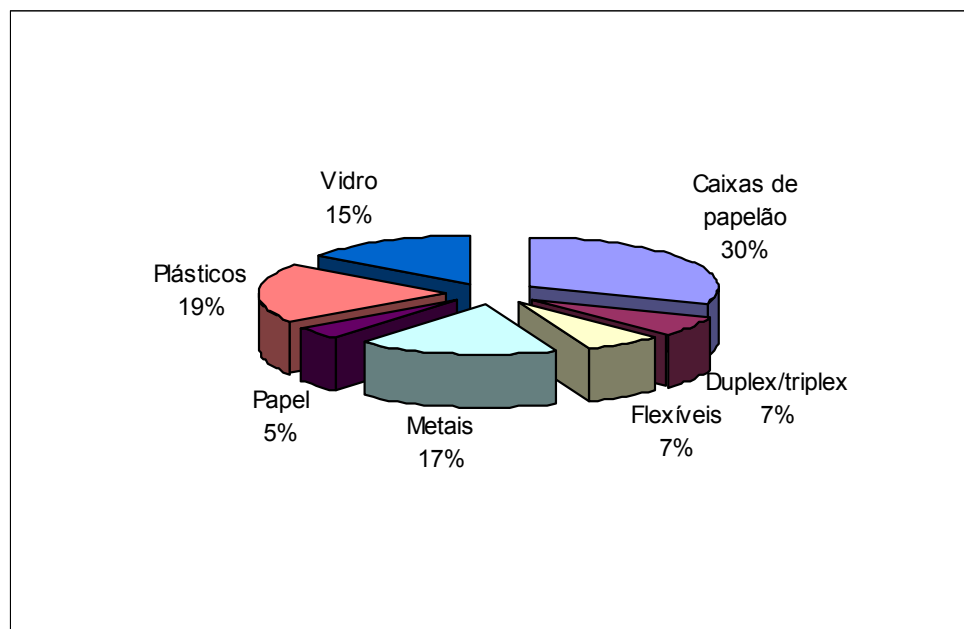


Figura 4 – Distribuição do consumo de materiais na indústria de embalagens brasileira em função da quantidade em peso – ano 2001

Fonte: DATAMARK, 2003a

Analisando a figura 4 é possível perceber que o volume de embalagens de caixas de papelão comercializadas em 2001 no País foi muito maior que os outros tipos de embalagem, com uma contribuição de 30% em peso, apesar do seu volume de negócio representar apenas 11%. A indústria de embalagens plásticas já apresenta uma contribuição do ponto de vista econômico de 30%, mas por serem embalagens muito leves, sua contribuição em peso é de apenas 19%. As embalagens de vidro apresentam o comportamento contrário com uma contribuição em peso de 15%, mas em negócios de apenas 5%.

Segundo Datamark (2003c), o volume de embalagens multicamadas assépticas (“gable top”) têm aumentado a sua participação nesse mercado. Em 1990 elas contribuíram com 1 bilhão de unidades, sendo que em 1995 esse número cresceu para 3,3 bilhões e em 1999, chegou a 6,8 bilhões de embalagens cartonadas assépticas para envase de líquidos e alimentos viscosos.

Independente da contribuição de cada tipo de material, nota-se que o mercado de embalagens é muito diversificado. Por outro lado, elas cada vez mais vêm sendo consideradas como o maior veículo de venda, de construção de uma marca e da identidade de um produto. E por isto, a definição das matérias-primas a serem utilizadas na sua confecção depende de uma série de critérios, incluindo as vantagens e desvantagens de cada uma delas em cada aplicação.

5.3. Tipos de Embalagens

Para a produção de embalagens, as principais matérias-primas utilizadas são o vidro, os metais, a madeira, o papel e papelão e os plásticos. O vidro, um dos mais antigos materiais utilizados para produção de embalagens, armazena os produtos sem permitir a saída e/ou entrada de gases; mas é pesado, quebradiço (friável) e não pode ser apresentado em todos os formatos. Já os metais se apresentam em formas que contribuem mais para a preservação de alimentos, pois podem sofrer choques térmicos além de apresentarem alta resistência à pressão mecânica, entretanto, não são adequados para a embalagem de alguns tipos de alimentos. A madeira foi a primeira alternativa para o uso e desenvolvimento de embalagens de transporte, principalmente na forma de caixas e engradados, sendo ainda muito utilizada na construção de estruturas de suporte, como no caso dos “pallets”. Entretanto, o seu uso tem sofrido restrições devido às campanhas de preservação ambiental.

O papel e o papelão, por sua vez, têm sido usados como embalagens primárias, secundárias etc. em diversos segmentos industriais. Uma de suas vantagens é serem relativamente leves e ocuparem pouco espaço no armazenamento, além de permitirem a reutilização e a reciclagem. Sua principal desvantagem é o fato de serem pouco resistentes à água, mas isto pode ser melhorado, em alguns casos, agregando-se à sua massa aditivos especiais.

Os plásticos, atualmente, estão presentes em todos os segmentos da indústria. Eles podem ser moldados em vários formatos, são leves e podem ser combinados com

os outros materiais para desenvolvimento de novas embalagens. Todavia, são relativamente pouco resistentes ao calor e podem permitir a difusão de gases, vapores e sabores.

Segundo a ABRE (2002), os principais plásticos utilizados para embalagens são o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno tereftalato (PET), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno de baixa densidade (PEBD).

A escolha de cada uma das matérias-primas citadas acima depende das finalidades e dos requisitos necessários para a embalagem. Com o objetivo de atender todos esses itens a um custo mínimo e resultado competitivo, tem crescido o uso de materiais combinados, em que as propriedades de cada matéria-prima componente são maximizadas (DANTAS, 2000).

Um desses exemplos são as **embalagens cartonadas**, também denominadas **embalagens compostas de laminados de papel revestido com plástico e alumínio**, que são objeto de estudo neste trabalho. Esse tipo de embalagem tem sido utilizada principalmente para o acondicionamento de alimentos líquidos e viscosos, tais como leites, sucos, bebidas isotônicas, molhos, maioneses, preparados culinários e já é possível encontrar, também, alimentos sólidos como castanhas, amendoins e doces acondicionados nessas embalagens.

A fim de compreender melhor esse tipo de embalagem, faz-se necessário uma compreensão das propriedades de cada um dos materiais utilizados na produção de embalagens cartonadas, que são apresentadas no decorrer deste trabalho.

5.3.1. Alumínio

O alumínio é um metal que não se apresenta em estado nativo, tendo sido isolado pela primeira vez em 1825 pelo químico Oersted (ABAL, 2002). Atualmente é obtido por meio de um processo eletroquímico a partir do bauxita, segundo ABAL (2002).

Modernamente, este metal vem sendo largamente utilizado em diversas aplicações, inclusive na indústria de embalagens por ser um material leve, durável e versátil. Além desses pontos, o alumínio apresenta condutibilidade, impermeabilidade e opacidade, que contribuem para evitar a deterioração de um produto armazenado neste tipo de embalagem. Não permite a passagem do oxigênio, da umidade e da luz e é resistente a corrosão, sendo utilizado como elemento de barreira para contaminações. Além disso, é de fácil conformação, devido à sua alta maleabilidade e ductibilidade (ABAL, 2002).

Uma das formas de utilização do alumínio é em folhas de diversas espessuras, usadas principalmente em embalagens rígidas, flexíveis, descartáveis, entre outras. Esse tipo de apresentação permite que ele seja combinado com outros materiais para obtenção de outros tipos de embalagens como as de papel laminado revestido também com plástico.

Nas estruturas das embalagens cartonadas, a folha de alumínio possui espessura muito pequena. Segundo Hanlon (1971), as espessuras acima de 18 μm já são impermeáveis a umidade e gases e não são afetadas pela luz ou por temperatura abaixo de 288°C. Abaixo desse valor de espessura, as folhas podem apresentar microfuros que comprometem seu desempenho como barreira protetora.

Uma outra característica das folhas de alumínio, segundo Hanlon (1971), é que à baixo grau de têmpera ela se dobra sem resiliência, possibilitando a estruturação de formas bem definidas. Esse ponto é fundamental para permitir a formação das embalagens para alimentos.

5.3.2. Papel cartão

A estrutura das embalagens cartonadas é conseguida utilizando-se papel cartão. Segundo Barrotti (1988), os cartões utilizados nestas embalagens caracterizam-se por elevada gramatura e relativa rigidez. Essas características são essenciais para produção

de pequenas caixas e cartuchos. As apresentações podem ser na forma de papel cartão branco, duplex e triplex, cada um com características próprias.

O papel cartão branco é feito de uma massa de fibras celulósicas disposta em uma ou várias camadas, fabricado com pasta química branqueada. O cartão duplex, por sua vez, é formado por duas camadas, forro e suporte, podendo variar a gramatura entre 200 e 600 g/m². O forro é geralmente fabricado com pasta química branqueada. Já o cartão triplex é formado por três camadas, gerando um produto forrado nas duas faces.

A fim de atender aos requisitos de embalagem, Neves (2000) comenta que algumas propriedades devem ser controladas como brilho e alvura (ópticas); rigidez e resistências à tração (índice de tração), ao arrebatamento (índice de arrebatamento), à dobra e à delaminação (mecânicas); absorção de água, lisura, capacidade de impressão e resistência ao arrancamento superficial das fibras (desempenho gráfico).

Como já comentado, o papel possui pouca resistência à umidade, característica importante para o uso em embalagens, principalmente para a indústria de alimentos. Essa situação pode ser alterada pelo uso de processos e tratamentos químicos específicos. Uma das alternativas é o uso de aditivos internos misturados à pasta de papel antes da formação da folha. Já os aditivos externos são aplicados na fase de acabamento do papel de maneira superficial.

No caso das embalagens laminadas, a resistência à umidade é conseguida com o uso de camadas de polietileno tanto na face interna quanto na face externa do papel cartão.

5.3.3. Polietileno

O polietileno utilizado nas embalagens cartonadas é o de baixa densidade. Como a maioria dos outros plásticos, a matéria-prima utilizada para sua produção é o petróleo, sendo ele classificado entre os termoplásticos, pois não sofrem alterações químicas durante o aquecimento e após o resfriamento podem ser novamente fundidos. Os

plásticos que não fundem com o aquecimento, mas que acabam se degradando são denominados termofixos (ROMAN, 1995).

Algumas características do polietileno em questão são as seguintes: baixa densidade; baixa temperatura de amolecimento (85°C); ter superfície lisa e “cerosa”; ser leve, flexível, transparente e impermeável (PLASTIVIDA, 2002).

É um polímero que apresenta tanto regiões cristalinas quanto amorfas e pode ter suas propriedades alteradas pela adição de aditivos funcionais para se adequar a cada uma das aplicações necessárias, tais como: agentes deslizantes, anti-oxidantes etc (ROMAN, 1995).

5.4. A embalagem cartonada

A embalagem cartonada é um excelente exemplo da combinação de diversos materiais para maximização das propriedades de cada um deles. Esse tipo de embalagem utiliza o papel cartão duplex (camada 2 na figura 1) para fornecer estrutura e dar forma ao recipiente, o plástico é usado como impermeabilizante externo (camada 1 da figura 1), como camada de adesão (item 3) do papel e do alumínio e como contato com o alimento envasado e facilidade para o fechamento hermético da embalagem (camadas 5 e 6); o alumínio (item 4) é o que realmente protege o alimento evitando a entrada de luz, de ar, contaminantes e a perda de aromas e de vitaminas.

Apesar de se apresentar em um maior número de camadas, o polietileno não corresponde ao maior peso da embalagem. A figura 5 mostra um corte transversal da estrutura desta, em que é possível observar a grande espessura da camada de papel duplex, responsável por 75% do peso da embalagem, enquanto o polietileno de baixa densidade corresponde a 20% e o alumínio, por 5%.

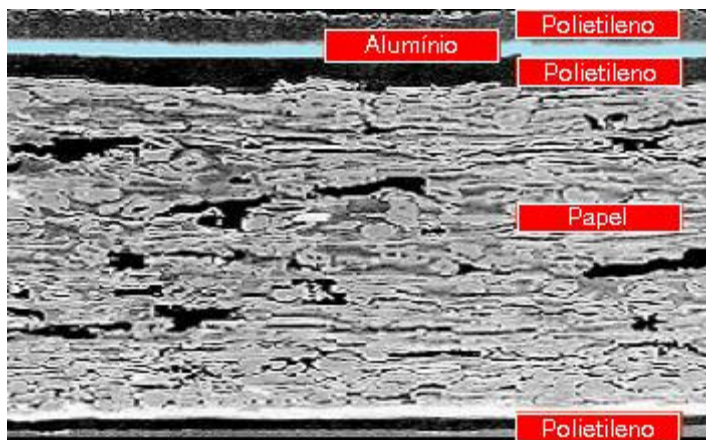


Figura 5 – Corte transversal da embalagem cartonada mostrando as diferentes espessuras das suas multicamadas

Fonte: ABREU, 2003.

Segundo Buttler (1985), as folhas de alumínio possuem excelente propriedade de barreira à umidade e ao sabor, mas são incapazes de se auto-suportarem quando em pequenas espessuras, pois não possuem rigidez e resistência à perfuração. A combinação com o papel cartão e o polietileno permite atingir esses objetivos e aproveitar as propriedades dos outros materiais já citadas nesse trabalho.

Os métodos para obtenção desse tipo de embalagem são descritas por Hanlon (1971) em quatro formas diferentes de laminação:

- por adesivos à base de água ou outro solvente;
- por revestimento termoplástico, que requer calor e pressão para laminar;
- por laminação por extrusão, em que uma camada de plástico derretido é aplicada por meio de uma fenda estreita em um cabeçote próximo a uma folha de papel ou filme que se movimenta e
- por revestimento “hot melt” que é feito com uma mistura de cera e outros materiais com baixo ponto de fusão por extrusão em folha de papel ou filme que se movimenta.

Para estruturas de papel mais simples, o método mais utilizado é o de adesivos. Em estruturas mais complexas, o processo de laminação por extrusão é o mais comum, enquanto as outras formas são utilizadas em produções de laminados plásticos.

No caso das embalagens cartonadas estudadas neste trabalho, o método de formação é a laminação por extrusão. Após a formação do material completo da embalagem, estas seguem para as indústrias alimentícias, onde é feito o envase dos produtos para seguirem, então, para os pontos de venda.

5.5. O descarte de embalagens

Depois de cumprirem sua função como embalagem, esses materiais tornam-se resíduos pós-consumo que necessitam de um descarte adequado e ambientalmente correto. Esse descarte inicia-se nas residências onde os materiais seguem para a lixeira e, então, para um caminho muitas vezes desconhecido pelos geradores de todos esses resíduos.

Segundo IBGE (2002), o destino do lixo, no Brasil, está bem diversificado, mas não necessariamente é feito da maneira mais adequada. A figura 6 mostra qual é destino do lixo domiciliar brasileiro.

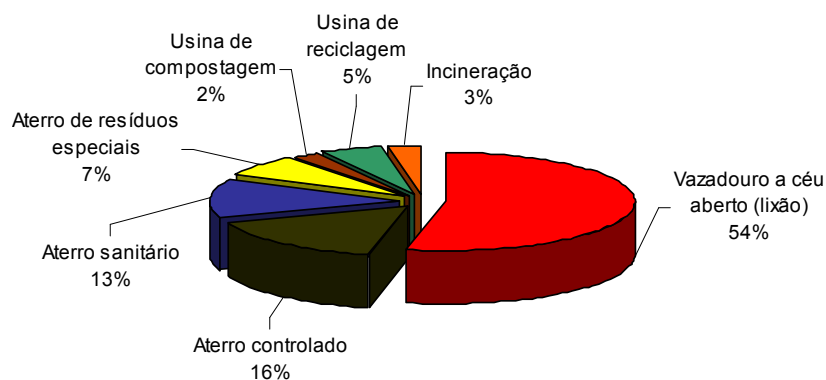


Figura 6 – Destino final dos resíduos domiciliares no Brasil em 2000

Fonte: IBGE, 2002 (adaptado)

Na figura 6, é possível observar que a maior parte do lixo brasileiro, 54%, é destinado a vazadouros a céu aberto; 16% são enviados para aterros controlados; 13% seguem para aterros sanitários e 7%, para aterros sanitários especiais. Apenas 10% de todos os resíduos domiciliares são reprocessados de alguma maneira, evitando a sua disposição final: 3% são enviados para incineração, que deve ser ambientalmente controlada, para evitar a queima incompleta dos resíduos e não gerar uma maior contaminação do ar com a eliminação de substâncias tóxicas como dioxinas e furanos; 2% são encaminhados para usinas de compostagem, locais adequados para transformação biológica da matéria orgânica presente nos resíduos domiciliares em composto para agricultura e somente 5% seguem para usinas de reciclagem, permitindo o seu reaproveitamento em outros processos produtivos.

5.5.1. Vazadouro a céu aberto (lixão)

A maior parte dos resíduos domiciliares brasileiros são enviados para os vazadouros a céu aberto, também conhecidos como lixões. Segundo IPT/CEMPRE (2000), os lixões caracterizam-se pela simples descarga dos resíduos municipais sobre o solo, sem proteção alguma ao meio ambiente ou à saúde pública. Esses locais são feios e apresentam grandes problemas sociais e ambientais, sendo fonte de proliferação de insetos e seres vetores de doenças, geração de maus odores e poluição do solo e da água pelo contato dos resíduos domiciliares despejados diretamente no solo.

Além disso, a maior parte dos resíduos descartados é matéria orgânica, que quando em decomposição gera o chorume, que contribui para aumentar ainda mais a poluição do solo, infiltrando-se neste, chegando aos lençóis freáticos e provocando a poluição das águas.

Outro ponto problemático do descarte descontrolado em vazadouros a céu aberto é que os resíduos ficam abertos e acessíveis a qualquer um. Em locais miseráveis, é possível encontrar pessoas e animais vivendo próximos aos lixões e tirando deles sua

sobrevivência. São aproveitados desde restos de alimentos estragados até materiais recicláveis que são retirados desses locais para posteriormente serem comercializados. Definitivamente, essa é a opção menos recomendada para o destino de tantos resíduos sólidos municipais.

Uma alternativa a esse tipo de destinação é o descarte em aterros controlados, que representa 16% da disposição de resíduos domiciliares no Brasil, como mostra a figura 6. Esses locais causam menor dano ambiental, pois os materiais descartados são confinados por meio do uso de uma camada de material inerte a cada fim de jornada de trabalho (IPT/CEMPRE, 2000). Entretanto, não há nenhum preparo prévio do local, nem canais de recolhimento para o chorume o que implica um alto grau de poluição do solo e das águas nessas regiões.

5.5.2. Aterro Sanitário

A disposição final adequada para os resíduos sólidos, inclusive das embalagens, é a colocação em aterros sanitários. Esses diferenciam-se das alternativas de lixões e aterros controlados, por serem locais escolhidos e preparados para o recebimento de resíduos. Nesses locais, há um confinamento seguro dos resíduos para minimizar e controlar a poluição ambiental e aumentar a proteção à saúde pública (IPT/CEMPRE, 2000).

Por isso, a construção de um aterro sanitário envolve altos custos e um grande trabalho técnico. A primeira etapa é a avaliação de áreas que sejam mais aptas para a instalação do empreendimento, pois uma área adequada confere riscos menores ao meio ambiente e à saúde pública. Essa escolha passa pelo levantamento de dados populacionais da região a ser atendida, por uma caracterização do lixo e dos dados da coleta e transporte atual do lixo. Além disso, é preciso levantar os dados geológico-geotécnicos, como características do substrato dos terrenos, os tipos de rocha e suas estruturas; dados pedológicos, como os tipos e distribuição dos solos; dados geomorfológicos, sobre as águas subterrâneas e superficiais, os climatológicos, sobre a

legislação, e sócio-econômicos. Com a análise desses dados, faz-se a classificação dos possíveis locais de aterro em áreas recomendadas, recomendadas com restrição ou não-recomendadas e, assim, escolhe-se a área mais adequada para o aterro sanitário.

Segue-se, então, para a etapa de projeto do aterro sanitário. As concepções mais recentes procuram ver o aterro como forma de tratamento do resíduo, não uma simples disposição, e seu projeto é feito de acordo com a alternativa mais adequada para o local e resíduos analisados: tratamento por digestão anaeróbia, por digestão aeróbia, tratamento biológico ou digestão semi-anaeróbia. Além disso, são consideradas a quantidade e tipologia dos resíduos a serem dispostos, as características fisiográficas e ambientais, o futuro uso da área a aterrar, o sistema de operação do aterro sanitário, de drenagem de fundação, de impermeabilização de base, o sistema de cobertura, de drenagem de águas pluviais, de líquidos percolados, e de biogás. Outros pontos considerados são a análise da estabilidade dos maciços de terra e dos resíduos sólidos, o sistema de tratamento dos líquidos percolados, o sistema de tratamento de gases, de monitorização e como se processará o fechamento do aterro. (IPT/CEMPRE, 2000).

Portanto, isto resulta em que o trabalho técnico e os custos envolvidos para a construção de um local adequado para o recebimento/tratamento dos resíduos sólidos urbanos são muito grandes. Para torná-los viáveis, é necessário reduzir ao máximo a quantidade de materiais encaminhados para essa disposição final e a aplicação dos conceitos de gerenciamento integrado¹ é de fundamental importância para atingir esse objetivo.

¹ Gerenciamento Integrado de Resíduos é um conjunto articulado de ações e planejamento que uma administração municipal desenvolve para coletar, segregar, tratar e dispor os seus resíduos. Não se trata de definir qual a melhor técnica - reciclagem, compostagem, incineração ou aterro sanitário -, mas sim determinar qual a proporção adequada de cada uma delas para o caso estudado. (IPT/CEMPRE, 2000).

5.5.3. O descarte de embalagens cartonadas em vazadouros a céu aberto e aterros sanitários

Como a maioria dos resíduos urbanos brasileiros, as embalagens cartonadas laminadas de plástico e alumínio seguem o caminho dos vazadouros a céu aberto e, na melhor das hipóteses, são encaminhadas para aterros controlados e aterros sanitários. Nestes locais elas ficam passíveis a degradação juntamente com os outros materiais descartados como outros tipos de embalagens e, em sua maioria, restos de matéria orgânica.

Nesta situação, o ideal é que o tempo de degradação seja o menor possível e que os materiais gerados nesse processo sejam inofensivos ao meio ambiente e rapidamente absorvidos por este. Quando o material não oferece riscos ao meio ambiente, ele é chamado de inerte. Estes materiais não contribuem para o aumento da poluição provocada por um descarte em aterros, mas ocupam espaços e aumentam a necessidade de áreas adequadas para disposição.

Segundo Dantas (2000), os materiais dispostos em aterros sanitários estão sujeitos a uma degradação predominantemente anaeróbica e acelerada pelo contato com o chorume, líquido altamente ácido gerado na decomposição dos resíduos orgânicos; enquanto a disposição em vazadouros a céu aberto representa uma degradação aeróbica e também sujeita a intempéries. Essas diferenças interferem consideravelmente na degradação dos materiais dispostos nestes locais e também nos compostos gerados e com as embalagens cartonadas o processo não é diferente.

Dantas (2000) realizou testes de degradação dessas embalagens nas duas condições de disposição: aterro sanitário representado por imersão das embalagens em chorume a temperatura de 50°C e vazadouro a céu aberto representado pelo ensaio de envelhecimento em câmara de radiação ultravioleta. Os resultados destes testes mostram que a perda de resistência das embalagens foi da ordem de 65% para embalagens de leite e as perdas de massa das amostras analisadas, de 49% em relação à massa inicial no ensaio de imersão em chorume e de 21% em ensaio de exposição a intempéries. Além disso, Dantas (2000) observou que a degradação em ambiente crítico

inicia-se pela camada de cartão, seguida pela alteração da cadeia polimérica das camadas plásticas e o alumínio começa a apresentar sinais de degradação quando já está exposto (camadas de plástico já um pouco degradadas). No caso de exposição a intempéries, a sequência de degradação é a mesma. Entretanto, até o final do acompanhamento do teste (6 meses), a camada de alumínio permaneceu revestida e sem sinais de degradação.

Com os testes realizados, Dantas (2000) chegou a estimar o tempo de degradação dos componentes das embalagens de acordo com o tipo de exposição a que estão sujeitos. No caso do teste de imersão em chorume, o cartão demora cerca de 1 mês para se degradar, o início da degradação do polietileno ocorre com 1 mês e a degradação do alumínio demora cerca de 1 ano e 5 meses. Nos testes de exposição a intemperismo natural, o cartão demora cerca de 6 meses para se degradar, o início da degradação do polietileno ocorre com 6 meses e não foi possível observar degradação do alumínio nem da camada interna de polietileno.

Dessa maneira, é possível concluir que a disposição em aterro sanitário é muito mais interessante que em vazadouros a céu aberto, tanto pelos benefícios ambientais já descritos quanto pelo menor tempo de decomposição dos componentes da embalagem. Além disso, os materiais gerados neste processo não são contaminantes tóxicos e não geram maiores poluentes para o meio ambiente.

5.5.4. Coleta Seletiva

A coleta seletiva é uma forma de aplicar o conceito de gerenciamento integrado de resíduos em um município, pois consiste no sistema de recolhimento de materiais recicláveis (papéis, plásticos, vidros, metais), previamente separados nas fontes geradoras – nas residências e comércios – para sua posterior triagem, beneficiamento e encaminhamento às indústrias recicladoras (CEMPRE, 1999).

Um sistema de coleta seletiva pode variar de município para município, mas é importante que esteja adequado à realidade da cidade para permitir uma correta destinação dos resíduos separados e, consequente, diminuição dos materiais que serão

encaminhados para uma disposição em aterros sanitários, contribuindo para o aumento da vida útil destes.

As principais modalidades de coleta seletiva são o sistema porta-a-porta, em pontos de entrega voluntária e a realizada por catadores.

A coleta porta-a-porta é muito semelhante à coleta de lixo domiciliar e não exige muita mudança nos hábitos dos cidadãos, pois apenas será necessário fazer as separações dos materiais recicláveis do lixo comum. Os recicláveis são coletados por um caminhão em dia e horário específicos, enquanto o lixo comum continua a ser retirado em outros horários.

O sistema de Pontos de Entrega Voluntária – PEVs – é muito utilizado em cidades que não possuem uma estrutura adequada para recolher os materiais recicláveis em horário diferenciado e instalam contêineres ou pequenos depósitos em pontos estratégicos da cidade onde as pessoas podem levar seus materiais recicláveis. Geralmente, esses contêineres estão identificados por cores e nomes de acordo com a Resolução CONAMA nº 275 de 25 de abril de 2001:

- verde para vidros;
- azul para papéis e papelão;
- amarelo para metais e
- vermelho para plásticos.

A resolução ainda aborda outros tipos de resíduos que não são incluídos em PEVs, como contêiner preto para madeira, laranja para resíduos perigosos, branco para ambulatoriais e de serviços de saúde, roxo para resíduos radioativos, marrom para orgânicos e cinza para geral não-reciclável, misturado, contaminado ou não passível de separação.

A prefeitura, então, recolhe os materiais somente nos PEVs e os destina para as unidades de triagem e beneficiamento, para, em seguida, enviá-los às indústrias recicladoras sem provocar alterações na coleta do lixo comum.

A coleta seletiva realizada por catadores pode acontecer em diversos locais do município e não necessariamente com o conhecimento da prefeitura. Nas cidades que possuem lixão como forma de disposição final do lixo, há os catadores de lixo. Essas

peessoas vivem próximas a esses locais e acabam fazendo deles sua forma de sobrevivência: retiram restos de alimentos para comida e os materiais recicláveis encontrados são retirados e comercializados para depósitos de sucatas. Existem, também, os catadores que trabalham nos centros urbanos e fazem uma coleta paralela de materiais, recolhendo os recicláveis antes que o caminhão da coleta comum passe. Essa ação contribui para que uma menor quantidade de resíduos chegue aos aterros sanitários, mas não necessariamente para um destino correto de todos os recicláveis; pois são separados apenas os materiais com maior valor agregado, uma vez que a venda é feita em pequenas quantidades para os depositários, que finalmente enviam para as indústrias recicladoras. Essas alternativas de trabalho dos catadores são as responsáveis pelos grandes índices de reciclagem encontrados para materiais de grande valor agregado como é o caso das latas de alumínio, ou de fácil reaproveitamento, como as aparas de papel e caixas de papelão.

A melhor alternativa para o trabalho de coleta seletiva realizado por catadores é quando estes estão organizados em cooperativas. Dessa maneira, é possível realizar um trabalho em conjunto com a comunidade e prefeitura para que a atuação dos catadores seja reconhecida como uma forma de gerenciamento dos resíduos. Eles podem ser responsáveis tanto pela coleta, por meio de carrinhos e em ruas próximas à associação, e triagem ou apenas por esta última etapa, nos casos em que a prefeitura leva o material até as unidades de separação. Essa nova concepção de trabalho já está sendo usada por diversos municípios, como Porto Alegre, Campinas e São Paulo (programa Coleta Seletiva Solidária) como forma de gerenciamento dos resíduos e geração de trabalho, quando reconhecem a atividade dos catadores.

Independente de como será executada a coleta dos recicláveis no município, eles devem seguir para uma central de triagem. Esse é um local onde os materiais são colocados para serem separados por tipo – diferentes tipos de papel, de plástico, de vidro, de metais e rejeitos - e são beneficiados para seguirem para as indústrias recicladoras. Esse beneficiamento visa agregar maior valor aos resíduos e consiste na retirada de rótulos, separação de tampas, prensagem dos materiais e armazenamento. Essa etapa é fundamental para que o material seja vendido diretamente às indústrias

recicladoras. Para tanto, o material deve estar bem preparado e em grande quantidade para compensar os custos de logística. Caso contrário, os materiais são encaminhados para depositários, que pagam um valor menor que o praticado pelas indústrias finais, mas fazem o encaminhamento adequado dos resíduos adquiridos.

Em todas as etapas acima, as embalagens cartonadas estão incluídas dentro dos resíduos domiciliares e o seu destino é definido pelo sistema de gerenciamento escolhido por cada municipalidade. Entretanto, o lixão e o aterro sanitário são alternativas de disposição final e não permitem a inserção das embalagens em um novo processo produtivo, enquanto a coleta seletiva já permite a sua separação e o encaminhamento para os outros destinos, que são abordados em seguida.

5.6. A reutilização da embalagem cartonada

Após o desvio da embalagem cartonada dos simples descartes em lixões ou aterros sanitários, geralmente conseguido pelos trabalhos de coleta seletiva, elas podem ser encaminhadas para atividades de reutilização. Essas atividades caracterizam-se por não alterar a estrutura multicamadas da embalagem e apenas transformá-la em matéria-prima para usos diversos. Independente da atividade, a higienização das embalagens é fundamental para garantir que elas não sejam focos de proliferação de vetores de doenças. Como trata-se de contêineres para alimentos, após o uso há sempre resquícios de matéria orgânica que precisam ser eliminados. Essa limpeza profunda nem sempre é feita quando do descarte em programas de coleta seletiva, pois o envio para processos industriais não requer o material tão limpo. Entretanto, na reutilização ela é fundamental.

As atividades mais comuns para essa reutilização são o uso em artesanato e também como forração de casas populares, que são descritas abaixo. Entretanto, todas essas atividades de escala artesanal utilizam uma quantidade muito pequena de embalagens não representando uma solução efetiva para o destino de milhões de

unidades que são colocadas no mercado mensalmente e sim uma alternativa de caráter educacional e informativo sobre as diversas vantagens desse tipo de embalagem. Para uma solução eficaz e correta na destinação desse material, é importante que elas sejam encaminhadas para processos de reciclagem em escala industrial, que realmente colocam seus componentes em novos ciclos produtivos como fontes alternativas de matérias-primas.

5.6.1. Atividades em pequena escala para reutilização de embalagens

Como todos os outros materiais recicláveis, as embalagens cartonadas são matéria-prima para diversos artistas, que podem trabalhá-las para produção de peças únicas e montadas de acordo com a criação do próprio artista. Na maioria das vezes possuem um valor do belo, mas não necessariamente uma finalidade.

A utilização das embalagens cartonadas como artesanato está presente em diversos campos desde escolas até pequenas comunidades organizadas. Nas primeiras, elas são usadas para confecção de maquetes, peças artísticas ou até pequenas obras como caixas de presentes, porta-jóias, porta-lápis e outros. Já nas pequenas comunidades, um desses itens é escolhido como produto e passa a ser confeccionado em uma escala um pouco maior, a fim de ser comercializado para gerar rendas. Esses reaproveitamentos produzem embalagens para presentes, cestas diversas, que muitas vezes não chegam a ser reconhecidas como embalagens longa vida, como os itens apresentados na figura 7.



Figura 7 – Peças artesanais feitas com o reaproveitamento de embalagens longa vida

Fonte: SEIDEL (2003)

Alguns artistas plásticos chegam a trabalhar a embalagem cartonada para produção de peças mais delicadas, como bijuterias e as comercializam como um novo produto. A figura 8 mostra essa forma de reutilização:



Figura 8 – Bijuteria feita com o reaproveitamento de embalagens longa vida

Fonte: SANTOS, 2003

5.6.2 Forração de casas populares

Segundo Schmutzler (2003), uma outra alternativa para a reutilização das embalagens cartonadas é a forração de residências que não possuem laje gerando um maior conforto térmico que a simples colocação de uma cobertura de telha cimento amianto. Essa proposta, é baseada na utilização da camada de alumínio presente na embalagem. O alumínio tem a capacidade de refletir mais de 95% do calor que recebe através de radiação e emitir menos de 5%, dependendo do estado de polimento da superfície metálica. Contando com todos os outros materiais que formam a estrutura da embalagem, ela torna-se resistente o suficiente para ser utilizada nesses tipos de aplicação.

No trabalho de Schmutzler (2003), são retratados diversos casos de uso das embalagens cortadas, com o lado aluminizado para cima e coladas umas às outras como forração em casas populares. Para essa produção, o trabalho é bem artesanal. A abertura das embalagens é feita com o uso de uma faca serrilhada e as embalagens são, então, coladas com o uso de adesivo de contato ou cola quente. O detalhe mencionado é que as mantas preparadas nunca podem tocar o telhado, sendo necessária uma distância mínima de 2 centímetros (CREA-SP, 2003). Os testes mostram que há uma sensível redução na temperatura interna dos ambientes protegidos dessa forma (SCHMUTZLER, 2003).

Entretanto, como já foi citado anteriormente, é fundamental ter um excessivo cuidado na etapa de higienização das embalagens. Uma vez utilizadas para o armazenamento de alimentos, elas precisam estar completamente descontaminadas para evitar que o forro colocado seja um foco de proliferação de vetores de doenças, como baratas e ratos, e maus cheiros. Além disso, esse tipo de trabalho é classificado como uma reutilização e não representa um destino possível para a grande quantidade de embalagens colocadas no mercado diariamente.

5.7. Reciclagem da embalagem cartonada

Os fardos de embalagens longa vida separadas nas mais diversas alternativas de coleta seletiva seguem para as indústrias recicladoras. Como trata-se do fornecimento de uma matéria-prima para um processo industrial, que muitas vezes está localizado em outros municípios ou até em outros estados, é importante que haja um volume considerável para viabilizar a etapa de transporte e minimizar os custos de fretes envolvidos nessa etapa.

A reciclagem das embalagens compostas de papel, plástico e alumínio deve começar pela separação desses materiais e a recolocação deles no processo produtivo. Essa etapa deve começar pela retirada do material que se apresenta em maior quantidade (em peso) na embalagem – o papel – e seguir, então, para buscas de reaproveitamento dos outros componentes.

Esse processo pode ser melhor entendido pelo fluxograma simplificado apresentado na figura 9.

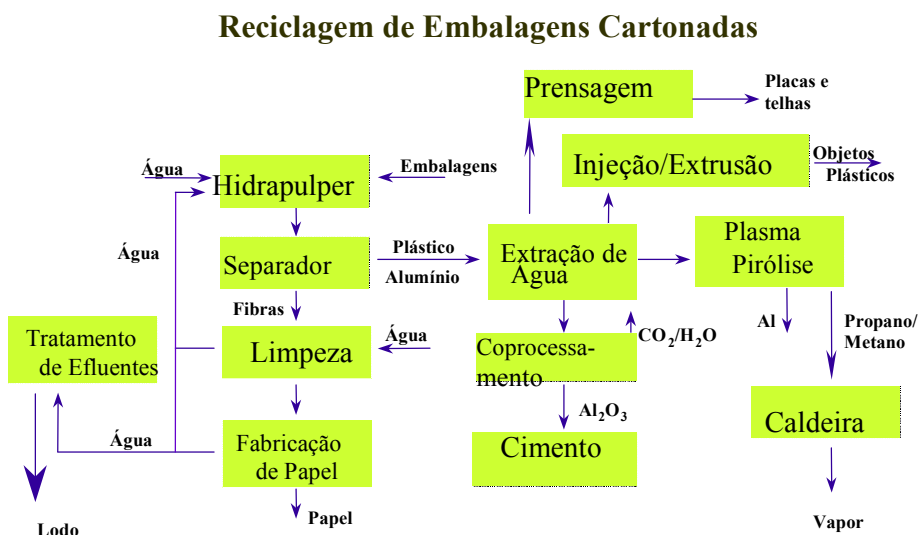


Figura 9 – Representação esquemática da reciclagem de embalagens longa vida
 Fonte: ZUBEN & NEVES, 1999 (modificado)

A primeira etapa da reciclagem inicia-se nas indústrias recicladoras de papel, onde as embalagens são colocadas em agitação com água em um equipamento denominado desagregador ou “hidrapulper”. Após cerca de 25 minutos de processo, as fibras de papel presentes na mistura hidratam-se, separando-se das camadas de plástico/alumínio (ainda juntas). Essas fibras são utilizadas na fabricação de papel, que será usado na produção de caixas de papelão, palmilhas de sapato e nos mais diversos tipos de uso.

O resíduo de plástico/alumínio pode seguir várias alternativas. Uma delas é o coprocessamento em fábricas de cimento, em que é utilizado como fonte de energia, gerando um segundo resíduo (óxido de alumínio) que acaba sendo incorporado ao cimento. Outra possibilidade, é a utilização desse material em fábricas de plástico, após os processos de aglutinação e de extrusão, são usados na confecção de diversos artefatos, tais como canetas, cabides, baldes e “pallets”. Há, ainda, a possibilidade de prensagem desse material para confecção de placas e telhas ou a de queima em fornos de plasma para recuperação do alumínio metálico e utilização do plástico para geração de energia.

O processo de reciclagem de aparas de papel já é muito conhecido e também o são os processamentos de polímeros termoplásticos, como é o caso do polietileno de baixa densidade presente nas embalagens cartonadas. Dessa forma, a reciclagem desse tipo de embalagens é possível por meio da utilização de operações já usuais para a reciclagem de cada um dos componentes em separado – indústrias de papel para recuperação das fibras celulósicas e indústrias de plástico para tratamento das camadas de plástico. Entretanto, algumas pequenas alterações de processos são necessárias para o seu adequado reaproveitamento.

5.7.1 Reaproveitamento das fibras de papel

O aproveitamento das fibras celulósicas de papéis usados e aparas para a produção de novos papéis é denominado reciclagem. Essas fibras aproveitadas são

substitutos para matérias-primas fibrosas virgens e sua obtenção representa um grande fator econômico e social. O resultado obtido, entretanto, depende muito do tipo de matéria-prima (aparas) a ser utilizado e geralmente são obtidas fibras um pouco menos resistentes, mas que podem ser combinadas com fibras virgens para a obtenção de papéis com características melhores.

A quantidade de madeira economizada com a substituição de pastas celulósicas por aparas, considerando uma perda de 20% nas aparas, é da ordem de 2 m³ de madeira para cada 1 t de aparas em substituição a pasta mecânica e de 4 m³ para cada 1 t na substituição de pasta química. Isso equivale a dizer que cada tonelada de aparas utilizada corresponde ao rendimento lenhoso de uma área plantada de 100 a 350 m² (BUGAJER, 1988).

A reciclagem deve transformar o papel em fibras individuais, denominadas fibras secundárias. Antes disso efetivamente ocorrer, a separação nos sistemas de coleta seletiva dos diversos tipos de papel é fundamental para otimizar o seu reaproveitamento. Os fardos seguem para as indústrias recicladoras, onde são cortados os seus arames e alimentados ao sistema de desagregação. Em seguida, é feita a retirada dos contaminantes, como adesivos sintéticos, tinta, metais, sólidos suspensos (areia, sujeira) e o material pode seguir para a fabricação de papel.

Os desagregadores funcionam de maneira a converter o papel em fibras individuais e também possibilitam a retirada das impurezas pesadas e de tamanhos maiores. Nesses equipamentos, são adicionados os fardos de papel juntamente com água e é promovida a agitação.

Segundo Bugajer (1988), os desagregadores podem funcionar com e sem atrito. O equipamento sem atrito promove a desagregação das fibras por meio de forças de cisalhamento e impacto, enquanto o com atrito utiliza além destas, as forças de fricção. Isso é possível, pois o rotor gira próximo a um disco ou placa estacionária, que desfaz os aglomerados de fibras.

A fim de que a eliminação de impurezas presentes nas aparas seja a mais eficiente possível nos estágios posteriores, é importante que essas partículas permaneçam com o maior tamanho possível. Dessa maneira, a desagregação deve ser

feita com o mínimo de atrito para evitar que o contato das partículas com o metal do rotor e das paredes provoque a sua quebra.

Os dois tipos de desagregadores funcionam em sistemas de batelada ou contínuo, sendo que este último apresenta maior capacidade, quando comparados equipamentos de mesmo tamanho, pois não há perda com atividade de carregamento.

O tipo de desagregador a ser utilizado depende das características do material a ser processado. Segundo Bugajer (1988), papelão ondulado, jornais e papéis velhos apresentam grandes quantidades de impurezas e são, então, processados em equipamentos contínuos e à baixa consistência. Outros tipos de aparas podem utilizar qualquer tipo de sistema, sendo que para materiais de fácil desagregação, recomenda-se equipamento sem atrito e no caso contrário, o com atrito. Entretanto o tipo de impureza pode influenciar nessa escolha também, como já foi colocado acima.

A ação mecânica do desagregador em questão provoca a separação das fibras, que juntamente com a água são extraídas através de uma placa perfurada. O tamanho dos furos dessa placa determina os contaminantes que já ficarão retidos no próprio desagregador. A maioria dos desagregadores permite a remoção de impurezas pesadas e pedaços grandes de materiais estranhos e as partículas menores e sujeira permanecem na massa de fibra. Dessa maneira, após a desagregação, a polpa (fibras já desagregadas misturadas com água) segue para outros processos de limpeza. Uma das possibilidades é o que opera a alta consistência e é responsável pela retirada de impurezas pesadas como cliques, grampos, pregos, pedras, tampas de garrafa, areia e outros.

A massa celulósica segue, então, para as etapas de peneiração e limpeza, que são definidas pelo tipo de matéria-prima e requisitos do produto final. Como nenhum equipamento remove totalmente as impurezas, apenas parte delas; é preciso combinar uma série deles de acordo com as exigências do processo.

A peneiração, processo baseado no tamanho das partículas, pode ser utilizada de diversas maneiras. A peneiração grossa é responsável pela retirada de pedaços grandes de contaminantes leves como elásticos, colas plásticas e pedaços de madeira; enquanto diversos estágios combinados de peneiração fina são utilizados para retirada de contaminantes menores.

Outra etapa de limpeza é feita por meio de limpadores centrífugos, em que a massa específica é a característica determinante para a separação dos materiais. Nestes as fibras são removidas por arraste hidráulico, que é maior que a força centrífuga e os outros contaminantes são retirados na parte inferior, como areia. Entretanto, impurezas como partículas de disco podem responder ao arraste hidráulico e não serem retiradas (BUGAJER,1988).

Dependendo da característica das matérias-primas e dos requisitos do produto final, faz-se necessário um processo mais complexo que a simples desagregação e retirada de impurezas. É preciso fazer o destintamento composto por seleção, desfibramento, cozimento, lavagem, branqueamento, refinação e peneiração da massa obtida. Por ser um foco muito específico, essas etapas não serão tratadas neste trabalho.

A massa obtida pode, então, seguir diretamente para a fabricação de papel ou para ser compactada em fardos de celulose, que serão utilizados posteriormente ou comercializados para indústrias unicamente fabricantes de papel.

5.7.2. Reaproveitamento das fibras de papel presentes nas embalagens cartonadas

A reciclagem das embalagens cartonadas, então, inicia-se nas indústrias recicladoras de papel a fim de recuperar as fibras celulósicas presentes nestes produtos. Ao chegar a essas unidades, os fardos de embalagens são armazenados no estoque e alimentados segundo a necessidade produtiva da instalação da mesma forma que os fardos de aparas celulósicas. Segundo Neves (1999), a separação das fibras celulósicas das camadas de plástico/alumínio acontece na primeira etapa do processo de reciclagem – o processamento com água em “hidrapulper” de alta, média ou baixa consistência. O tempo de residência é em torno de 20 a 30 minutos com agitação constante, sem colocação de qualquer aditivo químico, para que haja desagregação das fibras e suspensão das mesmas em água.

De acordo com Neves (1999), o tipo de rotor utilizado no conjunto do “hidrapulper”, também chamado de desagregador, exerce influência na qualidade de fibras e também em sua resistência mecânica. Os de alta consistência são caracterizados por não cortarem as fibras, gerando menos finos; enquanto os de baixa consistência acabam provocando o corte das fibras alterando a drenabilidade e as características finais do papel.

Após a desagregação das fibras, Zuben & Neves (1999) comentam que o material em suspensão é retirado por bombeamento pela parte inferior passando através de uma chapa perfurada que reterá os outros materiais gerados nessa etapa – camadas de plástico e alumínio, os outros componentes da embalagem cartonada. Estes podem, então, ser retirados pela lateral do desagregador para serem encaminhados a processos de lavagem.

A suspensão de água e fibra é destinada a depuradores centrífugos para a retirada de outras impurezas comuns aos materiais provenientes de coleta seletiva, como grãos de areia e pequenos pedaços de ferro. Nos depuradores, há uma eficiente separação da massa celulósica dos materiais com maior peso específico. A massa inicial é introduzida, tangencialmente, sob pressão em um corpo cônico, provocando um movimento de alta rotação da mesma contra a parede. As partículas mais leves (massa) tendem a concentrar-se no centro do rodaminho, sendo retiradas por meio de um bocal posicionado na parte superior do equipamento e os rejeitos (pesados) pela câmara localizada na parte inferior do mesmo (COMPANHIA FEDERAL DE FUNDIÇÃO, 2003).

Uma vez feita a etapa de depuração, a massa celulósica mais limpa segue para os engrossadores, que são as peneiras vibratórias. Esses equipamentos são responsáveis pela retirada do excesso de água e preparação da pasta para disponibilidade produtiva. O material aqui obtido pode ser encaminhado para a máquina de papel a fim de ser utilizado diretamente ou pode ser misturado com outros tipos de fibras para atender características desejáveis do produto final, como resistência e alongamento adequado para cada aplicação.

Uma outra possibilidade para a massa celulósica é a compactação dessas fibras em prensas para retirada do excesso de água e comercialização no mercado de papel e celulose.

A figura 10 apresenta o fluxograma do processo de reaproveitamento das fibras de papel presentes nas embalagens longa vida, que ocorre nas indústrias papelarias. A linha 9 mostra o encaminhamento da polpa, já separada dos outros componentes e livre de resíduos, para o processo a ser adotado em cada indústria específica, como descrito acima.

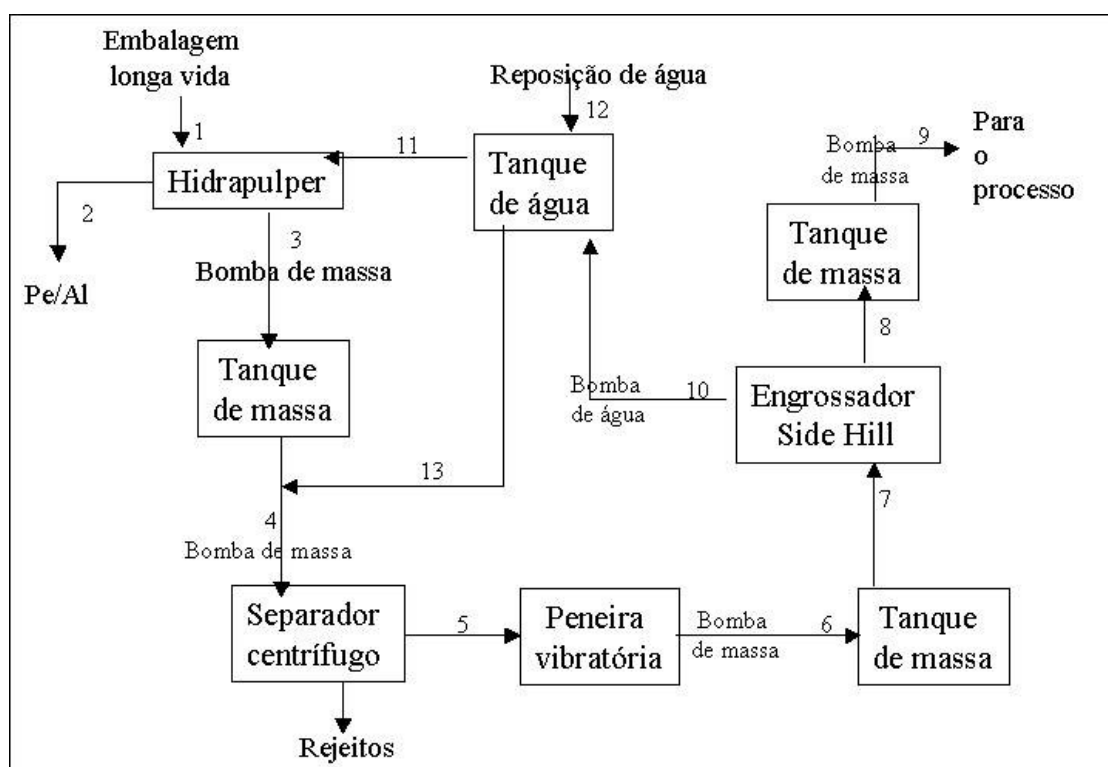


Figura 10 – Fluxograma representativo do processo de reaproveitamento das fibras de papel de embalagens longa vida em indústrias papelarias

Fonte: COMPANHIA FEDERAL DE FUNDIÇÃO, 2003 (modificado)

5.7.3. Beneficiamento das camadas de plástico/alumínio

As camadas de plástico e alumínio separadas no desagregador são retiradas lateralmente e passam por um processo de separação do residual de fibras e lavagem do polietileno e alumínio. Essa etapa, de acordo com Neves (1999), é feita com boa eficiência em uma peneira cilíndrica rotativa e despressurizada, em que o material (resíduos de plástico/alumínio e fibras) passa pelo interior do equipamento cilíndrico - um tambor rotativo perfurado - enquanto recebe jatos de água. Dessa forma, o residual de fibra é recuperado pela peneira e retorna ao processo de recuperação de fibras.

O descarte é coletado em caçambas e direcionado para processos de enfardamento e fica à disposição para uma destinação mais adequada, uma vez que não é de utilidade para a indústria recicladora de papel. Atualmente, o destino desse material no Brasil tem sido para aterros industriais, reciclagem de plásticos, fabricação de placas ou, em casos de estudo ainda, para a recuperação de alumínio.

5.7.4. Destinação de rejeitos para aterro industrial

As aparas usualmente utilizadas pelas indústrias de papel são provenientes de programas de coleta seletiva e vêm contaminadas com diversos tipos de materiais como plásticos diversos, arames, pedaços de madeira, areia e outros. Todos esses são retirados durante o processo de preparação da massa celulósica e, por se tratarem de materiais diversos e sem uma classificação uniforme, não apresentam muitas alternativas de reaproveitamento. Dessa maneira, a sua destinação é para aterros industriais, locais montados e estruturados para receberem os resíduos dos mais diversos processos produtivos.

Assim, os resíduos do processamento das embalagens longa vida – camadas de plástico e alumínio – a princípio possuem essa mesma destinação, os aterros industriais. Após o processo de lavagem para recuperação do residual de fibras, o descarte é enfardado e segue juntamente com os outros materiais para a disposição final.

Entretanto, essa situação pode ser alterada. O processamento de embalagens longa vida permite que o resíduo gerado apresente uma certa uniformidade. Dessa maneira, se a desagregação for feita em ‘hidrapulper’ dedicado para embalagens cartonadas, os resíduos são separados, enfardados e podem ser encaminhados para outros caminhos como a reciclagem de plásticos ou produção de placas. Estas alternativas já são muito mais interessantes do ponto de vista ambiental e econômico, uma vez que o descarte em aterros industriais representa a ocupação de área e um alto custo para as indústrias.

5.7.5. Reciclagem de polietileno de baixa densidade

Um dos destinos dos resíduos de plástico/alumínio gerados na desagregação da fibra de papel presente nas embalagens cartonadas é a reciclagem de plásticos. Após a etapa de beneficiamento do plástico/alumínio, esses são enfardados e encaminhados para as indústrias de plásticos.

A reciclagem dos plásticos é uma atividade muito comum e consiste no seu reaproveitamento para reaver o valor do material descartado. Essa atividade geralmente é feita para a obtenção de um outro artefato plástico, é a chamada reciclagem mecânica. Esta pode ocorrer nos próprios fabricantes de artefatos plásticos para recuperação das aparas, canais de injeção ou outros refugos, sendo chamada de reciclagem primária ou pode ocorrer para o reaproveitamento dos resíduos plásticos urbanos ou agrícolas pós-consumo com a denominação de reciclagem secundária.

Na reciclagem primária, o processamento é quase direto e os refugos são apenas moídos e colocados de volta nas etapas de transformação. Entretanto, o segundo processo depende dos programas de coleta seletiva, em que os resíduos plásticos são separados e encaminhados para as respectivas indústrias. Para não danificar os equipamentos, é importante que os materiais estejam livres de peças metálicas e outros contaminantes. As principais etapas do processo de reciclagem são estocagem, separação manual, moagem, lavagem, secagem, aglutinação (para filmes flexíveis),

extrusão, granulação e transformação em um produto acabado, como peças e sacolas. Este último item pode ser feito na própria indústria recicladora ou por outras empresas (CEMPRE, 1998).

Outras alternativas de reciclagem dos plásticos também são possíveis, como a extrusão de resíduos plásticos misturados para formação de perfis denominados de madeira plástica, utilizados como moirões de cerca, bancos de jardim e estacas para proteção costeira. É possível também a reciclagem química, que busca obter os compostos químicos originários dos plásticos como monômeros ou oligômeros, e a incineração, em que os plásticos são utilizados para recuperação de energia. Essas duas últimas opções precisam de altos controles e não estão muito difundidas no País.

Para que o processo de reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo seja realmente possível, é preciso que haja uma fonte adequada e confiável para o fornecimento de matéria-prima em quantidade e qualidade, tecnologia adequada para o processamento e um mercado para a absorção do material produzido – os granulados ou as peças já prontas.

Um processo de reciclagem secundária inicia-se com a aquisição de matéria-prima geralmente de iniciativas de coleta seletiva diversas, como prefeituras, cooperativas e até sucateiros que trabalham com plásticos. O ideal é a aquisição do plástico já separado por tipo (polietileno - PE, polipropileno - PP, poliestireno - PS, policloreto de vinila - PVC, polietileno tereftalato – PET), mas isso nem sempre é possível. Muitas vezes há a compra do material como plástico misto e a primeira etapa do processamento é a separação dos diversos tipos para viabilizar o seu processamento.

Essa separação pode ser manual, em que o operador separa os diversos tipos de materiais de acordo com aspecto visual, por ensaio de chama, pela simbologia e pelo conhecimento do tipo de embalagem. A sua eficiência depende muito do conhecimento da pessoa que a realiza, por isso quanto maior o seu conhecimento, melhor. Outra possibilidade de separação é por densidade, em que a comparação das densidades dos materiais na água servirá para separá-los por tipo. As poliolefinas (PEAD, PEBD, PP e PEBDL), por exemplo, são menos densas que a água e, conseqüentemente, fácil de serem separadas, pois ficam suspensas quando colocadas na água. Os outros tipos de

plástico possuem densidade maior que a água e sua separação só será possível trabalhando com soluções salinas, que possuem densidade maior. Dessa forma, a operação de separação por densidade é muito delicada e deve ser muito bem estudada para não se tornar um gargalo à produção (CEMPRE, 1998).

O material já separado segue, então, para o processo de moagem. Este ocorre em moinho de facas para fragmentação do material em peças menores que são mais facilmente trabalhadas nas etapas posteriores. Após a moagem, os fragmentos são lavados em um tanque com água e um eixo com pás, que retira os contaminantes. Em seguida, seguem para a secagem, em que o máximo de água é retirado de forma mecânica.

No caso do trabalho com filmes flexíveis, é necessária a etapa de aglutinação após a secagem, pois eles terão sua densidade aparente aumentada pela formação de aglomerados. Como filmes, eles não podem ser processados nas próximas etapas. O aglutinador é um cilindro que possui uma hélice com facas e quando colocado o material, ele promove a agitação. O atrito dos fragmentos com as paredes do equipamento eleva a temperatura e, conseqüentemente, a formação de uma massa plástica. Neste instante é colocada uma quantidade controlada de água, que provoca um choque térmico e a massa plástica se contrai, formando aglomerados. Durante essa etapa, também podem ser incorporados alguns aditivos, como pigmentos, plastificantes ou cargas, ao material.

Os fragmentos secos, no caso dos plásticos rígidos, ou os aglomerados, no caso dos materiais flexíveis, são encaminhados para a extrusora. Este equipamento é formado por um cilindro em cujo interior gira uma rosca sem fim que promove o transporte do material enquanto ele é progressivamente aquecido, plastificado, homogeneizado, comprimido e forçado por um orifício de uma matriz localizada no cabeçote do cilindro. O aquecimento é promovido por resistências elétricas. O material que sai da extrusora em forma de um perfil contínuo é resfriado em uma banheira com água e, em seguida, picotado, em um picotador, para formação dos “pellets”, granulados plásticos que podem ser o produto final do empreendimento ou encaminhado para

outros processamentos para formação dos artefatos finais. Durante a etapa de extrusão também podem ser adicionados alguns aditivos, como os já mencionados acima.

Os “pellets” são geralmente comercializados em sacos de 25 kg e podem ser destinados para indústrias que trabalham com processos de injeção, sopro ou extrusão para produção de baldes, regadores, cabides, canetas, garrafas, sacolas entre outros.

5.7.6. Reciclagem de plástico/alumínio

Os resíduos de plástico/alumínio gerados nas indústrias de papel são matéria-prima alternativa para a indústria recicladora de polietileno de baixa densidade, já descrita neste trabalho. Esse processamento é possível, pois a pequena quantidade de alumínio presente na embalagem (5%) acaba sendo incorporada como carga ao polietileno. A adição de cargas é muito comum para modificar algumas características e diversos materiais são utilizados para essa finalidade como serragem, mica, asbestos, fibras de vidro, fibras de carbono, micro esferas de vidro, talco entre outros (ROMAN, 1995). Dessa maneira, o plástico aqui obtido tem aplicações diferentes do polietileno de baixa densidade, pois o alumínio altera algumas de suas propriedades.

O material proveniente das indústrias papeleiras geralmente apresenta-se um pouco contaminado com fibras e chegando na indústria, passa por um novo processo de limpeza, um lavador de plásticos, segundo Zuben & Neves (1999). Esse equipamento é formado por um rotor não cortante operando acima de 1000 rpm com uma peneira no interior e dois compartimentos – o primeiro retém as camadas de plástico/alumínio e o segundo o residual de fibras de papel ainda presentes no material. Para facilitar a operação e a separação das fibras de papel das camadas de plástico/alumínio, água é injetada tangencialmente nas paredes do lavador.

Com o material completamente limpo, seguem-se as operações de processamento de plásticos para a sua reciclagem. O material ainda em camadas vai para o processo de aglutinação e depois de extrusão para formação de “pellets”, matéria-prima para as mais diversas indústrias de plásticos. O primeiro consiste em um

tratamento termomecânico, em que o plástico é agitado a seco em um rotor até atingir a temperatura de plastificação. Neste momento, há um choque térmico com a adição de água fria em pequena quantidade. Assim, é possível aumentar a densidade das antes camadas soltas de plástico/alumínio para facilitar a continuidade do seu processamento, diminuir a umidade do material e garantir um material mais homogêneo com a dispersão do alumínio por toda a amostra. A característica de umidade é de fundamental importância, pois ela deve ser muito baixa no material aglutinado para evitar formação de bolhas na próxima etapa.

O segundo processamento é a extrusão. Esta ocorre em um equipamento constituído de um cilindro aquecido dentro do qual gira uma rosca (ROMAN, 1995). O aglutinado de plástico/alumínio é alimentado através de um funil alimentador e é transportado ao longo do cilindro pelo movimento de rotação da rosca enquanto é aquecido até o ponto de plasticidade. Em seguida, esse material cai em forma de fio em uma cuba com água para ser resfriado e é posteriormente cortado dando origem aos grãos – “pellets” de plástico/alumínio. A temperatura de operação da extrusora para esse processamento é na faixa de 120°C.

Os “pellets” acima produzidos são matéria-prima para indústrias de plásticos e podem ser utilizados em processos de aplicação como injeção para fabricação de peças plásticas e rotomoldagem. Este último processamento só é possível após mais uma etapa, a micronização dos “pellets”. Este consiste na transformação dos grãos plásticos em um pó muito fino que será usado em molde quente que gira em satélite até o seu recobrimento total e formação da peça.

É importante citar que todos esses processamentos são possíveis graças à proporção de materiais presentes na embalagem cartonada. Diversos testes, segundo Zuben & Neves (1999) mostram que o material obtido após os processos de extrusão contém de 18 a 20% de alumínio e o restante de polietileno de baixa densidade. Esse material também foi analisado termogravimetricamente mostrando que a sua degradação inicia-se a temperaturas superiores a 220°C e o alumínio não interfere nos mecanismos de degradação do polietileno, apenas aparece como um resíduo em torno de 15% após a análise. Também foram verificadas as temperaturas de cristalização e de

fusão do compósito, 92°C e 109°C, respectivamente, por meio de calorimetria diferencial de varredura (DSC). A análise morfológica feita por microscopia eletrônica de varredura mostra que o compósito em “pellets” apresenta bolhas em sua formação devido à presença de umidade nas camadas de plástico/alumínio aglutinadas que evaporam durante o processo de extrusão. O índice de fluidez, também analisado, está ligado a viscosidade do material, e o valor obtido foi de 3,9 g/10min com desvio padrão de 0,0009. Esse valor é bem menor que o obtido para o polietileno de baixa densidade, entre 6,0 e 8,0 g/10 min, mostrando que a carga de alumínio altera as possibilidades de aplicação do compósito, mais do que os esforços mecânicos ou intemperismo decorrentes do processo de reciclagem. Além disso, a massa específica do material misturado é de 0,90 g/cm³ com desvio padrão de 0,001 nos testes. Devido a presença do alumínio (massa específica de 2,7 g/cm³), esse valor deveria ser maior que do polietileno virgem (0,91 g/cm³ – 0,95 g/cm³); mas isso não foi observado devido a presença de bolhas nos “pellets” obtidos (FELISBERTI & LOPES, 1999).

5.7.7. Produção de placas e telhas

Um outro caminho possível e usado em grande escala atualmente para o destino das camadas de plástico/alumínio geradas na desagregação das fibras celulósicas das embalagens longa vida é a produção de placas e telhas.

O princípio de produção é muito parecido com a preparação de placas de compensado utilizando as prensas desse tipo de indústria modificadas para o trabalho com um material de densidade aparente menor que a madeira (CERQUEIRA, 2002).

Assim, os fardos das camadas de plástico/alumínio das indústrias papeleiras são encaminhados para as indústrias produtoras de plástico. Nestes locais, os fardos são abertos e o material é triturado em moinhos de faca até gerar pequenos fragmentos. Essa etapa é fundamental para facilitar a fusão e proporcionar maior homogeneidade na placa produzida. Após a trituração, o moído é disposto em fôrmas da dimensão da prensa

cobertas com filme desmoldante, como poliéster ou papel. As fôrmas são colocadas dentro das prensas já modificadas para o trabalho com plástico/alumínio.

As prensas para fabricação de compensados atuam em temperatura média de 90°C (INVICTA, 2003) e precisam passar por adaptações para alcançar a temperatura de processo em torno de 180°C. Portanto, seus sistemas de aquecimento são modificados para esses tipos de trabalho, como a troca de resistências por outras mais potentes.

Após colocação na prensa, há o aquecimento e a prensagem. Durante essa etapa, ocorre a fusão do polietileno que funciona como ligante de todo o material moído proporcionando a formação das placas. O tempo de prensagem depende da espessura da placa a ser produzida, que varia de 4 a 50mm. Esta, por sua vez, é dependente da quantidade de material colocada inicialmente na fôrma de placa e da pressão utilizada, cerca de 3kgf/cm² nas prensas em estudo.

Em seguida, as placas ainda quentes passam por uma etapa de resfriamento que pode ser ao ar livre ou em uma outra prensa fria. Essa última alternativa possibilita a formação de telhas, pois basta que a prensa fria tenha um molde ondulado. O material logo que sai da prensa quente toma o formato da prensa fria, enquanto o polietileno endurece e dá conformação e resistência para o produto – telha reciclada. Essa etapa tem um tempo aproximado de 5 a 10 minutos dependendo da espessura a ser produzida.

Diversos testes de caracterização desses produtos foram realizados e mostraram que a diferença de formato, placa ou telha, não altera os resultados, mostrando que o plástico/alumínio fornecem materiais com características bem homogêneas (CERQUEIRA, 2002). Ferreira (2001) realizou testes de impermeabilidade nas telhas que não apresentaram a formação de manchas de umidade nem gotas nas superfícies dos corpos de prova. Vecchia (2002) comparou o material com telhas de zinco e de cerâmica e a temperatura superficial alcançada foi intermediária. Os resultados obtidos são de 67°C para a telha de zinco, 47°C para telha de plástico/alumínio e 41°C para a de cerâmica. Em testes de resistência à flexão e absorção de água comparativo com a telha de fibrocimento, Cerqueira (2002) mostra que a telha de plástico/alumínio apresenta-se com maior resistência à flexão (7,63x10⁶N/m contra 4x10³N/m) e menor absorção de

água (6,5% com 37%). Assim, é um material de qualidade superior e com excelente possibilidade de aplicação no mercado.

5.7.8. Recuperação do alumínio

De todos os componentes presentes nas embalagens longa vida, o alumínio, com certeza, é o de maior valor e sua separação dos outros materiais seria extremamente interessante do ponto de vista econômico. Entretanto, esse trabalho é um tanto complexo e até o momento não existem plantas que operem em escala industrial com esse tipo de processamento.

Szente (1999) realizou testes com amostras de plástico/alumínio proveniente da indústria recicladora de papel em reatores do tipo plasma. O reator utilizado consiste de um vaso revérbero, contendo refratários com densidade de alumina em que foi instalado um sistema a plasma para fornecer energia necessária ao processo. Nos testes realizados foram utilizados dois tipos de plasma: o de tocha de plasma de arco transferido e o de dois eletrodos de grafite modificados para funcionarem como tocha de plasma de arco transferido.

Os testes realizados mostraram que para uma temperatura de operação acima de 500°C foi possível recuperar 200g de alumínio para 1 kg de material alimentado, 800g de gases, por volta de 1% de material carbonáceo no alumínio obtido e energia específica de 3 kWh/kg para o processo. Szente (1999) afirma que o processo via plasma testado é capaz de recuperar a totalidade do alumínio dos resíduos plástico/alumínio em estudo; que consegue volatilizar quase a totalidade do plástico da amostra, gerando gases combustíveis, que podem tanto gerar energia ou serem condensados na forma de composto parafínico para usos posteriores (geração de energia ou fabricação de outro produto) e que a energia específica do processo será reduzida em um processo de escala industrial.

Uma análise econômica preliminar realizada em função dos testes mostrou que o processo pode ser economicamente viável, mas ainda são necessários mais testes e

adequações para garantir a implementação de um processo como o proposto com o uso de reator de plasma para recuperação de alumínio proveniente de embalagens cartonadas.

5.8. Análise de viabilidades operacional e técnica-econômica

Para qualquer empreendimento que se queira montar é necessário realizar um estudo de viabilidade para obter uma base técnica-econômica para uma decisão de investimento, além de oferecer um projeto com capacidade definida, para uma determinada tecnologia em relação a materiais e insumos definidos, com investimentos identificados e custo de produção para deixar clara a opção de investimento. O estudo de viabilidade não é um fim em si mesmo, mas um meio para chegar a uma decisão de investimento após considerar diversas alternativas (UNIDO, 1987).

Um estudo de viabilidade pode estar orientado para o mercado ou baseado nos insumos materiais. Isso implica dizer que ele pode ser feito devido a uma necessidade de mercado identificada ou para uma grande disponibilidade de um determinado insumo, como um determinado tipo de matéria-prima ou energia.

Um estudo de viabilidade completo para efetiva implantação de um projeto industrial deve conter todas as informações necessárias para a sua execução, como as apresentadas a seguir de acordo com a UNIDO (1987):

- **Origem e histórico do projeto**, em que se caracteriza o promotor do projeto; a orientação deste, se para o mercado ou para a matéria-prima; a orientação do mercado, se doméstico ou para exportação; as políticas econômicas e industriais de apoio ao projeto e um pequeno histórico dele;
- **Mercado e capacidade da fábrica**, em que são apresentados os dados anuais de demanda, vendas projetadas, programa de produção e capacidade da fábrica;
- **Materiais e insumos**, para apresentação da disponibilidade geral de matérias-primas, de materiais auxiliares, suprimentos da fábrica e utilidades e também uma lista da necessidade anual desses itens;

- **Localização e situação**, para a descrição de como está a fábrica e onde é, ou será, sua localização;
- **Engenharia do projeto**, em que é descrito o layout e o alcance do projeto, a tecnologia escolhida, um resumo dos equipamentos e os trabalhos de engenharia necessários;
- **Organização da fábrica e custos gerais**;
- **Recursos humanos**, para apresentação do tipo e tamanho da força de trabalho e também do pessoal administrativo necessários ao empreendimento;
- **Programação da implantação**, com descrição da duração da construção, da instalação da fábrica, do período de lançamento e colocação em funcionamento;
- **Avaliação financeira econômica**, nesta etapa é necessário o levantamento dos custos totais de investimento, que incluem os custos para preparação da terra e do canteiro, para trabalhos de engenharia civil, para tecnologia e equipamentos, custos com capital de pré-produção e capital de giro; o financiamento do projeto; os custos de produção ou de fabricação, que devem apresentar os gastos anuais com custos de fabricação, considerando os indiretos administrativos e os de vendas e de distribuição (custos operacionais) mais os custos financeiros e depreciação e, por fim, a avaliação financeira propriamente dita, com cálculos do valor presente líquido, taxa interna de retorno, o período de recuperação do capital, a taxa de retorno simples, a análise do ponto de equilíbrio e a análise de sensibilidade;
- **Conclusões**, em que finalmente são apresentadas as principais vantagens e desvantagens do projeto e as chances de implementá-lo.

6. Critérios para a escolha de casos de estudo

Dentro de todas as possibilidades existentes para a disposição das embalagens cartonadas pós-consumo, é importante analisá-las do ponto de vista ambiental e também

da viabilidade econômica. Dessa maneira, alguns critérios são estabelecidos para escolha de casos que são melhor analisados neste trabalho:

- alternativas de reaproveitamento dos componentes das embalagens, contribuindo para redução na degradação de recursos naturais;
- alternativas de reaproveitamento que possam representar um consumo de matéria-prima maior que uma escala artesanal;
- processamentos que já estejam instalados para recuperação de embalagem longa vida como matéria-prima alternativa;
- estabelecer características dos processos existentes para viabilizar a reprodutividade da solução para localidades com características semelhantes;
- analisar processos até a conversão de produtos com algum grau de comercialização.

Com base nos critérios acima descritos, não são objeto de estudo deste trabalho as disposições em vazadouros a céu aberto, nem em aterros controlados ou aterros sanitários; pois essas não são alternativas de reaproveitamento dos componentes das embalagens e, sim, uma proposta de descarte final. Os itens também excluem de análise as formas de reutilização em escala artesanal, como as utilizadas para confecção do forro longa vida ou para produção de peças artísticas (bijuterias, embalagens para presentes); pois utilizam uma quantidade muito pequena de embalagens e não são uma solução para a grande quantidade de embalagens colocadas no mercado.

A fim de atender o critério de análise de processos que já existam e estejam utilizando os componentes da embalagem, também é descartada a análise do processo com uso de forno de plasma. Os estudos até então realizados mostram que essa operação é muito interessante do ponto de vista econômico, pois consegue separar efetivamente o polietileno do alumínio, permitindo a comercialização destes em separado e aumentando o valor da embalagem, uma vez que o alumínio é o componente de maior valor agregado e poderá ser vendido separadamente e, com um processo eficiente, pode voltar a ser folha e a ser utilizado nas embalagens cartonadas novamente.

7. Escolha de casos de estudo

Os casos de estudo a serem trabalhados devem seguir os critérios descritos no item acima. Dessa maneira, os casos analisados são:

- a) reciclagem da embalagem cartonada em indústrias de papel para recuperação da fibra celulósica até a obtenção de polpa com três possibilidades para o destino do sub-produto (plástico/alumínio) deste processo:
 - a.i) aterro sanitário,
 - a.ii) simples envio para outros processamentos,
 - a.iii) venda para outros processamentos;
- b) reciclagem do plástico/alumínio gerado nas indústrias papeleiras para fabricação de placas e telhas;
- c) reciclagem do plástico/alumínio gerado nas indústrias papeleiras para fabricação de “pellets”, que são comercializados no mercado de plásticos.

A realização dessas etapas pode ser analisada em separado ou fazendo parte de um mesmo empreendimento para que seja demonstrada a sua viabilidade.

8. Estudo de viabilidade dos casos escolhidos

Os casos escolhidos para estudo são apresentados em um pequeno fluxograma com balanço de massa para as produções, levantamento dos principais equipamentos, dos custos de energia, água, matéria-prima e mão-de-obra para a operação até a fabricação de um produto que possa ser colocado no mercado. Para facilitar o entendimento, cada caso é analisado como uma planta em separado e fabricante de um único produto. Este, por sua vez, pode ser encaminhado ao mercado ou destinado a um outro processo produtivo da mesma empresa, que aqui é considerado como um outro negócio. Dessa forma, todos devem ser economicamente viáveis.

8.1. Reciclagem da embalagem cartonada em indústria de papel para recuperação de fibra celulósica

Conforme apresentado nos itens anteriores, o processo de reciclagem das embalagens cartonadas inicia-se nas indústrias recicladoras de papel. Essas devem ter o seu processo de desagregação apropriado e também devem fazer algumas alterações de procedimento para que seja possível a utilização de embalagens cartonadas como forma alternativa de matéria-prima. O processo principal para desagregação da fibra celulósica e obtenção de uma pasta que pode ser inserida nos processos já existentes de fabricação de papel é apresentada na figura 10. Esse fluxograma pode ter como matéria-prima a embalagem longa vida ou o papelão, também conhecido como OCC (“old corrugated container”). A diferença entre um e outro em termos de processamento é o tempo de desagregação, a quantidade de sub-produtos gerados e a possibilidade de reaproveitamento desses sub-produtos em outros processos.

A fim de facilitar as comparações entre as diferentes matérias-primas e pequenas alterações de processamento, o fluxograma da figura 10 é a base de todas as análises feitas. Além disso, a análise é feita apenas até a geração de uma pasta celulósica com capacidade de ser inserida em um processo produtivo de fabricação de papel, pois esta pode apresentar grandes variações e altos investimentos que não são o objeto de estudo desse trabalho. Portanto, o valor final de comparação dos três casos escolhidos é o custo unitário de produção (CUP) obtido a partir da determinação dos custos fixos unitários e dos custos variáveis unitários, considerando uma tonelada de fibra celulósica base seca como a unidade de estudo.

Segundo SEBRAE (2003) e as peculiaridades deste empreendimento, os custos fixos são determinados de acordo com os valores que não variam com o ritmo de produção. Eles são formados pelos custos de depreciação, de manutenção e seguro dos equipamentos, pelos custos com mão-de-obra (salários e encargos) e pelos impostos a serem pagos pelo empreendimento. Os custos variáveis, por sua vez, englobam os gastos diretamente relacionados com o volume de produção: insumos (matéria-prima,

água e energia) e destinação dos resíduos de processo. Esses custos são determinados para cada caso em estudo.

O dimensionamento do “hidrapulper” e o tempo de desagregação são os determinantes para o balanço de massa de cada processo em estudo nesse trabalho. O desagregador em questão possui um volume útil de $2,8\text{m}^3$. Os demais equipamentos também são mantidos iguais para todas análises, considerando apenas a mudança de fluxo de material em cada unidade conforme o balanço de massa estabelecido.

É importante ressaltar que a pasta celulósica gerada nesse processo é de excelente qualidade, com fibras longas e não branqueadas. Devido a essas características, essa pasta possui diversas possibilidades de aplicação, como em confecção de miolos de caixa de papelão, papel para confecção de tubetes higiênicos, palmilhas de sapato, peças de polpa moldada e até a mistura em pequenas quantidades com fibras branqueadas para a produção de papéis para impressão.

Os materiais e insumos necessários são embalagem longa vida, ou caixas de papelão (OCC), água e energia elétrica em todas as análises. As quantidades variam conforme estabelecido no balanço de massa de cada análise.

A fim de facilitar as comparações, as fábricas são consideradas como localizadas em terrenos de igual valor e com a mesma situação financeira, sendo esses itens não computados nas análises aqui realizadas. O lay-out também é considerado como padrão em todos os itens.

Custos de mão-de-obra

Como o motivo de análise é apenas a etapa de desagregação, é considerada a necessidade de 4 operadores por turno para a operação desta instalação. Dois devem trabalhar no desagregador (“hidrapulper”) e nas etapas de limpeza, sendo que um deve trabalhar na alimentação do “hidrapulper” e outro na saída para o processo. O salário mensal e encargos de cada um correspondem a um valor de R\$ 1.000,00. Dessa maneira, há um custo mensal de R\$ 16.000,00 com mão-de-obra considerando que a operação ocorra em três turnos e mais um de reserva. Esse valor é considerado para todas os casos de reaproveitamento das fibras de papel.

Custos de energia e água

Como hipótese de trabalho, considera-se uma planta instalada no Estado de São Paulo, pois é um dos estados com maiores custos devido ao grande número de fábricas instaladas.

O custo de energia elétrica é composto por um valor de R\$ 0,07/kWh consumido em horário fora de pico e de R\$ 0,11/kWh em horário de pico, que são os de maior consumo, segundo dados da CPFL (2003). Para termos de análise, é possível trabalhar com valores médios para o custo de energia, que é de R\$ 0,09/kWh consumido na planta em questão.

O custo de água, por sua vez, é estabelecido pela SABESP (2003) de acordo com a quantidade de água consumida e com valores diferenciados dependentes da quantidade. Até 10m³ mensais, há uma taxa única de R\$ 19,28. Para consumos mensais acima entre 10 e 20m³ de água, além da taxa única, há um custo de R\$ 2,28/m³. Com consumos entre 20 e 50m³, o custo é de R\$ 3,70/m³ e para consumos acima de 50m³, o custo é de R\$ 4,34/m³. Dessa forma, o custo final para água é determinado conforme a quantidade necessária de água definida pelo balanço de massa de cada análise.

Custos para aquisição de matéria-prima

Para uma indústria recicladora, a forma de aquisição de matéria-prima depende do tipo de material com a qual trabalha. No caso em estudo, os materiais são provenientes das diversas iniciativas de coleta seletiva. O papelão, por se tratar de um item com um mercado de reciclagem estabelecido, tem seu preço estabelecido pela lei de oferta e procura no mercado internacional, sendo que pode ser influenciado pela presença de compradores internacionais também no mercado nacional. Atualmente este preço está em torno de R\$ 350,00 por tonelada (NEVES, 2004).

Já o custo de aquisição de embalagem longa vida também varia de acordo com a presença ou não de mercados recicladores e das diversas iniciativas de coleta seletiva que separem esse tipo de embalagem. Atualmente o valor de venda dos fardos de

embalagem tem um valor médio de R\$ 180,00 por tonelada, apresentando variação de R\$ 120,00 a R\$ 250,00 (NEVES, 2004).

Como o custo da matéria-prima impacta consideravelmente a análise de viabilidade, escolheu-se o pior cenário para indústria, ou seja, o maior valor pago pela matéria-prima. Assim, trabalhou-se com o valor de R\$ 350,00 por tonelada de papelão da melhor qualidade e R\$ 250,00 por tonelada de embalagem longa vida.

Descrição do fluxograma

A partir da análise da figura 10, é possível fazer a descrição do processo. A entrada deste é feita com a alimentação da matéria-prima (linha 1) e água para o desagregador (“hidrapulper”). O tempo de agitação neste equipamento é alterado para cada uma das análises. Esse material é agitado até que haja desagregação das fibras de papel e separação destas das camadas de plástico/alumínio. Em seguida, a água com fibra de papel (polpa) passa pela peneira do desagregador para o processo (linha 3), enquanto o plástico/alumínio (Pe/Al) são desviados do processo como sub-produtos (linha 2).

A polpa segue por uma bomba de massa para um tanque de massa e, então, para um separador centrífugo por meio de uma outra bomba de massa. Esse separador é o responsável pela depuração da massa com a retirada de rejeitos mais pesados, como areia, grampos e outros.

A polpa mais limpa segue para a peneira vibratória, onde é feita a retirada de impurezas mais leves como pequenos pedaços de plástico, que possam ter sido cortados no “hidrapulper”. Em seguida, o material segue para um tanque de massa e depois para o Engrossador “Side Hill”. Este último é responsável por retirar o excesso de água e preparar a massa de celulose para o encaminhamento ao processo produtivo. O armazenamento em novo tanque de massa é fundamental para dosar a quantidade de massa, conforme a consistência necessária para cada aplicação (fabricação de papel, polpa moldada, entre outros).

Destinação dos sub-produtos do processo de recuperação de fibras de papel

No caso do trabalho com embalagens longa vida, um dos sub-produtos do processo é um agregado de plástico e alumínio, e no caso do trabalho com OCC, plásticos em geral. Estes são destinados à linha 2 e podem ter suas quantidades diferenciadas e também o seu destino conforme estiver estabelecido o mercado reciclador para esses materiais.

Apesar da presença de plástico e alumínio nas embalagens longa vida ser da ordem de 25%, conforme apresentado no item 5.4, a quantidade de resíduos gerados no processo é da ordem de 35% com umidade segundo Carneiro (2003), da empresa Klabin. Quando se trabalha com OCC há também uma geração de 15% de outros sub-produtos, tais como: diversos tipos de plásticos (polipropileno, filmes de polietileno), arames, colas e outros contaminantes.

A figura 11 apresenta as possibilidades de destinação dos sub-produtos da reciclagem de embalagens longa vida.

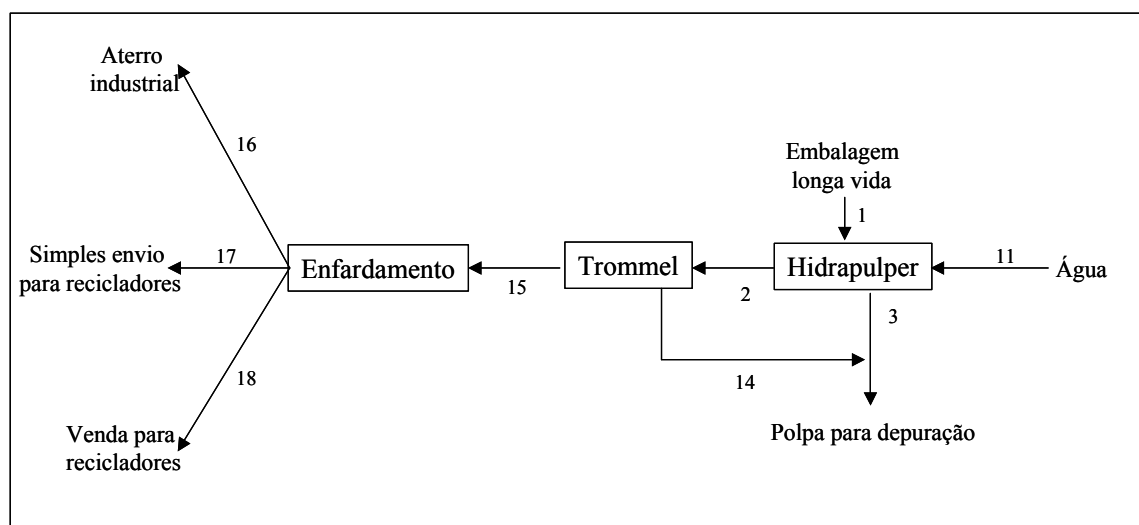


Figura 11 – Possibilidades de destino para os sub-produtos do processo de reciclagem de embalagens longa vida

Após o processamento no “hidrapulper” e encaminhamento das fibras de papel para o processo de preparação de massa celulósica, as camadas de plástico/alumínio são retiradas para um “trommel” (linha 2). Este equipamento é uma peneira rotativa por onde passam os resíduos do desagregador. Com um pouco de injeção de água, as fibras

de papel residuais e o excesso de água passam pela peneira, enquanto o plástico/alumínio é encaminhado (linha 15) para enfardamento. Em fardos, o material pode ser armazenado até a sua destinação.

Os caminhos possíveis para esse material dependem do mercado de reciclagem existente. Caso esse mercado não exista, as camadas de plástico/alumínio seguem o mesmo destino dos resíduos plásticos gerados na indústria de papel – aterros industriais. Essa destinação não é a mais ambientalmente adequada, pois há a ocupação de espaços e há a possível contaminação do solo e água, caso não haja um controle adequado dessas áreas. Cabe salientar que para a deposição de materiais em aterros há um custo para o reciclador de R\$ 50,00 por tonelada de material aterrado (MB ENGENHARIA, 2003).

Outra possibilidade é o início de desenvolvimento de recicladores que possam utilizar o plástico/alumínio em seus processos produtivos. Nesta situação, não é possível a venda do material, pois ainda não se trata de uma matéria-prima secundária; mas de um teste para desenvolvimentos. Dessa forma, uma possibilidade é o envio do material para essas aplicações, sem custos para a papeleira.

A melhor alternativa é realmente o estabelecimento de um mercado para o plástico/alumínio de tal forma que ele possa se tornar um sub-produto com valor agregado e venha, como consequência, também agregar valor para a embalagem longa vida como um todo. Após essa etapa, as camadas de plástico/alumínio podem ser vendidas para os recicladores. De início, o valor trabalhado é de R\$ 50,00 por tonelada e o frete assumido pelo comprador, segundo informações de Neves (2003b).

No caso de se trabalhar com OCC, os resíduos seguem o mesmo caminho pelo “trommel” e são enfardados para uma destinação ambientalmente adequada. Esse resíduo é composto por uma mistura de diferentes tipos de plástico, que não apresenta uma uniformidade nem um determinado padrão de decomposição ao longo do tempo. Assim, devido a estas características, o desenvolvimento de um mercado reciclador para este tipo de material é muito mais complicado, acabando no encaminhamento para aterros industriais. Da mesma forma que a primeira possibilidade de destinação para o plástico/alumínio, essa alternativa apresenta os mesmos custos para as indústrias

papeleiras, ou seja, fica em torno de R\$ 50,00 por tonelada (MB ENGENHARIA, 2003).

Custos de equipamentos e instalação

Os principais equipamentos necessários para a operação da planta até a preparação da massa celulósica para ser inserida na fabricação de papel são os ligados a cada uma das operações descritas no fluxograma da figura 10 e no da figura 11, pois devem incluir os custos de equipamentos para destinação dos resíduos. A tabela 1 apresenta a lista desses equipamentos principais e o custo total, já incluídos impostos, para aquisição de cada um.

Tabela 1 – Custos dos principais equipamentos de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras celulósicas

Operação - Equipamento	Descrição	Custo final (R\$)
Desagregação – “Hidrapulper”	“Hidrapulper” vertical – modelo MCV08 <i>Fornecedor:</i> Companhia Federal de Fundição. (2003)	217.438,00
Depuração – Separador centrífugo	Separador centrífugo do tipo Liquid Cyclone <i>Fornecedor:</i> Companhia Federal de Fundição. (2003)	43.990,00
Depuração – Peneira vibratória	Peneira vibratória VS com furos de 2,00mm de diâmetro <i>Fornecedor:</i> Companhia Federal de Fundição. (2003)	36.125,00
Transporte de materiais - Bombas	5 bombas para transporte de água e fibra celulósica <i>Fornecedor:</i> ND Bombas (2003)	26.570,25
Limpeza de resíduos – “Trommel”	“Trommel” com dimensões 1.200x4.000mm <i>Fornecedor:</i> Incomesp. (2003)	28.560,00
Custo total dos principais equipamentos		325.683,25

O custo da planta como um todo ainda deve considerar os gastos com instalações, instalações elétricas e edificações. Segundo Peters e Timmerhaus (1991),

esses custos podem ser estimados em função dos custos dos principais equipamentos da planta, com os custos de instalações correspondendo a 25% dos custos de equipamentos, os de instalações elétrica, a 10% desses valores, os de edificações, 25% e os de tubulação, 10%. Dessa maneira, o custo final da instalação para preparação da fibra celulósica é apresentado ao final da tabela 2.

Tabela 2 – Custo final para uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibra de papel

<i>Total de custos de equipamentos</i>		<i>R\$ 325.683,25</i>
Item	Porcentagem (%)	Valor (R\$)
Instalações	25	88.170,81
Tubulações	10	35.268,33
Instalações elétricas	10	35.268,33
Edificações	25	88.170,81
Total de instalação da planta (equipamentos e instalações)		599.561,53

Custos de depreciação, manutenção, seguro e impostos

Os custos de depreciação, segundo SEBRAE (2003), correspondem a 15% dos custos dos equipamentos, enquanto para manutenção é importante considerar o valor de 4,5% desses mesmos custos e para seguros, 3,5%. A tabela 3 traz os resultados desses itens para a planta em estudo.

Tabela 3 – Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras de papel

<i>Total da instalação da planta</i>		<i>R\$ 599.561,53</i>	
Item	Porcentagem (%)	Valor mensal (R\$)	Valor anual (R\$)
Depreciação	15	4.408,54	52.902,49
Manutenção	4,5	1.322,56	15.870,75
Seguro	3,5	1.028,66	12.343,91

Determinação dos custos fixos totais

Como a planta possui os mesmos equipamentos e necessita do mesmo número de operadores para trabalhar com os dois tipos de matérias-primas e nos diferentes

tempos de processo, os custos fixos totais são iguais; uma vez que são definidos para o empreendimento em análise – somente até a separação e preparação das fibras celulósicas para trabalho em um processo de fabricação de papel. A tabela 4 apresenta esses resultados.

Tabela 4 – Determinação dos custos fixos totais para planta de reciclagem de embalagens longa vida e/ou de papelão para obtenção de fibras celulósicas

Item	Valor (R\$)	
	Mensal	Anual
Depreciação	4.408,54	52.902,49
Manutenção	1.322,56	15.870,75
Seguro	1.028,66	12.343,91
Impostos	Não são considerados nesta análise	
Salários	16.000,00	192.000,00
Total de custos fixos	22.759,60	273.175,15

Pelo fato de esta instalação estar dentro de uma planta maior, os custos com impostos não são considerados na determinação dos custos fixos; pois podem variar conforme o produto final da instalação como um todo. Essa consideração não compromete a análise final, pois seu objetivo é identificar o menor custo de produção relacionado às duas diferentes matérias-primas.

8.1.1 Desagregação de embalagens longa vida – 40 minutos

A primeira análise parte do fluxograma da figura 10 com embalagens longa vida como matéria-prima e um tempo de desagregação no “hidrapulper” de 40 minutos, levando a um tempo de 1 hora por batelada. A hipótese inicial é que o material recebido tenha cerca de 10% de umidade, por ser um material proveniente de Coleta Seletiva e ficar armazenado ao tempo.

A tabela 5 apresenta os resultados do balanço de massa para essas considerações.

**Tabela 5 – Balanço de massa para a desagregação de embalagens longa vida
(tempo de desagregação de 40 min.)**

Linha	Material base seca (kg/h)	Água (kg/h)	Consistência (%)	Fluxo m3/h	Umidade (%)	Material total (kg/h)	Linha
1	373,33	41,48			10,00%	414,81	1
2	101,63	43,56	70,00%		30,00%	145,19	2
3	271,70	6520,89	4,00%	6,79		6792,59	3
4	271,70	54069,04	0,50%	54,34		54340,74	4
5	271,70	54069,04	0,50%	54,34		54340,74	5
6	271,70	54069,04	0,50%	54,34		54340,74	6
7	271,70	54069,04	0,50%	54,34		54340,74	7
8	271,70	6520,89	4,00%	6,79		6792,59	8
9	271,70	6520,89	4,00%	6,79		6792,59	9
10		47548,15		47,55		47548,15	10
11		6522,96		6,52		6522,96	11
12		6522,96		6,52		6522,96	12
13		47548,15		47,55		47548,15	13

Para a realização desse balanço de massa, foram considerados dados de processo coletados em campo (CARNEIRO, 2003), em que há uma geração de 35% de subprodutos (plástico/alumínio, residual de fibra e umidade) e um aproveitamento de 65% de fibras celulósicas. A consistência final de desagregação no “hidrapulper” é de 4%, o que determina a quantidade de água necessária, que é alimentada pela linha 11. Após a separação das fibras de papel, a polpa, formada por estas com água, é diluída a uma consistência de 0,5% para facilitar a depuração nas etapas seguintes (linhas 4, 5, 6 e 7) e volta a ser aumentada para 4% para, então, ser disponibilizada ao processo de fabricação de papel. Essas alterações de consistências são conseguidas com a adição ou retirada de água da polpa de trabalho. Após a desagregação, a linha 2 sai com uma umidade de 30%, número determinado por testes feitos para determinação de fibra residual presente no material, que é de cerca de 8%, segundo Neves (2001). Com essa quantidade de fibra e a de plástico e alumínio conhecidas, é possível determinar a umidade de 30%, sabendo que o resíduo final (camadas de plástico e alumínio, residual de fibra e umidade) deve representar 35% da entrada do processo.

Considerando que a planta deve operar em turno contínuo (24 horas por dia, 30 dias por mês), as necessidades para a operação dessa pequena instalação em um mês são mostradas na tabela 6:

Tabela 6 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 40 min

Item	Quantidade	Valor (R\$)
Embalagem longa vida (matéria-prima) - toneladas	298	74.667,00
Água para o sistema – m ³	2595	11.200,00
Água para reposição – m ³	4697	20.319,00
Energia - kWh	85133	7.622,86
Plástico/alumínio (resíduos) - toneladas	105	5.227,00 (aterro)
		0,00 (simples retirada por recicladores)
		5.227,00 (venda para recicladores)

Com esse processamento (embalagens longa vida como matéria-prima, geração de resíduos da ordem de 35% e tempo de desagregação de 40 minutos), chega-se a uma disponibilidade de 271,70kg/h de fibras de papel em base seca para a fabricação de papel ou preparação de pasta celulósica para disponibilidade no mercado. Isso corresponde a um total de 196t/mês de fibra celulósica.

Dessa maneira, foi possível calcular os custos variáveis unitários (soma de todos os custos variáveis – tabela 6 - e divisão pela quantidade de toneladas de fibras celulósicas obtidas em base seca) e os custos fixos unitários (custos fixos totais – tabela 4 - divididos pela quantidade de toneladas de fibras celulósicas obtidas em base seca) para essa produção, que formam os custos de produção. Essa análise foi feita com as diversas possibilidades de destinação dos resíduos gerados no processo. A tabela 7 apresenta esses dados.

Tabela 7 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 40 min

Destinação dos resíduos	Custos fixos (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custos variáveis (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custo de produção (R\$/tonelada de fibra de papel)
Plástico/alumínio encaminhados para aterro	116,34	608,48	724,83
Plástico/alumínio retirados por recicladores	116,34	581,76	698,11
Plástico/alumínio vendidos para recicladores	116,34	555,05	671,39

A partir dos resultados da tabela 7 percebe-se que o desenvolvimento de um mercado reciclador para os resíduos de plástico/alumínio é fundamental para reduzir os valores gastos com custos de produção. A partir do momento que esse material pode ser vendido, há uma redução de cerca de 8% nesse custo, ou seja, de R\$ 724,11 por tonelada de fibra de papel produzida com destino dos resíduos para aterro para R\$ 671,39, quando há a venda do plástico/alumínio. A simples retirada dos resíduos, sem ônus para o reciclador de papel, já é uma alternativa interessante; pois apresenta uma redução de 4% (R\$ 698,11 por tonelada).

8.1.2. Desagregação de embalagem longa vida – 20 minutos

O mesmo fluxograma da figura 10 agora é analisado ainda com o uso de embalagens longa vida como matéria-prima, mas com um tempo de desagregação no “hidrapulper” de 20 minutos, levando a um tempo de 40 minutos por batelada. O acompanhamento em campo de diversas empresas recicladoras mostra que esse tempo de desagregação é suficiente para promover a separação das fibras de papel. Continua-se com a mesma hipótese inicial de que o material recebido tenha cerca de 10% de umidade, por ser um material proveniente de Coleta Seletiva e ficar armazenado ao tempo.

A tabela 8 apresenta os resultados do balanço de massa para essas considerações.

**Tabela 8 – Balanço de massa para a desagregação de embalagens longa vida
(tempo de desagregação de 20 min.)**

Linha	Material base seca (kg/h)	Água (kg/h)	Consistência (%)	Fluxo (m3/h)	Umidade (%)	Material total (kg/h)	Linha
1	560,00	62,22			10,00%	622,22	1
2	152,44	65,33	70,00%		30,00%	217,78	2
3	407,56	9781,33	4,00%	10,19		10188,89	3
4	407,56	81103,56	0,50%	81,51		81511,11	4
5	407,56	81103,56	0,50%	81,51		81511,11	5
6	407,56	81103,56	0,50%	81,51		81511,11	6
7	407,56	81103,56	0,50%	81,51		81511,11	7
8	407,56	9781,33	4,00%	10,19		10188,89	8
9	407,56	9781,33	4,00%	10,19		10188,89	9
10		71322,22		71,32		71322,22	10
11		9784,44		9,78		9784,44	11
12		9784,44		9,78		9784,44	12
13		71322,22		71,32		71322,22	13

Para a realização desse balanço de massa, foram considerados os mesmos dados do estudo anterior: geração de 35% de sub-produtos (plástico/alumínio, residual de fibra e umidade) e um aproveitamento de 65% de fibras celulósicas, assim como a umidade presente no resíduo final de 30%. Além disso, o dimensionamento do desagregador determina a quantidade de embalagens a serem processadas em cada batelada. Como o tempo de batelada é menor, nota-se que há um aumento na quantidade de material processado. Certamente isso acarreta uma redução nos custos de produção.

A partir desses dados, chega-se a uma produção de 407 kg/h de fibra de papel em base seca. Isso corresponde a um total de 293 toneladas desse material por mês.

Considerando que a planta deve operar em turno contínuo, as necessidades para a operação dessa instalação em um mês são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 20 min

Item	Quantidade	Valor (R\$)
Embalagem longa vida (matéria-prima) – toneladas	448	112.000,00
Água para o sistema – m ³	3893	16.832,22
Água para reposição – m ³	7045	30.510,51
Energia – kWh	85133	7.622,86
Plástico/alumínio (resíduos) - toneladas	157	7.840,00 (aterro)
		0,00 (simples retirada por recicladores)
		7.840,00 (venda para recicladores)

Com as informações da tabela 9, estabeleceu-se o custo de produção unitário deste processo para as diferentes possibilidades de destino do plástico/alumínio gerado no processo produtivo. A tabela 10 apresenta esses dados.

Tabela 10 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de embalagens longa vida – tempo de desagregação de 20 min

Destinação dos resíduos	Custos fixos (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custos variáveis (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custo de produção (R\$/tonelada de fibra de papel)
Plástico/alumínio encaminhados para aterro	77,56	595,71	673,27
Plástico/alumínio retirados por recicladores	77,56	568,99	646,56
Plástico/alumínio vendidos para recicladores	77,56	542,28	619,84

Os valores apresentados na tabela 10 demonstram a mesma tendência que a tabela 7, ou seja, redução do custo de produção a partir do momento em que há um mercado reciclador para os resíduos de plástico/alumínio. Aqui, entretanto, os custos de produção apresentam resultados mais interessantes, pois como o tempo de desagregação é menor, há uma maior produtividade da planta. Os custos de energia e os custos fixos

são os mesmos, mas como há uma produção maior, os custos por tonelada de fibra de papel produzida ficam menores. Apesar dos custos com aquisição de embalagens longa vida e água serem maiores, eles ficam diluídos com o aumento de produção. Dessa forma, os resultados alcançados são menores que os da tabela 7 e ficam ainda mais interessantes com a venda dos resíduos de plástico/alumínio para um outro empreendimento reciclador.

8.1.3. Desagregação de aparas de papelão

Para termos de comparação, o fluxograma da figura 10 foi analisado quanto ao uso de aparas de papelão, também conhecidas como OCC (“old corrugated container”), como matéria-prima. Como esse material é composto basicamente por papel, o tempo de desagregação no “hidrapulper” é de cerca de 5 minutos, levando a um tempo de batelada de 20 minutos. Em muitos processos industriais, opta-se por um trabalho em regime contínuo, mas aqui continua-se com as análises em batelada.

Os materiais também são adquiridos em programas de Coleta Seletiva, por isso continua-se com a mesma hipótese inicial de que o material recebido tenha cerca de 10% de umidade.

A tabela 11 apresenta os resultados do balanço de massa para essas considerações.

Tabela 11 – Balanço de massa para a desagregação de aparas de papelão (tempo de desagregação de 5 min.)

Linha	Material base seca (kg/h)	Água (kg/h)	Consistência (%)	Fluxo (m3/h)	Umidade (%)	Material total (kg/h)	Linha
1	840,00	93,33			10,00%	933,33	1
2	98,00	42,00	70,00%		30,00%	140,00	2
3	742,00	17808,00	4,00%	18,55		18550,00	3
4	742,00	147658,00	0,50%	148,40		148400,00	4
5	742,00	147658,00	0,50%	148,40		148400,00	5
6	742,00	147658,00	0,50%	148,40		148400,00	6
7	742,00	147658,00	0,50%	148,40		148400,00	7
8	742,00	17808,00	4,00%	18,55		18550,00	8
9	742,00	17808,00	4,00%	18,55		18550,00	9
10		129850,00		129,85		129850,00	10
11		17756,67		17,76		17756,67	11
12		17756,67		17,76		17756,67	12
13		129850,00		129,85		129850,00	13

Esse balanço considera dados de processo baseados em informações de campo de que há uma geração de 15% de resíduos e, conseqüentemente, um aproveitamento de 85% de fibras celulósicas (CARNEIRO, 2003). O “hidrapulper” considerado nesse processo é o mesmo dos outros dois casos e seu tamanho determina a quantidade de matéria-prima a ser processadas em cada batelada.

A partir dos dados apresentados na tabela 8 e nas considerações já descritas, chega-se a produção de 742 kg/h de fibra de papel em base seca. Isso corresponde a um total de 534 toneladas por mês.

Considerando que a planta deve operar em turno contínuo (trabalho de 24 h/dia e 30 dias/mês), as necessidades para a operação dessa instalação em um mês são mostradas na tabela 12.

Tabela 12 – Custos para insumos (matéria-prima, energia e água) e destinação de resíduos para operação de uma planta de reciclagem de aparas de papelão – tempo de desagregação de 5 min

Item	Quantidade	Valor (R\$)
Aparas de papelão (matéria-prima) - toneladas	672	235.200,00
Água para o sistema – m ³	7085	30.685,50
Água para reposição – m ³	12785	55.422,11
Energia – kWh	85133	7.622,86
Resíduos de plástico - toneladas	101	5.040,00 (aterro)

Aqui também calcularam-se os custos de produção por tonelada de fibras de papel base seca produzidas com as considerações apresentadas anteriormente. A tabela 13 apresenta, então, os resultados desta análise.

Tabela 13 – Custos de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de aparas de papelão – tempo de desagregação de 5 min

Destinação dos resíduos	Custos fixos (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custos variáveis (R\$/tonelada de fibra de papel)	Custo de produção (R\$/tonelada de fibra de papel)
Resíduos de plásticos encaminhados para aterro industrial	42,60	625,13	667,73

Os dados da tabela 13 mostram que para a produção de fibra de papel reciclado a partir de aparas de papelão, há um custo fixo por tonelada de fibra de papel produzida bem menor que nos casos anteriores. Isso é possível porque o tempo de desagregação é bem menor (5 minutos) e permite uma maior produtividade. Entretanto os custos variáveis apresentam um valor próximo dos encontrados nas tabelas 7 e 10. Nessa situação a única possibilidade de destino para os resíduos plásticos gerados no processo é o encaminhamento para aterros industriais. Apesar da quantidade percentual de resíduos gerados ser menor (15% para aparas de papelão contra 35% no trabalho com embalagens longa vida), a grande variedade de plásticos não permite o envio para

reciclagem e acaba tendo um alto valor para destinação em aterros industriais. O custo final de produção para este caso é de R\$ 667,73 por tonelada de fibra de papel produzida.

8.1.4 Comparação dos resultados para obtenção de fibra de papel a partir de fontes alternativas

A fim de facilitar a comparação entre os resultados de cada uma das operações é apresentado na tabela 14.

Tabela 14 – Resumo dos custos de produção por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação

Matéria-prima / tempo de desagregação	Destinação dos resíduos	Custo de produção (R\$/tonelada de fibra de papel – base seca)
Embalagens longa vida / 40 minutos	Plástico/alumínio encaminhados para aterro	724,83
	Plástico/alumínio retirados por recicladores	698,11
	Plástico/alumínio vendidos para recicladores	671,39
Embalagens longa vida / 20 minutos	Plástico/alumínio encaminhados para aterro	673,27
	Plástico/alumínio retirados por recicladores	646,56
	Plástico/alumínio vendidos para recicladores	619,84
Aparas de papelão / 5 minutos	Resíduos plásticos encaminhados para aterro	667,73

A partir dos resultados apresentados, é possível perceber que o maior desenvolvimento de um mercado reciclador para o plástico/alumínio é extremamente

importante para viabilizar o uso de fibras de embalagens longa vida como matéria-prima alternativa.

A operação do processo com um tempo de desagregação de 40 minutos apresenta custos de produção muito elevados se comparados com os outros casos, pois há um gasto de energia igual aos outros processos com uma produção relativamente pequena (196 toneladas de fibras de papel contra 293 toneladas para a produção em tempo de desagregação de 20 minutos e 534 toneladas no caso do uso de aparas de papelão).

É interessante observar que a alternativa com menor custo de produção é o uso de embalagens longa vida com um tempo de desagregação de 20 minutos e venda dos resíduos de plástico/alumínio para recicladores – R\$ 619,84 por tonelada de fibra produzida). Esse item apresenta um custo 7% menor que quando se trabalha com aparas de papelão (R\$ 667,73 por tonelada de fibra de papel produzida). Essa mesma alternativa, mas apenas com o simples envio do plástico/alumínio para recicladores (custo de destinação de resíduos nulo), também é uma oportunidade, pois o custo de produção por tonelada produzida (R\$ 646,56) é 3% menor que o trabalho com aparas de papelão. Até o simples uso de embalagens longa vida com o destino do plástico e alumínio para aterro e 20 minutos de desagregação também é interessante, pois representa um aumento de apenas 0,08% em relação ao trabalho com aparas de papelão.

Do ponto de vista de viabilidade ambiental, é importante analisar os consumos energéticos, de água, as matérias-primas, os resíduos e sua destinação em cada uma das situações analisadas.

Um indicador de consumo energético pode ser estabelecido dividindo-se o consumo em que cada uma das situações pela quantidade de fibra celulósica obtida para o processamento final. O resultado dessa comparação pode ser observado na tabela 12.

Tabela 15 – Comparação do consumo energético por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação

Matéria-prima / tempo de desagregação	Consumo energético (kWh)	Quantidade de fibra de papel obtida – base seca (t)	Indicador (kWh/t)
Embalagens longa vida / 40 minutos	85133	196	434
Embalagens longa vida / 20 minutos	85133	293	291
Aparas de papelão / 5 minutos	85133	534	159

A tabela 15 mostra que em termos de consumo de energia, o trabalho com aparas de papelão é muito mais interessante. Essa situação é esperada uma vez que o tempo de desagregação é de apenas 5 minutos e essa é a etapa de maior consumo no escopo analisado. É possível concluir que o processamento com tempo de desagregação de 40 minutos apresenta um indicador energético extremamente elevado e deve ser evitado.

Outro ponto importante a ser analisado é o indicador de água que pode ser melhor observado na tabela 16.

Tabela 16 – Comparação do consumo de água por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e tempos de desagregação

Matéria-prima / tempo de desagregação	Consumo de água (m³)	Quantidade de fibra de papel obtida – base seca (t)	Indicador (m³/t)
Embalagens longa vida / 40 minutos	7292	196	37
Embalagens longa vida / 20 minutos	10938	293	37
Aparas de papelão / 5 minutos	19870	534	37

O consumo de água está diretamente ligado a quantidade de material a ser processado, dessa forma o indicador (quantidade de água/ quantidade de fibra de papel obtida – base seca) é o mesmo para todas as situações, apesar do valor absoluto do consumo de água ser maior para a situação do processamento de aparas de papelão. Com base nesse indicador, os processamentos são equivalentes. Em todos os processamentos, entretanto, é fundamental que exista uma estação de tratamento de efluentes, que trate a água e permita que ela retorne ao processo trabalhando em um sistema de circuito fechado.

Com base no uso de matérias-primas, os processos apresentam semelhanças uma vez que a principal matéria-prima é a embalagem cartonada nas duas primeiras situações e aparas de papelão na terceira situação de estudo. Devido as características dessas matérias-primas, o processamento em estudo não necessita de aditivos químicos para facilitar a desagregação, apenas para fazer o tratamento de efluentes e algum ajuste na água que está sendo processada, como o uso de bactericidas.

Na análise de viabilidade ambiental, é importante listar todos os resíduos gerados no processo e a sua destinação. Nas duas primeiras situações (processamento de embalagens cartonadas), os resíduos são contaminações provenientes dos programas de coleta seletiva, como pedras, areia, os arames que fazem os fardos, entre outros, e, principalmente, as camadas de plástico/alumínio separadas das fibras de papel. Em um primeiro momento, todos esses materiais seguem para aterros industriais, pois não há um processo de reciclagem estabelecido. Entretanto, como o principal resíduo é composto de polietileno de baixa densidade e alumínio, em composições conhecidas, é possível estabelecer um processo de reciclagem para esse material, o que corresponde a uma destinação muito mais ambientalmente adequada e insere esse material em um novo processo produtivo. Esses processos também são objeto de estudo desse trabalho, em suas próximas seções. Vale ressaltar que os resíduos de areia, pedras, arames e outros continuam sendo destinados a aterros industriais, mas são uma quantidade muito menor e menos expressiva de material.

O processamento de aparas de papelão, por sua vez, também tem como resíduos os contaminantes característicos de materiais provenientes de programas de coleta

seletiva, como areia, pedras, arames dos fardos e outros. Além disso, o material também vem contaminado com diversos tipos de plásticos, como filmes de polietileno de baixa densidade, filmes de PVC e até outros tipos de papel plastificados ou com produtos químicos contra umidade que não permitem sua desagregação no simples contato e agitação com água. Esse material não apresenta uma uniformidade e pode variar a cada batelada, sendo portanto muito difícil estabelecer uma alternativa de destinação diferente do envio para aterros industriais.

Dessa forma, é possível concluir que do ponto de vista ambiental, o trabalho com uma matéria-prima que fornece um resíduo mais homogêneo e conhecido pode ser mais interessante, pois permite que o seu destino seja ambientalmente mais adequado que o simples envio para aterros industriais.

Estabelecido o empreendimento, é vital analisar o destino do produto final após este cumprir o seu papel principal – sua destinação pós-consumo. O produto final destes processos são derivados celulósicos, como peças de polpa moldada, folhas de papel reciclado, tubetes de papel ou caixas de papelão. Após cumprirem suas funções, todos esses materiais podem ser novamente destinados aos programas de coleta seletiva, sendo inseridos no ciclo produtivo do papel, passando por processos de reciclagem e voltando ao mercado como outro tipo de produto. Esse ciclo é interrompido apenas pela limitação das fibras celulósicas que perdem um pouco de suas características a cada novo processamento.

8.2. Reciclagem do plástico/alumínio para fabricação de placas e telhas

Após a separação das fibras de papel das embalagens longa vida nas indústrias papeleiras, uma das possibilidades para o destino das camadas de plástico/alumínio é o encaminhamento para as indústrias fabricantes de placas e telhas, conforme processo descrito no item 5.7.7 deste trabalho.

O mercado de materiais para construção civil tem apresentado um grande crescimento e uma grande receptividade para produtos ecologicamente corretos, como os obtidos a partir da reciclagem. Dessa maneira, placas e telhas feitas com

plástico/alumínio reciclado de embalagens longa vida são uma excelente opção para o mercado, sem mencionar as vantagens desse novo produto já descritas no item 5.7.7.

Capacidade da instalação e considerações para processamento

A planta analisada neste trabalho tem como produto final telhas de dimensões iguais a 2,20x0,92m e espessura de 6mm. A mesma instalação, entretanto, pode também fabricar placas com espessuras variadas (o mercado tem oferecido produtos com dimensões de 2,20x1,10m e espessuras entre 6 e 20mm).

As telhas com as dimensões definidas acima pesam cerca de 10kg. Para sua produção é necessário um tempo de prensagem a quente de 20 minutos e 10 minutos para carga e descarga da prensa. Sendo assim, cada batelada tem duração de 30 minutos e produz 4 placas, que devem ser alimentadas na prensa fria para formação de telha – tempo de 5 minutos para essa etapa.

A planta está localizada no Estado de São Paulo, o que define os custos de água, energia e também de impostos sobre a comercialização do produto final. Os custos do terreno e sua preparação para a instalação da planta não são considerados nesta análise, pois podem apresentar grandes variações de acordo com a região escolhida para a construção da planta.

Materiais e insumos – aquisição, disponibilidade e custos.

A produção de telhas recicladas tem como principal matéria-prima o plástico/alumínio proveniente da recuperação das fibras celulósicas presentes nas embalagens longa vida. A partir das considerações colocadas acima, chega-se a um consumo médio de 80kg/h de plástico/alumínio. Esse material é proveniente, principalmente, de indústrias papeleiras que utilizam as embalagens como matéria-prima alternativa. Na maioria das vezes ele pode ser adquirido em fardos, que facilitam o transporte, mas precisam ser desfeitos quando da entrada do material no processo produtivo. Atualmente, o preço desse material é em torno de R\$50,00/tonelada

(CERQUEIRA, 2003) mais os custos de fretes, que para um raio de 150km pode ser considerado de R\$ 29,72 (PEREIRA, 2004). Dessa forma, o custo considerado para aquisição da matéria-prima é de R\$ 80,00/tonelada.

É importante ressaltar que, pelo fato do material não estar contaminado com resíduos orgânicos (já retirados durante a etapa de desagregação do papel), não há necessidade de limpeza, nem do uso de água durante todo o processo. Outro ponto a considerar é que também há um residual de fibra celulósica no plástico/alumínio que não compromete o seu uso na fabricação das telhas e acaba sendo incorporado ao produto final.

Além disso, a empresa também necessita de material desmoldante – papel de embrulho ou filme poliéster. As quantidades são extremamente menores que a da outra matéria-prima, mas também devem ser computados nessa etapa. A gramatura do poliéster utilizado é 17g/m^2 e o seu custo é de R\$ 18,67/kg se considerarmos o poliéster fornecido pela Dupont (FICAEL, 2003).

Para o funcionamento desse processo, o único insumo é a energia elétrica utilizada para moagem, prensagem e aquecimento das placas. O custo deste insumo no Estado de São Paulo já foi apresentado nesse trabalho.

Descrição do processo

O processo de fabricação de placas/telhas a partir de plástico/alumínio é apresentado na figura 12.

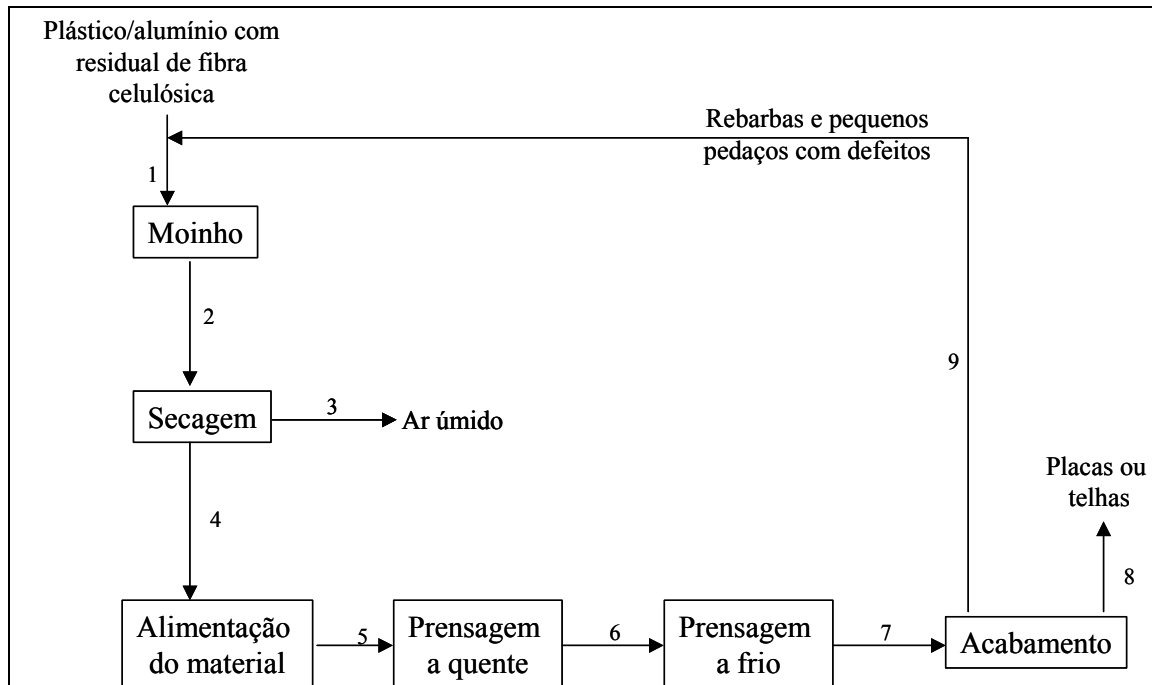


Figura 12 – Fluxograma para representação do processo de fabricação de placas ou telhas a partir do uso de plástico/alumínio reciclado de embalagens longa vida

Na figura 12 é possível observar que a entrada do processo (linha 1) é feita em um moinho para redução do tamanho dessas camadas. Isso facilita a etapa seguinte, a secagem, e permite uma melhor homogeneidade da placa a ser produzida. Além disso, a moagem também facilita a identificação de possíveis contaminantes, como arames, pregos e outras pequenas peças metálicas que possam vir junto com o material e precisam ser retirados.

A linha 2 entra na etapa de secagem. A fim de otimizar essa etapa, o ideal seria o uso de secadores especialmente desenvolvidos para esse trabalho. Entretanto, o desenvolvimento de equipamentos específicos para esta parte do processo necessita de mais estudos e pesquisa. Atualmente, a secagem é feita ao ar livre, em uma área coberta e com muito espaço. Essa modalidade, então, é a proposta estudada nesse trabalho. Apesar de ela necessitar de um tempo grande para acontecer, não há interferência na produtividade, uma vez que o material pode ser previamente seco e armazenado até o início da produção de placas.

Esse material moído e seco é distribuído sobre placas de metal cobertas com filme desmoldante, que no caso em estudo é o filme poliéster. A temperatura de trabalho na prensa quente é de cerca de 180°C, e tanto o papel quanto o filme poliéster não apresentam alterações, permitindo sua retirada da placa sem que essa fique aderida a placa de metal. O interessante é que a preparação de todas as quantidades que serão usadas em uma batelada é feita na mesa de alimentação. Esse processo leva um tempo menor que o de processamento da prensa, que é de 30 minutos.

Após isto, o material é encaminhado para a prensagem a quente (linha 5), onde ocorre o aquecimento do material até uma temperatura de 180°C. Durante esta etapa, há liberação de vapor de água e ocorre o amolecimento da camada de plástico, que permite a formação da placa após o seu resfriamento.

O resfriamento ocorre na etapa seguinte, que define a conformação do produto final. Se essa etapa acontecer em uma superfície lisa, o produto final é chapa lisa. Caso a superfície seja ondulada, chega-se a produção de telhas. O interessante é que esse processamento seja feito em uma prensa com o mesmo número de placas da prensa quente para que o processo seja simultâneo e otimizado. Em algumas instalações, é possível observar a produção de telhas com o simples uso de tubos de metal com o diâmetro adequado para formação da ondulação do produto.

No fim do processo, há o acabamento das placas produzidas com o corte das rebarbas e pequenos defeitos para uma melhor padronização do produto final. Os materiais descartados nesta etapa voltam para linha 1, sendo incorporados ao processo produtivo – moagem, secagem e prensagem.

O transporte dos materiais de uma operação para outra é feito por operadores da planta, que são responsáveis pelo controle do processo e a adequada apresentação do produto final.

Descrição e custos dos equipamentos

Os blocos do fluxograma da figura 12 apresentam as operações necessárias para esse processamento e os principais equipamentos utilizados em cada uma dessas operações são os descritos na tabela 17.

Tabela 17 – Descrição e custos para aquisição dos principais equipamentos necessários para a fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida

Operação - Equipamento	Descrição	Custo final (R\$)
Moagem - Moinho	Modelo MAK 400 com motor trifásico 15CV – 1750 rpm – 220/380V <i>Fornecedor: Kie Máquinas e Plásticos Ltda. (2003)</i>	10.122,90
Secagem -	Ar livre	0,00
Alimentação da prensa - Mesa elevatória	Mesa elevatória com quatro suportes para prensa quente <i>Fornecedor: Ecofuturo – Fábrica de Materiais Plásticos Ltda. (2003)</i>	6.088,50
Prensagem a quente - Prensa quente	Prensa com 4 compartimentos, 2300x1200mm, com resistências alteradas para 900Watts, temperatura 180°C, pressão máxima 120.000Kg, motor trifásico 4,0cv - 220 V <i>Fornecedor: Invicta Vigorelli Metalúrgica Ltda (2003)</i>	126.499,80
Prensagem a frio - Prensa fria	Prensa com 4 compartimentos e chapas em formato de telhas <i>Fornecedor: Ecoplac (2003)</i>	45.000,00
Acabamento - Esquadrajadeira	Esquadrejadeira, abertura 2500mm, com cabeçotes inclináveis até 45 graus, com riscadores, motorização trifásica de 5,0cv e 0,75cv para o riscador(220 volts) <i>Fornecedor: Invicta Vigorelli Metalúrgica Ltda. (2003)</i>	55.895,70
Total de custo de equipamentos		243.606,90

Os dados apresentados já incluem os impostos para aquisição de cada equipamento. Os impostos para a mesa elevatória e o moinho, por exemplo, incluem

18% de ICMS, pois são comercializados no Estado de São Paulo, e 5% de IPI, pois trata-se de produção de equipamentos para uma outra indústria. No caso da prensa a quente e da esquadrejadeira, o preço sem impostos já inclui o ICMS e basta ser incluído o IPI de 5% também, conforme informações do próprio fornecedor (INVICTA, 2003).

Os custos da planta como um todo ainda devem considerar os gastos com instalações, instalações elétricas e edificações, conforme mencionado na análise feita para a reciclagem das fibras de papel. Neste processo, entretanto, não há necessidade de tubulações. Assim, a tabela 18 apresenta o custo final da instalação.

Tabela 18 – Custo final para instalação da planta de fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida

<i>Total de custos de equipamentos</i>		<i>R\$ 243.606,90</i>
Item	Porcentagem (%)	Valor (R\$)
Instalações	25	60.901,73
Instalações elétricas	10	24.360,69
Edificações	25	60.901,73
Total de instalação da planta (equipamentos e instalações)		389.771,04

Os dados apresentados na tabela 18 mostram que há um custo total para instalação da planta de R\$ 389.771,04. Esse é o valor usado em todas as análises financeiras para determinação dos custos fixos (depreciação, manutenção e seguro), rentabilidade e prazo de retorno.

Balanço de massa para a instalação

A partir das considerações apresentadas e da descrição do processo, chega-se ao balanço de massa mostrado na tabela 19.

Tabela 19 – Balanço de massa para fabricação de telhas de plástico/alumínio reciclados

Linha	Material base seca (kg/h)	Água (kg/h)	Consistência (%)	Fluxo m ³ /h	Umidade (%)	Material total (kg/h)	Linha
1	80,00	34,29	70,00%		30,00%	114,29	1
2	80,00	34,29	70,00%		30,00%	114,29	2
3	0,00	20,17					3
4	80,00	14,12	85,00%		15,00%	94,12	4
5	80,00	14,12	85,00%		15,00%	94,12	5
6	80,00	4,21			5,00%	84,21	6
7	80,00	4,21			5,00%	84,21	7
8	80,00	4,21			5,00%	84,21	8

A linha 3 representa a saída da umidade durante o processo de secagem das camadas de plástico/alumínio já moídas, por isso não há material seco presente. A linha 9 não é apresentada nesse balanço, pois a quantidade de aparas e defeitos gerados é muito pequena e retorna ao processo produtivo, não sendo caracterizada como resíduo ou perda. Além disso, sua quantidade é diferente a cada batelada, pois dependerá da qualidade de processamento e definição das telhas.

Na preparação da linha 4, a mesa de preparação é forrada com o filme desmoldante no mesmo tamanho da bandeja. Depois do material colocado, ele é coberto com mais um pedaço de filme. Assim, utiliza-se um total de 5m² por telha produzida, que corresponde a 85g de poliéster. Para o processamento de 84 kg/h de plástico/alumínio e considerando que cada telha corresponde a 10kg de material, há a necessidade de 0,714kg/h de poliéster.

Considerando-se que esta planta opere em regime de turnos em um total de 24h/dia e 30 dias/mês, a produção mensal é de 60,63 toneladas de telhas, o que corresponde a 6063 telhas produzidas na espessura de 6mm, dimensões de 2,20x0,92m e peso de 10kg por unidade.

Custos de mão-de-obra

Os trabalhadores necessários para operarem uma pequena planta como essa somam um total de 4 pessoas: 1 para trabalhar operando o moinho; 1 para preparar o material para secagem e 2 operando a alimentação da prensa, sua operação e a formação das telhas na prensa fria. Considerando um gasto mensal por operador de R\$1.000,00 incluindo salários e encargos sociais e a operação da planta de 24 horas por dia, gerando uma necessidade de 4 turnos, resultando num gasto total de R\$16.000,00 por mês de operação com mão-de-obra.

Custos de depreciação, manutenção e seguro

Conforme já apresentado no item de reciclagem de papel, aqui também calcularam-se os custos de depreciação, manutenção e seguro, segundo dados do SEBRAE (2003). A tabela 20 mostra esses resultados para a planta em questão.

Tabela 20 – Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de fabricação de telhas a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida

<i>Total da instalação da planta</i>		<i>R\$ 389.771,04</i>	
Item	Porcentagem(%)	Valor mensal (R\$)	Valor anual (R\$)
Depreciação	15	3.045,09	36.541,04
Manutenção	4,5	913,53	10.962,31
Seguro	3,5	710,52	8.526,24

Análise financeira para planta de telhas recicladas

A partir de todas as observações e análises colocadas para a planta, é possível computar todas as necessidades da planta e também determinar seus custos fixos e variáveis de operação. É importante lembrar que os custos fixos incluem os gastos com depreciação dos equipamentos e instalações, manutenção, seguro da planta, impostos e salários.

Os impostos, entretanto, não são incluídos nos custos fixos; mas sim na determinação do preço final de venda do produto. Por ser uma empresa pequena e com um renda bruta mensal inferior a R\$ 240.000,00, ela pode ser enquadrada como uma empresa de pequeno porte, conforme definições da Receita Federal (2003), e se inscrever no Sistema Simples. Assim, todos os impostos necessários, exceto o ICMS, são cobrados em uma única cota, referente a quantidade de receita bruta da empresa interferindo diretamente no preço final do produto. Essa contribuição única inclui o pagamento de IRPJ, PIS, COFINS, INSS Patronal e IPI, quando a empresa necessitar fazer o pagamento deste. Além disso, a contribuição a esse sistema dispensa a empresa de fazer as contribuições destinadas ao SESC, SESI, SENAI, SENAC, SEBRAE e congêneres e de pagar o salário-educação e a contribuição sindical patronal (RECEITA FEDERAL, 2003). O ICMS também não é considerado dentro dos custos fixos, mas sim dentro dos custos de comercialização que fazem parte da determinação do preço de venda do produto. O valor do ICMS é diferente para cada região do país. No Estado de São Paulo, esse valor é de 18%, segundo a Lei nº 6.374 de 1º de março de 1989 e alterada pela Lei nº 11.601 de 19 de dezembro de 2003.

A tabela 21 apresenta, então, os custos fixos para a operação da planta em questão.

Tabela 21 – Determinação dos custos fixos por tonelada produzida de telha reciclada de plástico/alumínio

Item	Valor	
	Mensal	Anual
Depreciação (R\$)	3.045,09	36.541,04
Manutenção (R\$)	913,53	10.962,31
Seguro (R\$)	710,52	8.526,24
Impostos	São computados na determinação do preço de venda do produto	
Salários (R\$)	16.000,00	192.000,00
Total de custos fixos (R\$)	20.669,13	248.029,59
Total de produção - toneladas	60,63	727,58
Custo fixo por tonelada produzida (R\$/tonelada)	340,90	

A partir dos valores apresentados na tabela 21 e das considerações levantadas anteriormente no estudo do processo tem-se um custo fixo de R\$ 340,90 por tonelada de telha produzida.

Parte-se, então, para a determinação dos custos variáveis da planta que compreendem os gastos com matéria-prima, energia, água e disposição de resíduos. Conforme apresentado essa planta não utiliza água em seu processo produtivo e também não há disposição de resíduos, pois todos retornam ao início da operação e são reaproveitados. A tabela 22 apresenta os valores para determinação do custo variável por tonelada produzida, que é o mesmo para uma escala mensal ou anual. Assim analisam-se apenas os valores mensais. Além disso, as quantidades aqui apresentadas são determinadas conforme o balanço de massa da tabela 19 e os custos descritos nesse trabalho.

Tabela 22 – Determinação do custo variável por tonelada produzida de telha reciclada de plástico/alumínio

Item	Quantidade mensal	Valor mensal (R\$)
Plástico/alumínio com residual de fibra celulósica e umidade – toneladas	82,29	6.582,86
Poliéster (filme desmoldante) - toneladas	4,12	7.697,54
Energia elétrica – kWh	37065	3.318,82
Água	Não há uso de água no processo	
Disposição de resíduos	Não há geração de resíduos no processo	
Total de custos variáveis (mensal) – R\$	17.599,22	
Total de produção (mensal) - toneladas	60,63	
Custo variável por tonelada produzida R\$/tonelada	290,26	

A partir dos dados apresentados nas tabelas 21 e 22, é possível chegar ao custo de produção por tonelada de telha fabricada no processo em estudo. Esse resultado é mostrado na tabela 23.

Tabela 23 – Custo de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de telha de plástico/alumínio

Processo	Custos fixos (R\$/tonelada de telha)	Custos variáveis (R\$/tonelada de telha)	Custo de produção (R\$/tonelada de telha)
Fabricação de telhas de plástico/alumínio	340,90	290,26	631,16

Com o custo de produção em mãos é possível calcular, então, o preço de venda do produto (PVU) para o mercado. É importante ressaltar que se trabalha com 1 tonelada de material como unidade. Segundo SEBRAE (2003), esse preço é composto pela fórmula abaixo apresentada:

$$PVU = \frac{CUP}{(100 - (CC + ML))} * 100 \quad (1)$$

em que: PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

CUP = custo unitário de produção (R\$/tonelada);

CC = custo de comercialização (%);

ML = margem de lucro (%).

O preço de venda unitário é formado pelo custo de produção unitário, margem de custo de comercialização e a margem de lucro da produção. O custo de produção, por sua vez, é formado pela soma dos custos fixos e variáveis unitários, já calculados na tabela 23.

O custo de comercialização (CC) engloba os custos de venda do produto, de divulgação e os impostos que incidem sobre a venda do produto. Para esse estudo, considera-se 5% para cobrir os custos de venda, que são os custos com o departamento de vendas ou representantes e distribuidores; 2% para atividades de divulgação do produto, como confecção de “folders” e catálogos informativos e 23,9% para os

impostos. Este último item considera que a planta está localizada no Estado de São Paulo, sujeita a uma taxa de ICMS de 18% e por estar enquadrada no Sistema Simples, há a incidência de 5,9% sobre toda a renda bruta da planta. Esse último imposto, entretanto, é pago sobre o faturamento da empresa uma vez por mês e não aparece nas notas fiscais de comercialização. Dessa forma, o custo de comercialização é de 30,9%.

A margem de lucro também é definida neste estágio e é maior ou menor conforme o preço de mercado do produto produzido. Para o caso em questão, as telhas de plástico/alumínio podem ser encontradas no mercado nacional com um valor de R\$ 1.400,00 por tonelada (IBAPLAC, 2003). A fim de manter o preço dentro dos já praticados no mercado, a margem de lucro é definida como sendo 24%.

Assim, o preço de venda unitário para uma tonelada de telha feita com plástico/alumínio é definido abaixo:

$$PVU = \frac{631,16}{(100 - (30,9+24))} \times 100 \quad (2)$$

$$PVU = R\$ 1.399,47/\text{tonelada} \quad (3)$$

Dessa forma, tem-se que o preço de venda de uma tonelada de telhas recicladas de plástico/alumínio é de R\$ 1.399,47.

Com o preço de venda, a capacidade de produção da planta e o investimento necessário definidos, é possível fazer as análises financeiras, como a definição da margem de contribuição do lucro, o lucro líquido e, também, os indicadores de desempenho: lucratividade, rentabilidade, prazo de retorno do investimento e o ponto de equilíbrio da produção.

A margem de contribuição do lucro é dada pela receita total da empresa menos os custos variáveis totais, que devem incluir tanto os custos variáveis de produção quanto os de comercialização, conforme apresentado na fórmula (4).

$$MC = R \text{ total} - (CV+CC) \quad (4)$$

em que: MC = margem de contribuição do lucro (R\$);

$R \text{ total} = \text{receita total (R\$)} = \text{PVU} \times Q$;

$CV = \text{custos variáveis de produção (R\$)} = \text{CVU} \times Q$;

$\text{CVU} = \text{custo variável unitário (R\$/tonelada)}$;

$CC = \text{custo de comercialização (R\$)} = R \text{ total} \times 0,309 = (\text{PVU} \times Q) \times 0,309$;

$\text{PVU} = \text{preço de venda unitário (R\$/tonelada)}$;

$Q = \text{quantidade (tonelada)}$.

Dessa forma, tem-se que a margem de contribuição do lucro mensal é:

$$MC = \text{PVU} \times Q - (\text{CVU} \times Q + \text{PVU} \times Q \times 0,309) \quad (5)$$

$$MC = Q \times (\text{PVU} - (\text{CVU} + \text{PVU} \times 0,309)) \quad (6)$$

$$MC = 60,63 \times (1.399,47 - (290,26 + 1.399,47 \times 0,309)) \quad (7)$$

$$MC = \text{R\$ } 41.033,67 \quad (8)$$

A margem de contribuição do lucro mensal é de R\$ 41.033,67 e de R\$ 492.404,00 para a análise anual, considerando-se uma produção (Q) de 727,58 toneladas de telhas. Com esse dado é possível chegar ao lucro líquido da planta em operação em uma base mensal de acordo com a equação (9):

$$L = MC - CF \quad (9)$$

em que: $L = \text{lucro líquido mensal (R\$)}$;

$MC = \text{margem de contribuição do lucro mensal (R\$)}$;

$CF = \text{custos fixos (R\$)} = (\text{CFU} \times Q)$.

$$L = MC - (\text{CFU} \times Q) \quad (10)$$

em que: $\text{CFU} = \text{custo fixo unitário (R\$/tonelada)}$;

$Q = \text{quantidade produzida (tonelada)}$.

$$L = 41.033,67 - (340,90 \times 60,63) \quad (11)$$

$$L = \text{R\$ } 20.364,41 \quad (12)$$

O lucro líquido mensal da planta é de R\$ 20.364,41, sendo este valor utilizado para determinar a lucratividade do empreendimento, conforme a equação (13):

$$\text{Luc} = \frac{\text{L}}{\text{R total}} * 100 \quad (13)$$

em que: Luc = lucratividade (%);

L = lucro líquido (R\$);

R total = receita total (R\$) = (PVU x Q).

$$\text{Luc} = \frac{\text{L}}{(\text{PVU} \times \text{Q})} \times 100 \quad (14)$$

em que: PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade (tonelada).

$$\text{Luc} = \frac{20.364,53}{(1.399,47 \times 60,63)} \times 100 \quad (15)$$

$$\text{Luc} = 24\% \quad (16)$$

O empreendimento apresenta uma lucratividade de 24%, que é uma taxa muito interessante para um novo processo. Isso representa que para cada R\$ 100,00 em vendas, a empresa obterá R\$ 24,00 de lucro. Esse resultado condiz com a margem de lucro determinada de 24% para formação do preço de venda unitário (PVU) do produto para atingir os valores praticados no mercado.

Com o resultado de lucro mensal da planta, é interessante analisar a rentabilidade, dada pela equação (17):

$$\text{Ren} = \frac{\text{L}}{\text{I total}} \times 100 \quad (17)$$

em que: Ren = rentabilidade (%);

L = lucro líquido mensal (R\$);

I = investimento total do empreendimento (R\$).

Substituindo-se os valores, tem-se:

$$\text{Ren} = \frac{20.364,53}{389.771,04} \times 100 \quad (18)$$

$$\text{Ren} = 5,22\% \quad (19)$$

A rentabilidade do empreendimento é de 5,22%. Dessa forma, pode-se afirmar que o capital investido retornará a uma taxa de 5,22%.

Com as informações do lucro em base mensal e o investimento total, pode-se calcular o prazo de retorno com a equação (20):

$$\text{Ret} = \frac{\text{I total}}{\text{L}} \quad (20)$$

em que: Ret = prazo de retorno (meses);

L = lucro líquido (R\$);

I = investimento total do empreendimento (R\$).

Com os valores temos:

$$\text{Ret} = \frac{389.771,04}{20.364,53} \quad (21)$$

$$\text{Ret} = 19,13 \text{ meses} = 20 \text{ meses} = 1 \text{ ano e } 8 \text{ meses} \quad (22)$$

O prazo de retorno desse investimento é de 20 meses ou 1 ano e 8 meses. Dessa forma, pode-se afirmar que após 1 ano e 8 meses de operação da planta em plena capacidade e vendas correspondentes a essa produção, é possível recuperar o total investido na planta e o capital começará a retornar na forma de lucro.

Caso a planta não consiga operar a todo vapor, é possível determinar o ponto de equilíbrio do empreendimento, em que não há lucro nem prejuízo para a planta. Com essa condição estabelecida, é possível fazer reduções no preço de venda para aquisição de novos clientes ou participações em divulgações do produto. Esse ponto é determinado por uma quantidade mínima de produtos que devem ser vendidos ao longo de um ano para garantir a manutenção dos custos da planta e é dado pela fórmula abaixo:

$$\text{PEq} = \frac{\text{CF}}{(\text{PVU} - (\text{CVU} + \text{CC}))} \quad (23)$$

em que: PEq = ponto de equilíbrio (toneladas);

CF = custos fixos (R\$) = (CFU x Q);

PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

CVU = custo variável unitário (R\$/tonelada);

CC = custo de comercialização (R\$) = PVU x 0,309.

$$PEq = \frac{CFU \cdot Q}{(PVU - (CVU + (PVU \times 0,309)))} \quad (24)$$

em que: CFU = custo fixo unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade anual (tonelada).

$$PEq = \frac{340,90 \times 727,58}{(1.399,47 - 290,26 + (1.399,47 \times 0,309))} \quad (25)$$

$$PEq = 366,49 \text{ toneladas} \quad (26)$$

Pela equação 26 tem-se que o ponto de equilíbrio anual é de 366,49 toneladas de telhas. Em base mensal, é necessária uma produção de 30,54 toneladas (366,49 por 12 meses). Dessa maneira, apesar da capacidade produtiva ser de 60,63 toneladas por mês, com uma produção mensal de 30,54 toneladas já é possível não ter prejuízos com o empreendimento.

Análise ambiental para planta de telhas recicladas

Do ponto de vista ambiental, é importante analisar o empreendimento quanto aos consumos energéticos, de água, as matérias-primas utilizadas, os resíduos gerados e sua destinação, além do destino pós-consumo dos produtos fabricados pela empresa em estudo.

Conforme apresentado, o empreendimento não utiliza água, pois o processo de fabricação de telhas necessita apenas de aquecimento. Por trabalhar com um material que não é proveniente direto dos programas de coleta seletiva e sim de um outro processo industrial (reaproveitamento das fibras celulósicas em indústrias papelerias), não há necessidade de uma etapa de lavagem para retirada de resíduos orgânicos. Esse limpeza acontece juntamente com a extração das fibras celulósicas nas indústrias papelerias.

Já o consumo de energia é extremamente importante de ser considerado, pois é o insumo fundamental para esse processo. Um indicador de consumo de energia também

pode ser estabelecido como sendo o consumo em kWh dividido pela quantidade de telhas produzidas. No processo em estudo, chega-se a um indicador de 611 kWh/t de telha produzida (consumo de 37065kWh dividido por 61 toneladas de telhas em um mês). Esse consumo de energia é alto, mas pode vir a ser otimizado com a instalação de um sistema de secagem mais eficiente, que a simples secagem ao ar. Dessa maneira, o tempo do material na prensagem a quente poderia ser menor, reduzindo um pouco o consumo energético por tonelada produzida nessa etapa.

As matérias-primas necessárias para esse processo são as camadas de plástico/alumínio proveniente do reaproveitamento das fibras celulósicas nas indústrias papeleiras, que podem ou não estar contaminadas com um residual de fibras. O outro material necessário é o filme desmoldante, que no caso estudado, foi o filme de poliéster. É importante ressaltar que esse processo também não necessita de produtos químicos nem como aglutinantes para a formação da telha nem para alterar as propriedades do material.

Os principais resíduos gerados nos processos de fabricação de telhas são as rebarbas obtidas dos acabamentos feitos nos produtos finais. Essas rebarbas são compostas pela mesma matéria-prima inicial e voltam ao início do processo para serem trituradas e novamente prensadas com aquecimento para produção de novas telhas. O mesmo acontece para os produtos que apresentam defeitos como furos ou irregularidades em sua formação. Essa possibilidade é extremamente interessante do ponto de vista ambiental, pois permite a recuperação de todos os resíduos dentro do próprio processo sem a necessidade do envio desse material para outros empreendimentos ou outro tipo de disposição, como em aterros industriais.

Nesse tipo de empresa, também é necessário estabelecer o encaminhamento do produto final após ele cumprir o seu papel principal. No caso em estudo, todos os produtos são destinados para o mercado da construção civil e o seu destino após o uso será o mesmo dos materiais desse mercado, os aterros sanitários em sua grande maioria.

Atualmente não existem estudos para o reaproveitamento das telhas recicladas após o seu uso, por se tratar de um material relativamente novo mercado. Esses estudos devem ser feitos, pois a exposição a intempéries a que as telhas ficam expostas podem

levar a degradação do material e alteração de suas características, dificultando o seu reaproveitamento para a mesma aplicação. Mesmo que tecnicamente esse reaproveitamento fosse possível, seria necessário estabelecer um sistema de coleta seletiva exclusivo para esse material. Essa atividade é praticamente impossível, devido a quantidade de telhas dessa natureza no mercado ainda ser muito pequeno e com tempo de vida útil grande.

Com as análises feitas, conclui-se que a produção de telhas a partir de plástico/alumínio reciclado de embalagens longa vida é um negócio viável técnica, econômica e ambientalmente. A viabilidade técnica é conseguida pela fabricação de um produto que pode ser colocado no mercado consumidor e por já existirem diversas empresas que trabalham nesse setor. As análises financeiras feitas nesse trabalho mostram que a instalação da planta também é viável economicamente, apesar do consumo de energia ser relativamente alto. Mesmo praticando o preço de mercado, a empresa tem uma lucratividade de 24% e obtém um lucro mensal de R\$ 20.364,53, com uma rentabilidade de 5,22%. Assim, em 1 ano e 8 meses de funcionamento em produção total (24 h/dia e 30 dias/mês) é possível recuperar todo o investimento feito no empreendimento. Do ponto de vista ambiental, esse processo também é extremamente interessante, pois trabalha com uma matéria-prima que é um sub-produto de outro processo produtivo, além de não gerar resíduos, já que todos são reaproveitados no próprio processo.

8.3. Reciclagem do plástico/alumínio para fabricação de “pellets”

Os sub-produtos da recuperação de fibras celulósicas na indústria de papel também podem ser encaminhados para indústrias de plástico, uma vez que a maior parte desse material é composto de polietileno de baixa densidade conforme descrito anteriormente neste trabalho.

O processo de aproveitamento e reciclagem de termoplásticos necessita de algumas pequenas modificações para que possa processar o material proveniente das indústrias papéis, pois este possui uma certa quantidade de fibra celulósica que precisa ser retirada antes do trabalho em equipamentos de trabalho com plásticos. Dessa maneira, a modificação necessária é um pequeno lavador que funciona como desagregador, pois retira a fibra celulósica e deixa apenas o plástico e o alumínio. Além disso, a quantidade de alumínio presente no material, cerca de 20%, apenas altera as propriedades do produto final e não o seu processamento. O alumínio, dessa forma, é considerado como uma carga para o polietileno de baixa densidade.

Capacidade da instalação

A planta em questão tem como produto final “pellets” de polietileno de baixa densidade com alumínio como carga. As propriedades conseguidas com esta combinação permitem que o material seja comercializado para aplicações que exigem um pouco mais de resistência do que as simples aplicações do polietileno de baixa densidade, que geralmente é utilizado na fabricação de filmes. É possível a produção de pequenas peças, como suporte de vassouras, canetas, régua, porta-lápis e até a combinação com outros tipos de plástico como o polietileno de alta densidade para produção de peças maiores, como “pallets”, bancos e lixeiras de tamanhos diversos.

A capacidade da instalação em estudo é uma produção de 99,18 toneladas de “pellets” reciclados por mês, que corresponde a 1190 toneladas de material por ano.

É importante ressaltar que, como a matéria-prima inicial possui uma certa quantidade de fibras celulósicas, há também um sub-produto nesta instalação: folhas de papel com a fibra celulósica. A quantidade gerada é 8 toneladas base seca por mês, um total anual de 96 toneladas. Em base úmida, a fibra celulósica gerada corresponde a 16 toneladas mensais ou 192 toneladas anuais. Esse sub-produto, entretanto, é considerado com um desconto nos custos variáveis e não como o produto final do empreendimento. Sendo assim, todas as análises feitas serão computadas em razão da quantidade de “pellets” produzidos.

Para fins de análise, a planta em estudo está localizada no Estado de São Paulo, o que determina que o ICMS a ser pago na venda dos produtos finais é de 18% e também quais são os custos de energia e água, conforme os distribuidores locais.

Outro ponto a considerar é que os custos com aquisição do terreno e preparação deste para a instalação da planta não são considerados neste trabalho, por apresentarem grandes variações conforme a sua localização.

Materiais e insumos – aquisição, disponibilidade e custos

A matéria-prima necessária para a produção de “pellets” reciclados é proveniente das indústrias papeleiras que processam as embalagens longa vida como matéria-prima alternativa. Esse material, em sua grande maioria, está presente na forma de fardos com 30% de umidade a um custo de R\$50,00/tonelada (CERQUEIRA, 2003) mais os custos de fretes que em um raio de 200km ficam em torno de R\$29,72 (PEREIRA, 2004). Então, para fins de análise, o valor da matéria-prima considerado é de R\$ 80,00/ tonelada.

A disponibilidade dessa matéria-prima é tanto maior quanto maior for o número de indústrias papeleiras trabalhando com embalagens longa vida, que por sua vez será maior quanto maior for a quantidade de material separado nos diversos programas de coleta seletiva do País.

Vale ressaltar que a matéria-prima possui três componentes – fibra celulósica residual, polietileno de baixa densidade e alumínio – em proporções diferentes da embalagem longa vida inicial processada pela indústria papeleira. Considerando que na embalagem há 20% de plástico e 5% de alumínio, que esse material não passa para a fabricação de papel e que o sub-produto da indústria papeleira corresponde a 35% da massa inicial, incluindo 30% de umidade, é possível encontrar a nova proporção dessa matéria-prima, que é de 64,29% de plástico/alumínio e 5,71% de fibra celulósica, se considerada em base úmida. Já em base seca, essa proporção é de 91,84% para o plástico/alumínio e de 8,16% para a fibra celulósica. Esse valor concorda com os resultados obtidos por Neves (2001) que verificou a quantidade de residual de fibras

celulósicas através de testes em lavador “Fine Tooth”. A consistência desse dado é fundamental para se estabelecer as quantidades de materiais que podem ser obtidos em uma planta industrial.

Apesar de ter apenas uma matéria-prima, a instalação também necessita de água e energia elétrica para o seu completo funcionamento, além dos sacos de embalagens, que não são considerados neste estudo por terem um peso menor que os demais custos.

A água para esta instalação é proveniente da rede de fornecimento público e são considerados os custos no estado de São Paulo, os mesmos já apresentados para a análise da planta de reciclagem para recuperação de fibras celulósicas, segundo informações da SABESP (2003).

A energia elétrica necessária para a planta é fornecida pela companhia de luz presente na área de trabalho e os valores utilizados foram os da CPFL (2003) já descritos para a planta de recuperação de fibras de papel, uma vez que todas as plantas em estudo estão localizadas no Estado de São Paulo.

Descrição do processo

O processo para fabricação de “pellets” reciclados a partir de plástico/alumínio de embalagens longa vida é apresentado na figura 13.

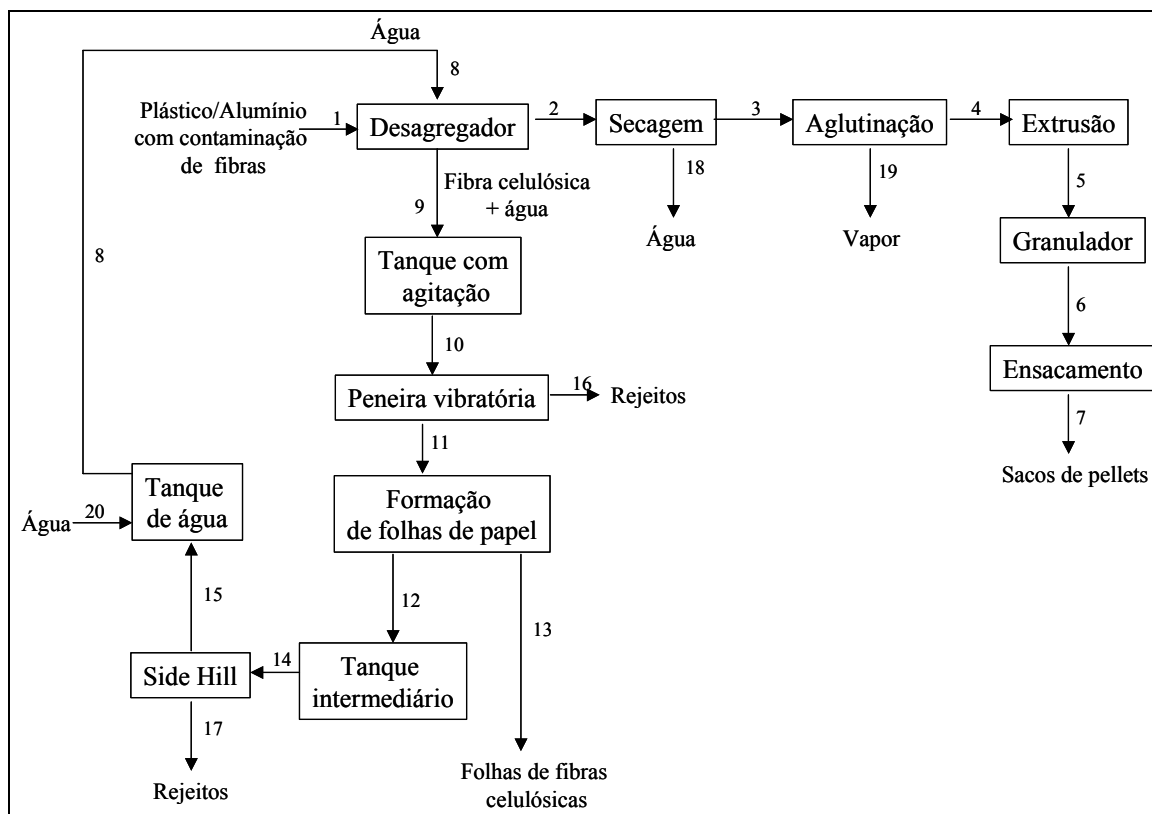


Figura 13 – Fluxograma para representação do processo de fabricação de pellets reciclados a partir do plástico/alumínio de embalagens longa vida

Na figura 13, é possível observar que o processo inicia-se com a entrada do material proveniente das indústrias papeleras, plástico/alumínio com residual de fibra, diretamente no desagregador (linha 1) para a retirada das fibras celulósicas. Essa retirada é feita com a adição de água (linha 2) e mantendo o material em agitação no desagregador durante 3 minutos, levando a uma batelada de 7 minutos. Dessa maneira, é possível fazer a carga e descarga do equipamento 8 vezes em um intervalo de uma hora, sendo essa etapa a determinante da quantidade de material a ser processada na planta como um todo. A consistência de trabalho nesse equipamento é de 0,5% e a carga máxima de cada batelada é de 25kg, segundo Neves (2003).

O plástico/alumínio segue, então, por meio de secadores, que também facilitam a retirada de água, para o aglutinador. Este último é fundamental no trabalho de reciclagem de plásticos em filmes, pois consegue transformar esse material em pequenos aglomerados, que são melhor processados nas demais etapas do processo.

Essa transformação é possível com o aquecimento por atrito das camadas de plástico/alumínio e uma pequena adição de água para formação dos aglomerados.

A linha 4 leva os aglomerados para a extrusora, onde são aquecidos homogeneamente até a formação de fios do material processado que são, em seguida, colocados no granulador. Esse é responsável por picotar os fios em pequenos cilindros uniformes, denominados “pellets”, que são ensacados na etapa seguinte para poderem ser comercializados a outras indústrias de plásticos, como as de injeção para produção de pequenas peças.

Na etapa de desagregação também há a saída de fibra celulósica com a água do sistema (linha 9). Para que seja possível a recuperação da água e também da fibra celulósica, esse material segue para um tanque com agitação que promove a homogeneidade da mistura e passa, em seguida, por uma peneira vibratória (entrada da linha 10), que é responsável pela depuração da linha, retirando alguns rejeitos presentes no material.

A polpa segue para a formação de folha na desfolhadeira. Um equipamento que retira a polpa da água e permite a formação de folhas com 50% de umidade, mas que já podem ser transportadas para indústrias papeleiras que podem utilizar o material já limpo, não necessitando de tantos equipamentos de depuração. A água descartada nessa etapa segue para um tanque intermediário, passa por uma peneira “Side Hill” para retirada de fibra residual e retorna ao processo produtivo. Nessa etapa há uma pequena reposição de água para manter o sistema em funcionamento (linha 20).

Descrição e custos dos equipamentos

Os blocos da figura 13 representam operações unitárias executadas por diversos equipamentos que estão descritos na tabela 24.

Tabela 24 – Descrição e custos para aquisição dos equipamentos necessários para a fabricação de “pellets” reciclados de plástico/alumínio proveniente da recuperação de fibras celulósicas das embalagens longa vida

Operação - Equipamento	Descrição	Custo final (R\$)
Desagregação - Desagregador	Desagregador Fine Tooth com motor elétrico 50CV – tensão 220/380 V <i>Fornecedor:</i> Sulab – Flávio A. de Paula & Cia. Ltda. (2003)	40.510,00
Secagem – Secador	3 Secadores com rotores de 5 hélices cada e motor de 20CV – trabalho com polietileno <i>Fornecedor:</i> Seibt Máquinas para Plásticos Ltda (2001).	31.263,75
Aglutinação - Aglutinador	Aglutinador AK-60, potência 30CV, tubo de diâmetro de 600mm, rotor de 1750 rpm, 2 facas rotativas e 3 facas fixas <i>Fornecedor:</i> Kie Máquinas e Plásticos Ltda (2004a).	8.280,00
Extrusão - Extrusora	Extrusora EK-90, potência 50CV, rosca de 90mm, L/D 28, 5 zonas de aquecimento, consumo 67,5kWh <i>Fornecedor:</i> Kie Máquinas e Plásticos Ltda (2004b).	90.169,20
Granulagem - Granulador	Granulador GK3V, potência 3CV, 8 facas rotativas, 1 faca fixa <i>Fornecedor:</i> Kie Máquinas e Plásticos Ltda (2004c).	7.824,60
Peneiração – Peneira vibratória	Peneira vibratória tipo pranchister 1,2m x 0,8m, apoiados sobre molas, acionado por motor 7,5HP. (peneira em inox 3mm x furação 5mm). <i>Fornecedor:</i> Incomesp Indústria e Comércio de Equipamentos Especiais Ltda. (2003)	7.250,00
Formação de folhas de papel - Desfolhadeira	Desfolhadeira completa 0,9m x 1,1m em aço carbono com feltro, tela, sistema de transmissão, rolo pick-up revestido em borracha e motor 3CV. <i>Fornecedor:</i> Incomesp Indústria e Comércio de Equipamentos Especiais Ltda. (2003)	38.000,00
Total de custo de equipamentos		225.437,55

O preço final já inclui os custos de impostos que podem variar de fabricante para fabricante conforme o sistema fiscal em que estão classificados e o local do País em que estão localizados.

O custo da planta deve ser completado com custos de instalações, custos de instalações elétricas e também os de edificações, segundo as estimativas de Peters e Timmerhaus (1991) já apresentadas neste trabalho. A tabela 25 traz os valores para cada um desses itens e apresenta o custo total para a instalação da planta.

Tabela 25 – Custo final para instalação da planta de fabricação de “pellets” reciclados

<i>Total de custos de equipamentos</i>		<i>R\$ 225.437,55</i>
Item	Porcentagem (%)	Valor (R\$)
Instalações	25	56.359,39
Instalações elétricas	10	22.543,76
Edificações	25	56.359,39
Total de instalação da planta (equipamentos e instalações)		360.700,08

O valor total da instalação da planta, R\$ 360.700,08 conforme a tabela 25 é o valor referência para todas as análises financeiras do empreendimento e determina também os custos fixos da planta, como depreciação, seguro e necessidade de manutenção.

Custos de depreciação, manutenção, seguro e impostos

Os custos de depreciação, manutenção e seguro também foram calculados para esta planta segundo dados do SEBRAE (2003) já mencionados neste trabalho. O valor base é o da instalação completa, isto é, R\$ 360.700,08. Esses valores em bases mensal e anual são apresentados na tabela 26.

Tabela 26– Custos para depreciação, manutenção e seguro para operação de uma planta de fabricação de “pellets”

<i>Total da instalação da planta</i>		<i>R\$ 360.700,08</i>	
Item	Porcentagem (%)	Valor mensal (R\$)	Valor anual (R\$)
Depreciação	15	2.817,97	33.815,63
Manutenção	4,5	845,39	10.144,69
Seguro	3,5	657,53	7.890,31

Custos de mão-de-obra

A planta de fabricação de “pellets” reciclados necessita de um total de 5 pessoas, sem contar os custos gerenciais. Esses seriam divididos da seguinte maneira: 1 operador para o desagregador, 2 para o aglutinador e extrusora, 1 para o granulador e ensacadeira e 1 para a desfolhadeira. Considerando um gasto mensal por operador de R\$ 1.000,00 incluindo salários e encargos sociais e a operação da planta de 24 horas por dia – necessidade de 4 turnos -, há um gasto total de R\$ 20.000,00 por mês de operação com mão-de-obra.

Balanço de massa para a instalação

Com a descrição do processo feita e já descritas as considerações da análise, é possível fazer o balanço de massa para a operação da planta. A tabela 27 apresenta estes resultados com base no fluxograma de blocos da figura 13.

Tabela 27 – Balanço de massa para a fabricação de “pellets” de plástico/alumínio de embalagens longa vida e recuperação de fibra celulósica residual

Linha	Material base seca kg/h	Água kg/h	Consis tência (%)	Fluxo m3/h	Umidade (%)	Total material kg/h	Linha
1	150,00	64,29			30,00%	214,29	1
2	137,76	279,68			67,00%	417,44	2
3	137,76	4,26			3,00%	142,02	3
4	137,76	1,39			1,00%	139,15	4
5	137,76	1,39			1,00%	139,15	5
6	137,76	1,39			1,00%	139,15	6
7	137,76	0,69			0,50%	138,45	7
8		2652,13		2,65	100,00%	2652,13	8
9	12,24	2436,73	0,50%			2448,98	9
10	12,24	2436,73	0,50%			2448,98	10
11	11,24	2435,23	0,50%			2446,48	11
12	0,10	2424,09				2424,19	12
13	11,14	11,14	50,00%			22,29	13
14	0,10	2424,09				2424,19	14
15		2423,94				2423,94	15
16	1,00	1,50	40,00%			2,50	16
17	0,10	0,15	40,00%			0,25	17
18		275,42				275,42	18
19		2,87				2,87	19
20		228,19				228,19	20

Análise financeira para planta de fabricação de “pellets” reciclados

A partir de todas as observações e análises colocadas para a planta, é possível computar todas as suas necessidades e, assim, determinar seus custos fixos e variáveis de operação. Em seguida, pode-se determinar o preço de venda do produto final, o lucro mensal, a lucratividade e a rentabilidade da planta além do prazo de retorno do investimento total.

Os custos fixos incluem os gastos com depreciação dos equipamentos e instalações, manutenção, seguro da planta, impostos e salários. Os três primeiros já estão calculados e apresentados na tabela 25, os salários já foram analisados no item custos de mão-de-obra. Os impostos, entretanto, não são incluídos aqui; mas sim na determinação do preço final de venda do produto. Por ser uma empresa pequena e com uma renda bruta mensal inferior a R\$ 240.000,00, ela pode ser enquadrada como uma empresa de pequeno porte, conforme definições da Receita Federal (2003). Assim, todos os impostos necessários, exceto o ICMS, são cobrados em uma única cota, referente a quantidade de receita bruta da empresa interferindo diretamente no preço final do produto. O ICMS também é incluído na determinação do preço de venda do produto.

A tabela 28 apresenta, então, os custos fixos para a operação da planta em questão.

Tabela 28 – Determinação dos custos fixos por tonelada produzida de “pellets” reciclados de plástico/alumínio

Item	Valor	
	Mensal	Anual
Depreciação (R\$)	2.817,97	33.815,63
Manutenção (R\$)	845,39	10.144,69
Seguro (R\$)	657,53	7.890,31
Impostos	São computados na determinação do preço de venda do produto	
Salários (R\$)	20.000,00	240.000,00
Total de custos fixos (R\$)	24.320,89	291.850,64
Total de produção - toneladas	99,18	1190
Custo fixo por tonelada produzida R\$/tonelada	193,07	

A partir dos valores apresentados na tabela 28 chega-se a custo fixo de R\$ 193,07 por tonelada de “pellets” reciclados produzidos.

Parte-se, então, para a determinação dos custos variáveis da planta que compreendem os gastos com matéria-prima, energia, água e disposição de resíduos. A tabela 29 apresenta a quantidade necessária e o valor de cada um desses itens em base mensal, permitindo o cálculo do custo variável unitário.

Vale ressaltar que as quantidades aqui apresentadas são determinadas pelo balanço de massa da tabela 26 e pela necessidade de energia elétrica dos motores dos equipamentos listados na tabela 23. Como a disposição de resíduos é muito variável e depende da contaminação maior ou menor do material recebido da indústria papelreira, considera-se o envio de 1 tonelada por mês, conforme geração das linhas 16 e 17, para aterro industrial a um custo de R\$ 50,00/tonelada (MB ENGENHARIA, 2003). Além disso, a produção de fibras de papel, que são separadas no desagregador e transformadas em folhas de papel são consideradas como um sub-produto e podem ser colocadas no mercado a um valor de R\$ 400,00/tonelada base seca (NEVES, 2004). Sendo assim, esse valor é considerado como uma redução nos custos variáveis do empreendimento.

Tabela 29 – Determinação do custo variável por tonelada produzida de “pellets” reciclados de plástico/alumínio

Item	Quantidade mensal	Valor mensal (R\$)
Plástico/alumínio com fibra celulósica e umidade – toneladas	154,29	12.342,86
Energia elétrica – kWh	133.733,52	11.974,50
Água – m ³	291,60	1.201,63
Disposição de resíduos – toneladas	1	50,00
Venda de sub-produtos (folhas de papel) – toneladas	8,02 (base seca)	3.209,73
Total de custos variáveis (mensal) – R\$	22.359,26	
Total de produção (mensal) – toneladas	99,18	
Custo variável por tonelada produzida – R\$/tonelada	225,43	

A partir dos dados apresentados nas tabelas 28 e 29, é possível chegar ao custo de produção por tonelada de “pellets” produzidos, formado pela soma dos custos fixos e variáveis em base unitária. Esse resultado é mostrado na tabela 30.

Tabela 30 – Custo de produção (custos fixos + custos variáveis) por tonelada de “pellets”

Processo	Custos fixos (R\$/tonelada de “pellets”)	Custos variáveis (R\$/tonelada de “pellets”)	Custo de produção (R\$/tonelada de “pellets”)
Fabricação de “pellets” reciclados de plástico/alumínio	245,21	225,43	470,64

Com o custo de produção em mãos é possível calcular, então, o preço de venda do produto (PVU) para o mercado. É importante ressaltar que trabalha-se com 1 tonelada como unidade. As equações utilizadas são as mesmas utilizadas na análise financeira da planta de fabricação de telhas. Assim, a equação (1) permite a determinação do PVU:

$$PVU = \frac{CUP}{(100 - (CC + ML))} * 100 \quad (1)$$

em que: PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

CUP = custo unitário de produção (R\$/tonelada);

CC = custo de comercialização (%);

ML = margem de lucro (%).

O custo de comercialização (CC) engloba os custos de venda do produto, de divulgação e os impostos que incidem sobre a venda do produto. Para os “pellets” reciclados, considera-se 5% para cobrir os custos de venda, que são os custos com o departamento de vendas ou representantes e distribuidores; 2% para atividades de

divulgação do produto e 23,9% para os impostos. Este último item considera que a incidência de 18% de ICMS e 5,9% referente a taxa única do Sistema Simples. Esse último imposto corresponde a 30,9% e é pago sobre o faturamento da empresa uma vez por mês, mas não aparece nas notas fiscais de comercialização.

A definição da margem de lucro (ML) é determinada de tal forma que o preço final do produto esteja dentro do preço de mercado, que para esse “pellet” reciclado é de R\$ 1.240,00 por tonelada (MERCOPLÁS, 2004). Dessa maneira, a margem de lucro é de 31%.

Assim, o preço de venda unitário para uma tonelada de “pellets” reciclados de plástico/alumínio é definido abaixo:

$$PVU = \frac{470,64}{(100 - (30,9 + 31))} * 100 \quad (26)$$

$$PVU = R\$ 1.235,28 / \text{tonelada} \quad (27)$$

Dessa forma, tem-se que o preço de venda de uma tonelada de “pellets” reciclados de plástico/alumínio é de R\$ 1.235,28.

Assim é possível fazer as análises financeiras para definição da margem de contribuição do lucro, o lucro líquido e os indicadores de desempenho, como lucratividade, rentabilidade, prazo de retorno do investimento e o ponto de equilíbrio da produção.

A margem de contribuição do lucro é calculada pela fórmula (4) já apresentada neste trabalho:

$$MC = R \text{ total} - (CV + CC) \quad (4)$$

em que: MC = margem de contribuição do lucro (R\$);

R total = receita total (R\$) = PVU x Q;

CV = custos variáveis de produção (R\$) = CVU x Q;

CVU = custo variável unitário (R\$/tonelada);

CC = custo de comercialização (R\$) = R total x 0,309 = (PVU x Q) x 0,309;

PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade (tonelada).

Com todas as substituições, chega-se a equação (6) e, em seguida, é possível fazer as trocas pelos valores dessa planta de produção de “pellets” na equação (28) e chegar a margem de contribuição de lucro na equação (29):

$$MC = Q \times (PVU - (CVU + PVU \times 0,309)) \quad (6)$$

$$MC = 99,18 \times (1.235,28 - (225,43 + 1.235,28 \times 0,309)) \quad (28)$$

$$MC = R\$ 62.302,11 \quad (29)$$

A margem de contribuição do lucro mensal é de R\$ 62.302,11 e de R\$ 747.625,32 para a análise anual, considerando uma produção (Q) de 1190 toneladas de “pellets” reciclados. Utilizando a equação (9), pode-se, agora, calcular o lucro líquido da planta em operação:

$$L = MC - CF \quad (9)$$

em que: L = lucro líquido mensal (R\$);

MC = margem de contribuição do lucro mensal(R\$);

CF = custos fixos (R\$) = (CFU x Q).

$$L = MC - (CFU \times Q) \quad (10)$$

em que: CFU = custo fixo unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade produzida (tonelada).

Fazendo as substituições para o caso em estudo, tem-se:

$$L = 62.302,11 - (245,21 \times 99,18) \quad (30)$$

$$L = R\$ 37.981,22 \quad (31)$$

Com o lucro líquido da planta, calcula-se a lucratividade do empreendimento, que é dada pela equação (13)

$$\text{Luc} = \frac{\text{L}}{\text{R total}} * 100 \quad (13)$$

em que: Luc = lucratividade (%);

L = lucro líquido (R\$);

R total = receita total (R\$) = (PVU x Q).

$$\text{Luc} = \frac{\text{L}}{(\text{PVU} \times \text{Q})} \times 100 \quad (14)$$

em que: PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade (tonelada).

$$\text{Luc} = \frac{37.981,22}{(1.235,28 \times 99,18)} \times 100 \quad (32)$$

$$\text{Luc} = 31\% \quad (33)$$

O empreendimento apresenta uma lucratividade de 31%, que é uma taxa muito interessante para um novo processo. Isso representa que para cada R\$ 100,00 em vendas, a empresa obterá R\$ 31,00 de lucro. Como a análise que está sendo feita é da fabricação de um produto que já está no mercado, o valor da lucratividade obtido é igual a margem de lucro (ML), que foi definida para a determinação do preço de venda do produto que já está sendo praticado no mercado.

É interessante também analisar a rentabilidade, dada pela equação (17):

$$\text{Ren} = \frac{\text{L}}{\text{I total}} \times 100 \quad (17)$$

em que: Ren = rentabilidade (%);

L = lucro líquido mensal (R\$);

I = investimento total do empreendimento (R\$).

Substituindo-se os valores, tem-se:

$$\text{Ren} = \frac{37.981,22}{360.700,08} \times 100 \quad (34)$$

$$\text{Ren} = 10,53\% \quad (35)$$

A rentabilidade do empreendimento é de 10,53%. Dessa forma, pode-se afirmar que o capital investido retornará a uma taxa de 10,53%.

O prazo de retorno também pode ser calculado em uma base mensal pela equação (20):

$$\text{Ret} = \frac{\text{I total}}{\text{L}} \quad (20)$$

em que: Ret = prazo de retorno (meses);

L = lucro líquido (R\$);

I = investimento total do empreendimento (R\$).

Com os valores tem-se:

$$\text{Ret} = \frac{360.700,08}{37.981,22} \quad (36)$$

$$\text{Ret} = 9,49 \text{ meses} = 10 \text{ meses} \quad (37)$$

Assim, o tempo necessário para que haja o retorno do investimento é de 10 meses. Esse tempo considera a operação da planta em regime de 3 turnos e 24 horas/dia e seu funcionamento em capacidade máxima, conforme o balanço de massa apresentado na tabela 21. Após esse período, o capital começará a retornar na forma de lucro, pois o investimento já foi todo recuperado.

Outra análise importante é a determinação do ponto de equilíbrio do empreendimento, em que não há lucro nem prejuízo para a planta. Com essa condição estabelecida, é possível fazer reduções no preço de venda para aquisição de novos clientes ou participações em divulgações do produto. Esse ponto é determinado por uma quantidade mínima de produtos que devem ser vendidos ao longo de um ano para garantir a manutenção dos custos da planta e é dado pela fórmula (23):

$$\text{PEq} = \frac{\text{CF}}{(\text{PVU} - (\text{CVU} + \text{CC}))} \quad (23)$$

em que: PEq = ponto de equilíbrio (toneladas);

CF = custos fixos (R\$) = (CFU x Q);

PVU = preço de venda unitário (R\$/tonelada);

CVU = custo variável unitário (R\$/tonelada);

CC = custo de comercialização (R\$) = PVU x 0,309.

$$PEq = \frac{CFU \cdot Q}{(PVU - (CVU + (PVU \times 0,309)))} \quad (24)$$

em que: CFU = custo fixo unitário (R\$/tonelada);

Q = quantidade anual (tonelada).

Fazendo-se as substituições necessárias para esse caso, tem-se:

$$PEq = \frac{245,21 \times 1190}{(1.235,28 - (225,43 + (1.235,28 \times 0,309)))} \quad (38)$$

$$PEq = 464,62 \text{ toneladas} \quad (39)$$

Pela equação 39 tem-se que o ponto de equilíbrio anual é de 464,62 toneladas de “pellets”. Em base mensal, é necessária uma produção de 38,72 toneladas (464,62 toneladas por 12 meses). Dessa maneira, apesar da capacidade produtiva ser de 99,18 toneladas por mês, com uma produção de 38,72 toneladas já é possível não ter prejuízos com o empreendimento.

Análise ambiental para planta de “pellets” reciclados

A análise ambiental do empreendimento deve considerar os consumos energéticos, de água, as matérias-primas utilizadas, os resíduos gerados e sua destinação, além do destino pós-consumo dos produtos fabricados pela empresa em estudo.

Nesse sentido, o consumo de energia e água pode ser analisado por meio de indicadores em função do consumo dividido pela quantidade de material produzido na planta (99 toneladas de “pellets” reciclados em um período mensal). O indicador de consumo de energia é de 1350 kWh/t (133733 kWh dividido por 99 toneladas de material) e o de água é de 2,94 m³/t (292 m³ de água consumidos para produção de 99 toneladas de “pellets”). Percebe-se que há um grande consumo energético nesse empreendimento, pois é o insumo necessário para retirada das fibras celulósicas residuais e também em todas as etapas de transformação – equipamentos de aglutinação e extrusão, que trabalham basicamente com o aumento de temperatura para

transformação do material. O consumo de água, por sua vez, é relativamente baixo, pois é utilizado na etapa inicial de retirada das fibras celulósicas residuais do material proveniente das indústrias papeleiras. Há também um consumo de água na etapa de resfriamento após a extrusora, que não é considerada nesses cálculos por poder trabalhar em circuito fechado.

A matéria-prima principal deste empreendimento são as camadas de plástico e alumínio contaminadas com certo residual de fibras celulósicas provenientes das indústrias papeleiras que processam embalagens cartonadas.

Quanto aos resíduos gerados durante esse processamento, o principal deles é o resíduo de fibras celulósicas retirado na etapa de lavagem inicial e preparação do material para entrar no processo de transformação dos plásticos. Em um primeiro momento, essas fibras celulósicas são consideradas resíduos, por não serem o produto final do empreendimento. Entretanto, se esse material for devidamente retirado e armazenado em forma de folhas, conforme descrito nesse trabalho, ele pode ser encaminhado para outras indústrias, como as que trabalham com artefatos de papel. Outro resíduo gerado no processo é o que retirado nas peneiras vibratórias e na “Side Hill” como pedaços pequenos de plástico/alumínio misturados com fibras celulósicas. Estes materiais representam uma pequena quantidade do sistema e acabam sendo destinado para aterros industriais.

O produto final desta empresa são os “pellets” de plástico/alumínio destinados para outras indústrias de plásticos produtoras de peças injetadas ou de rotomoldagem. Essas últimas é que efetivamente irão colocar o produto no mercado final. Esses, após cumprirem suas funções, são descartados nos programas de coleta seletiva como artefatos plásticos e acabam sendo inseridos no ciclo produtivo deste material. Uma vez neste ciclo, eles serão novamente reciclados e colocados no mercado como outros artefatos plásticos.

A partir das análises feitas para a planta de fabricação de “pellets” reciclados de plástico/alumínio proveniente da reciclagem de embalagens longa vida mostram que a produção é técnica, econômica e ambientalmente viável.

Do ponto de vista técnico, a produção de “pellets” é viável porque há grande disponibilidade de matéria-prima, é possível fazer a separação das fibras celulósicas residuais com equipamentos já desenvolvidos e a quantidade de alumínio presente no material é suficiente para entrar como carga ao polietileno e não inviabilizar o seu processamento em equipamentos desenvolvidos para o trabalho com polietileno de baixa densidade. Além disso, o mercado para uso de material reciclado é grande em produtos simples, como canetas, régua, suporte de vassouras e outros a serem desenvolvidos.

Do ponto de vista econômico, tem-se que o investimento em uma nova planta é de R\$ 360.700,08 e pode ser recuperado em 10 meses, considerando-se que a planta opera em produção total. O lucro mensal do empreendimento é da ordem de R\$ 38.000,00, mostrando que não há prejuízo nessa operação. Além disso, há uma rentabilidade de 10,53%.

Na área ambiental, o empreendimento é importante porque trabalha com um sub-produto de outro empreendimento, as indústrias recicladoras de papel, contribuindo para a redução de materiais destinados a aterros industriais. Além disso, os impactos ambientais da própria planta são muito reduzidos. A água pode trabalhar em sistema fechado, desde que haja um sistema de tratamento de efluentes. O principal “resíduo” do processo é a polpa celulósica, que pode ser encarada como sub-produto e ser comercializada no mercado de papel. Os outros rejeitos, por sua vez, que devem realmente ser encaminhados para aterros industriais, são uma pequena parcela do material processado.

9. Considerações finais

A preocupação do ser humano com suas interações no meio ambiente é uma necessidade urgente para a sobrevivência do mesmo neste planeta. Essa preocupação deve incluir a variável ambiental em todo o desenvolvimento, quer ele seja econômico ou social.

Neste contexto, a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos tornou-se um grande problema que exige soluções imediatas e também de longo prazo, mas condizentes com a realidade evolutiva em que vivemos. Portanto, a reciclagem de resíduos aparece como uma ferramenta de continuidade para as indústrias geradoras de embalagens e permite a incorporação de todos esses materiais no processo produtivo, para substituição de matérias-primas virgens. Entretanto, ela só será bem-sucedida se for econômica e ambientalmente adequada em todas as suas etapas.

Dessa forma, estudos de viabilidade técnica e econômica sobre a reciclagem de materiais como as embalagens cartonadas revestidas com plástico e alumínio são de fundamental importância para mostrar as reais possibilidades de um descarte ambientalmente correto ou de sua incorporação a processos produtivos, permitindo ainda, muitas vezes, apontar mudanças necessárias nos atuais processos para que isso se torne realmente viável. O mais importante é que essa análise de viabilidade técnico e econômica não pode estar desassociada de uma análise de viabilidade ambiental, em que devem ser observados os impactos ambientais provocados por esses empreendimentos, como consumos energéticos e de água, geração de resíduos e utilização ou não de produtos químicos, por exemplo.

O presente trabalho não se propôs a estabelecer os melhores caminhos para a reciclagem das embalagens cartonadas revestidas com plástico e alumínio, mas fazer um levantamento criterioso do que está sendo feito principalmente em nosso País e também analisar criteriosamente as possibilidades e alternativas existentes, a fim de que com os resultados obtidos se tenha dados que possam ser utilizados em tomadas de decisões futuras.

Para atingir este objetivo, este trabalho compreendeu o estudo deste tipo de embalagem, assim como de seus principais componentes, além das alternativas de descarte e tratamento do material pós-consumo, como formas de reaproveitamento e reciclagem.

Após a análise das diversas formas de reaproveitamento das embalagens cartonadas pós-consumo, foram definidas as alternativas a serem melhor estudadas do ponto de vista de viabilidade, ou sejam:

- a reciclagem em indústrias de papel para recuperação da fibra celulósica com destino das camadas de plástico/alumínio ou para aterro sanitário, ou simples envio para outros processamentos ou, ainda, venda para esses mesmos processamentos;
- a reciclagem deste plástico/alumínio para fabricação de placas e telhas;
- a reciclagem do plástico/alumínio em indústrias de plásticos para fabricação de “pellets”.

A partir das análises feitas, percebe-se que o resultado obtido para a reciclagem de embalagens cartonadas é viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico e ambiental em todas as suas etapas, desde a recuperação das fibras celulósicas até os processamentos das camadas de plástico/alumínio em outras indústrias.

No caso da recuperação da fibra celulósica, os resultados para o custo de produção por tonelada de fibra celulósica podem ser observados na tabela 31 para as diferentes situações estudadas.

A tabela 31 mostra que os custos de produção para o processamento de embalagens longa vida fica muito próximo e, em alguns casos, até menor que o de obtenção de polpa reciclada a partir de aparas de papelão, a matéria-prima normalmente usada neste processo. O custo de produção é menor quando há um mercado para venda das camadas de plástico e alumínio, que são os resíduos das indústrias papeleiras que trabalham com embalagens longa vida. Quando não há essa possibilidade, os custos ficam um pouco mais elevados que o trabalho com aparas de papelão simplesmente; mas a diferença não chega a inviabilizar a aplicação.

Essa possibilidade de processamento pode ser extremamente interessante para indústrias papeleiras que já trabalham com reciclagem de aparas de papelão, pois essas empresas já possuem a instalação da planta com um desagregador e sistemas de depuração para limpeza da polpa e, também, um mercado estabelecido para o seu produto final com fibras longas. Como foi apresentado no trabalho, a instalação para recuperação de fibras celulósicas de embalagens longa vida é muito parecida com a de

reciclagem de aparas de papelão e as modificações necessárias seriam a de adaptações do rotor do desagregador para que ele não danifique as camadas de plástico e alumínio e melhora do sistema de depuração para retirada dos contaminantes de plástico, que porventura pudessem ser encaminhados junto com a polpa. Além disso, seria necessária a instalação de um “trommel” para uma melhor retirada dos resíduos de plástico/alumínio. Este equipamento, entretanto, já está presente em indústrias que trabalham com matéria-prima proveniente de coleta seletiva, pois facilita a retirada dos contaminantes plásticos.

Tabela 31 – Resumo dos custos de produção por tonelada de fibra de papel produzida em uma planta de reciclagem de fibras celulósicas com diferentes matérias-primas e diferentes tempos de desagregação

Matéria-prima / tempo de desagregação	Destinação dos resíduos	Custo de produção	
		(R\$/tonelada de fibra de papel)	(US\$/tonelada de fibra de papel)
Embalagens longa vida / 40 minutos	Plástico/alumínio encaminhados para aterro	724,83	249,94
	Plástico/alumínio retirados por recicladores	698,11	240,73
	Plástico/alumínio vendidos para recicladores	671,39	231,51
Embalagens longa vida / 20 minutos	Plástico/alumínio encaminhados para aterro	673,27	232,16
	Plástico/alumínio retirados por recicladores	646,56	222,95
	Plástico/alumínio vendidos para recicladores	619,84	213,74
Aparas de papelão / 5 minutos	Resíduos plásticos encaminhados para aterro	667,73	230,25

Cotação do dólar: R\$2,90 – US\$1,00.

Em termos ambientais, têm-se que estes casos podem ser considerados adequados, pois reincorporam um resíduo domiciliar (embalagens cartonadas pós-consumo) em uma cadeia produtiva, transformando parte (as fibras) em um produto com valor agregado maior, além de reduzir o consumo de matérias primas virgens. E, quando descartadas, pelo menos em parte, voltam e novamente podem ser incorporadas ao processo produtivo. Como mostrado anteriormente, os resíduos deste processo impregnados de plástico e alumínio podem ser reaproveitados também em outras cadeias produtivas, além de, em último caso, poderem ser direcionados a aterros industriais, mas isto em um volume consideravelmente menor que aquele que entrou de início na fábrica. Só esta redução de descarte mais os custos difíceis de serem quantificados e que estão associados à responsabilidade compartilhada em um aterro que pouco ou nenhum controle se tem já seriam fatores vantajosos a pender para o lado da utilização destes processos.

No caso dos trabalhos com a reciclagem do plástico e alumínio proveniente da recuperação de fibra celulósica, os dois processos estudados – fabricação de telhas e produção de “pellets” – mostraram-se viáveis do ponto de vista técnico e econômico, além de serem ambientalmente adequados. A tabela 32 mostra um resumo dos dados de viabilidade econômica de cada empreendimento.

Tabela 32 – Resumo dos dados de viabilidade dos empreendimentos de reciclagem de plástico/alumínio para fabricação de telhas e de “pellets” reciclados

Item	Fabricação de telhas	Fabricação de “pellets”
Investimento total - R\$	389.771,04	360.700,08
Produção (mensal) – toneladas	60,63	99,18
Lucro mensal – R\$	20.364,53	37.981,22
Lucratividade %	24	31
Rentabilidade %	5,22	10,53
Prazo de retorno de investimento – meses	20	10
Ponto de equilíbrio da produção (mensal) - toneladas	30,54	38,72

A fabricação de telhas a partir do plástico/alumínio contaminado com residual de fibra celulósica é uma planta simples que requer um investimento inicial da ordem de R\$ 389.771,04 (US\$ 134.403,81) para uma produção mensal de cerca de 60 toneladas de telhas de 6mm. A lucratividade desse empreendimento é 24% e sua rentabilidade é de 5,22% com um prazo de retorno do investimento de 1 ano e 8 meses para o caso da planta trabalhar em plena capacidade. Além disso, em termos ambientais têm-se que esse processo não gera resíduos nem possui sub-produtos, pois todas as perdas são encaminhadas ao início do processo e inseridas no produto final.

O caso de produção de “pellets” reciclados com o plástico/alumínio também é uma possibilidade, uma vez que a quantidade de polietileno de baixa densidade presente no material é muito maior que a de alumínio (80:20) e permite que este seja visto como uma carga no plástico. Como o material proveniente das indústrias papeleiras também apresenta um certo residual de fibras celulósicas, há a necessidade da lavagem desse material para extração dessas fibras. Essa atividade é executada em um pequeno desagregador que funciona como lavador e seu sub-produto é água com fibra celulósica, que pode ser encaminhada para uma desfolhadeira para formação de folhas passíveis de comercialização. As camadas de plástico/alumínio seguem para obtenção de “pellets” em equipamentos utilizados para reciclagem de polietileno de baixa densidade. Um investimento para um empreendimento dessa natureza é da ordem de R\$ 360.700,08 (US\$ 124.379,34) para uma produção de 99 toneladas de “pellets” e apresenta uma lucratividade de 31% e rentabilidade de 10,53%. O prazo de retorno do investimento é de cerca de 10 meses com a planta operando em plena capacidade. Do ponto de vista ambiental, essa instalação também é interessante, pois, além de trabalhar com matéria-prima proveniente de outros processos industriais, os resíduos do processo (folhas de fibra celulósica) podem ser encaminhados para outros empreendimentos industriais como recicladoras de papel.

Esses dois casos analisados são muito interessantes, mas apresentam um risco um pouco maior para o investidor. No caso da indústria papeleira em que é feita apenas a alteração da matéria-prima para embalagens cartonadas e pequenas substituições no

processo, o risco é um pouco menor. Afinal trata-se de empresas que já estão estabelecidas, o maior investimento para instalação da planta já foi realizado e o mercado consumidor de seu produto final já está estabelecido. As indústrias de fabricação de telhas e de produção de “pellets”, entretanto, estão em um mercado novo. O custo do investimento inicial é menor que no trabalho com fibra celulósica, o empreendimento apresenta lucratividade, rentabilidade e prazo de retorno interessantes; mas é preciso estabelecer uma série de aplicações e um mercado consumidor para o produto final obtido em cada um dos empreendimentos. Essa etapa requer um pleno conhecimento das características desse produto e quais as melhores maneiras de estabelecer a distribuição e divulgação do mesmo junto ao consumidor final, pois trata-se de um produto desconhecido por este. As dificuldades apresentadas, entretanto, podem ser facilmente superadas com um estudo profundo das características do mercado que se pretende atingir e um planejamento estratégico detalhado para inserção dos produtos no mercado.

Os processamentos aqui analisados mostram que o processo de reciclagem de embalagens cartonadas revestidas de plástico e alumínio é viável dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental. Essas atividades, entretanto, correspondem a desenvolvimentos que necessitam de maiores estudos para o aumento de suas produtividades, o estabelecimento de novas possibilidades tanto de processamento quanto de aplicação dos produtos finais e também testes de desempenho destes produtos, como as telhas.

Assim, novas pesquisas para uma otimização da etapa de secagem das camadas de plástico/alumínio, no caso da fabricação de telha, e da possibilidade de diminuição do residual de fibra celulósica perdido na indústria papelreira são extremamente interessantes para viabilizar ainda mais esses processos. Os estudos de aplicações para os produtos finais, como os de interação/aplicação das fibras celulósicas nas indústrias papelreiras e os de aplicação e misturas dos “pellets” reciclados com outros tipos de

materiais para formação de compósitos ou até blendas também podem ser interessantes para aumentar o leque de possibilidades do uso do reciclado de embalagens cartonadas. Além disso, pesquisas mais profundas para que seja feita a separação do alumínio e do plástico obtidos após a recuperação das fibras celulósicas são extremamente interessantes, pois poderiam contribuir para o retorno desses materiais aos seus ciclos produtivos separadamente. Essa última alternativa é com certeza a mais adequada do ponto de vista ambiental, pois evita a formação de matérias-primas “híbridas”, constituídas da mistura de plástico e alumínio, que podem ser um pouco mais complicada de serem processadas em ciclos de reciclagem posteriores e permite um fechamento completo do ciclo de reciclagem das embalagens cartonadas.

Referências Bibliográficas

ABREU, M. **Reciclagem de Cartão para Bebidas**. Lund, Suécia: Tetra Pak, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS (ABRE). **Embalagens**. Disponível em <http://www.abre.org.br>. Acesso em 11 dez. 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LEITE LONGA VIDA (ABLV). **Embalagem**. Disponível em <http://www.ablv.org.br>. Acesso em 11 dez. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Conheça o Alumínio e suas Aplicações**. Disponível em <http://www.abal.org.br>. Acesso em 11 dez. 2002.

BARROTTI, S.L.B. Tipos de papel. In: D'ALMEIDA, M.L.O.(coord.) **Celulose e Papel: tecnologia de fabricação do papel**. São Paulo: IPT/SENAI, 1988. cap.8, 851p.

BUGAJER, S. Utilização de aparas e papéis velhos. In: D'ALMEIDA, M.L.O.(coord.) **Celulose e Papel: tecnologia de fabricação do papel**. São Paulo: IPT/SENAI, 1988.

BUTTLER, J.P. **Packaging encyclopedia and yearbook**. Denver, v. 30, n.4, p.72-79, 1985.

CARNEIRO, R. **Comunicação verbal sobre reciclagem de embalagens longa vida e de aparas de papelão**. Piracicaba: Klabin, 2003.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Reciclagem & Negócios – Plástico Granulado**. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1998.

CEMPRE. **Guia da Coleta Seletiva de Lixo.** São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1999.

CERQUEIRA, M. **Placas e telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presente nas embalagens da Tetra Pak.** Monte Mor: Tetra Pak, 2002.

CERQUEIRA, M. **Comunicação pessoal sobre recicladores de placas e telhas.** Monte Mor: Tetra Pak, 2003.

COMPANHIA FEDERAL DE FUNDIÇÃO. **Sistemas de Desagregamento de Embalagens Tetra Brik Asséptica.** Campinas: Companhia Federal de Fundição, 2003.

CONAMA. **Resolução nº 275 de 25 de abril de 2001.** Estabelece o código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acesso em 25 ago. 2003.

CPFL **Tarifas e taxas.** Disponível em http://www.cpfl.com.br/new/servicos/taxas_tarifas.asp. Acesso em 20 out. 2003.

CREA-SP. Embalagens Longa Vida. Conforto térmico ao alcance de todos. **Revista CREA-SP.** a. 3 , n. 9, mai/jun 2003.

DANTAS, M.L.S. **Degradabilidade de embalagens compostas de laminados de papel revestido, plástico e alumínio e sua interação com o meio ambiente.** Piracicaba, 2000. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DATAMARK. **O Brasil no Mercado de Embalagens.** Disponível em http://www.datamark.com.br/apresentacao/abpo/ABPO_frame.htm#ABPO_slide0001.htm. Acesso em 25 ago. 2003a.

DATAMARK. **O Brasil no Mercado Mundial de Embalagens.** Disponível em <http://www.datamark.com.br/newdatamark/download/bpt2005.pdf>. Acesso em 25 ago. 2003b.

DATAMARK. **Dados de Embalagens.** Disponível em http://www.datamark.com.br/newdatamark/ASP/FS/FS_PK_P.ASP. Acesso em 25 ago 2003c

DUSTON, T.E. How to measure the gains from recycling. **Recycling Solid Waste.** London: Quorum Books, 1993. 136p.

ECOFUTURO FÁBRICA DE MATERIAIS PLÁSTICOS LTDA. **Orçamento 11/03 – Orçamento para construção de uma mesa elevatória para prensa térmica Invicta.** Campinas: Ecofuturo Fábrica de Materiais Plásticos Ltda., 2003.

ECOPLAC. **Cotação de prensa.** Iracemápolis: Ecoplac, 2003.

FELISBERTI, M.I; LOPES, C.M.A. **Relatório Técnico. Caracterização do compósito polietileno de baixa densidade (PEBD) – alumínio proveniente da reciclagem de embalagens multicamadas da Tetra Pak.** Campinas: Unicamp, 1999.

FERREIRA, O. P. **Laudo de Análise.** São Carlos: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.

FICAEL **Custo de aquisição de poliéster.** São Paulo: Ficael, 2003.

HANLON, J.F. **Handbook of package engineering**. New York: McGraw-Hill, v.1, 1971.

IBAPLAC **Custo para aquisição de telhas recicladas**. Ibaté: Ibaplac, 2003.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Disponível em www.ibge.com.br. Acesso em 24 out. 2002

INCOMESP INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS ESPECIAIS LTDA. **Orçamento 1983-2**. Guarapuava: Incomesp Indústria e Comércio de Máquinas Especiais Ltda., 2003.

INCOMESP INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS ESPECIAIS LTDA. **Orçamento referente à fabricação de uma peneira vibratória**. Guarapuava: Incomesp Indústria e Comércio de Máquinas Especiais Ltda., 2003.

INVICTA. **Máquinas Especiais**. Disponível em http://www.invicta.com.br/linha_especial.htm. Acesso em 31 jul. 2003.

INVICTA VIGORELLI METALÚRGICA LTDA. **Orçamento**. São Paulo: Invicta Vigorelli Metalúrgica Ltda, 2003.

IPT/CEMPRE **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, 2. ed, São Paulo: IPT/Cempre, 2000.

KIE MÁQUINA E PLÁSTICOS LTDA. **AKTABMAIL – Aglutinadores**. Louveira: Kie Máquinas e Plásticos Ltda., 2004a.

KIE MÁQUINA E PLÁSTICOS LTDA. **EKTABMAIL – Extrusoras PE/PP/PS**. Louveira: Kie Máquinas e Plásticos Ltda., 2004b.

KIE MÁQUINA E PLÁSTICOS LTDA. **GKTABMAIL – Granuladores / Picotadores.** Louveira: Kie Máquinas e Plásticos Ltda., 2004c.

KIE MÁQUINA E PLÁSTICOS LTDA. **Orçamento 459/03E.** Louveira: Kie Máquinas e Plásticos Ltda., 2003.

MB ENGENHARIA. **Proposta de Execução de Serviços de Coleta, Transporte e Destinação Final de Resíduos Industriais (classe II).** Campinas: MB Engenharia, 2003.

MEADOWS, D.L. et al. **Limites do crescimento.** Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade. 2.ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1978.

MERCOPLÁS. **Comunicação verbal sobre custos de pellets reciclados.** Valinhos: Mercoplás, 2004.

NEVES, F.L. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. **O Papel**, n. 2, 1999.

NEVES, F.L. **Efeito da interação entre fibras virgens e recicladas nas características físicas de cartões multifolhados.** Piracicaba, 2000. 73 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

NEVES, F.L. **Estudo de desagregador “Fine Tooth”.** Monte Mor: Tetra Pak, 2001. (Não publicado)

NEVES, F.L. **Comunicação verbal sobre desagregador fine tooth.** Monte Mor: Tetra Pak, 2003a.

NEVES, F.L. **Comunicação verbal sobre estabelecimento de recicladores.** Monte Mor: Tetra Pak, 2003b.

NEVES, F.L. **Comunicação verbal sobre mercado de fibras celulósicas.** Monte Mor: Tetra Pak, 2004.

PETERS, M.S.; TIMMERHAUS, K.D. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers.** New York: McGraw-Hill, 1991.

PEREIRA, A. R. **Valor de frete.** São Paulo: Klabin, 2004.

PICHLER, E. F. (coord.) **Embalagem e acondicionamento para transporte e exportação:** manual técnico. São Paulo: MIC/STI, SICCT, IPT, SENAI, 1984.

PLASTIVIDA **O Ciclo de Vida dos Plásticos.** Disponível em <http://www.plastivida.org.br>. Acesso em 11 dez. 2002.

RECEITA FEDERAL. **SIMPLES - Sistema Integrado de Pagamento de Impostos e Contribuições das Microempresas e das Empresas de Pequeno Porte.** Disponível em www.receita.fazenda.gov.br. Acesso em 20 out. 2003.

ROMAN, A. **Transformação do Polietileno – PEBD.** São Paulo: Érica, 1995.

SABESP. **Tarifas e taxas.** Disponível em www.sabesp.com.br. Acesso em 20 out. 2003.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. (coord.) **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo: Brasiliense, 1994.

SANTOS, P. **Arquivo Fotográfico**. Rio de Janeiro, 2003.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 6.374 de 1º de março de 1989**. Dispõe sobre a instituição do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS. Disponível em <http://www.fazenda.sp.gov.br/legis/lei03.asp>. Acesso em 10 jan. 2004.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 11.601 de 19 de dezembro de 2003**. Altera a Lei nº 6.374 de 01 de março de 1989, que dispõe sobre a instituição do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS. Disponível em <http://www.fazenda.sp.gov.br/legis/lei11601.asp>. Acesso em 10 jan. 2004.

SCHMUTZLER, L. O. F. **Projeto Forro Vida Longa**. Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~vidalong>. Acesso em 29 abr. 2003.

SEBRAE. **Iniciando um Pequeno Grande Negócio**. Brasília: SEBRAE, 2003.

SEIBT MÁQUINAS PARA PLÁSTICOS LTDA. **Proposta de Fornecimento 128/01**. Nova Petrópolis: Seibt Máquinas para Plásticos Ltda., 2001.

SEIDEL, J. **Arquivo Fotográfico**. Campinas, 2003.

SERRA, N. **Tecnologia, Desenvolvimento e Meio Ambiente** – Disciplina do Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2002.

SHRIVASTAVA, P. Environmental Technologies and Competitive Advantage. **Strategic Management Journal**, Pennsylvania, USA, v.16, 1995.

SULAB – FLÁVIO A. DE PAULA E CIA. LTDA. **Orçamento 191/2003**. Campinas: Sulab – Flávio A. de Paula e Cia. Ltda., 2003.

SZENTE, R. N. **Tratamento de Resíduos contendo Plástico e Alumínio**. São Paulo, 1999.

UNIDO. **Manual de Preparação de Estudos de Viabilidade Industrial**. (tradução e adaptação: RABELO, A. N. B.) São Paulo: Atlas, 1987.

VECCHIA, F. **Laudo de Análise**. São Carlos: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

ZUBEN, Fv; NEVES, F.L. **Reciclagem do alumínio e do polietileno presentes nas embalagens cartonadas Tetra Pak**. In: Seminário Internacional de Reciclagem do Alumínio, 5., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo: ABAL, 1999.