

SEBASTIÃO HELOISIO MACHADO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juiz de Fora - MG - CEP 36025-030

RECICLAGEM DE EMBALAGENS PLÁSTICAS

Monografia apresentada a Professora Rachel Zacharias do Curso de Meio Ambiente da Universidade Presidente Antônio Carlos, como exigência para obtenção de título.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juiz de Fora - MG - CEP 36007-000

*À minha família, por me ter
dedicado ao longo de minha vida
intensa e maravilhosa bagagem de
amor, força e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graciosa oportunidade de viver... e por me ensinar a cada momento o eterno aprendizado de amar...

Aos educadores das Universidade Presidente Antonio Carlos – UNIPAC – Meio Ambiente, pelo desprendimento nas orientações...

Aos amigos e companheiros de todas as horas, pela grandeza de saber o que é amizade...

A Educação é essencial para que o ser humano viva em harmonia com o seu próximo e para com o mundo.

A Educação Ambiental nada mais é do que a educação básica mais direcionada ao ambiente, à natureza ...

(José Luis Faria)

RESUMO

Este estudo aborda considerações atualizadas sobre a reciclagem de embalagens plásticas com foco no setor de alimentos. No contexto mundial é avaliado o crescente volume de utilização de embalagens plásticas na preservação de alimentos e levantados os componentes sanitários, mercadológicos, sócio-econômicos e ambientais associados. São avaliadas como potenciais vias de reciclagem a transformação mecânica de embalagens plásticas em novos materiais ou produtos, a recuperação de resinas, a transformação térmica, a reutilização de embalagens e a degradação ambiental. O contexto brasileiro mostra potenciais características de viabilidade sócio-econômica e empresarial para a reciclagem de embalagens plásticas, exigindo, todavia, maior conjunção de ações governamentais, empresariais e de pesquisa no setor.

SUMÁRIO

I. Introdução.....	07
1.1 - Problema	09
1.2 -Justificativa	09
1.3 - Objetivo de Estudo	10
1.3.1 - Objetivo geral	10
1.3.2 - Objetivo específico	10
1.4 -Hipóteses a investigar	10
1.5 - Metodologia	11
II. Resíduos: considerações necessárias	12
III. Reciclagem de Embalagens Plásticas.....	20
3.1 - Panorama brasileiro e mundial de embalagens	20
3.2 - Contaminantes dos materiais plásticos	22
3.3 - Fontes recicláveis de plásticos	24
3.4 - Recuperação de resinas	28
3.5 - Opções de reciclagem de embalagem plástica	26
3.6- Transformação mecânica em novos produtos	27
3.7- Reutilização de embalagens	31
3.8 - Transformação energética	32
3.9 - Degradação ambiental	35
3.10 - Aspectos legais	36
III. Reciclagem de resíduos plásticos para aplicação substitutiva em papel para escrita e impressão	39
4.1 - Relato de Experiência	42
Conclusão.....	56
Referências Bibliográficas.....	59

INTRODUÇÃO

Neste novo século, uma das principais preocupações do Homem moderno é a preservação do meio ambiente. Somente ações transformadoras da espécie humana poderão garantir o equilíbrio dos sistemas naturais. O Homem é o maior responsável por este desequilíbrio ambiental. Percebe-se hoje a importância de uma mudança de atitude na busca de garantirmos nossa própria sobrevivência.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define saneamento como o controle de fatores que atuam sobre o meio ambiente e que exercem, ou podem exercer, efeitos prejudiciais ao bem-estar físico, mental ou social do Homem.

Dentro dessa definição encaixa-se a Limpeza Urbana que engloba, além de outros serviços, a coleta, o tratamento e a destinação final do lixo ou resíduos sólidos.

Como serviço prestado ao público, a Limpeza Urbana deve sua importância basicamente a dois aspectos: relação direta com a saúde do homem através do seu contato com o lixo, diretamente ou de forma indireta, através de vetores transmissores de doenças, como moscas, ratos e baratas, e da contaminação da água e do solo; à possibilidade de provocar danos ao meio ambiente (solo, água e ar) através do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos.

No passado o lixo era constituído exclusivamente de matéria orgânica. As concentrações humanas eram pequenas, em consequência, o destino dos resíduos produzidos pelo homem era de fácil solução, sendo comum serem enterrados, prática esta que resolvia

dois aspectos: controle de vetores e fertilização do solo. O crescimento populacional e o avanço do processo de industrialização no sentido de suprir esta demanda, fizeram com que não só houvesse uma maior produção de lixo, mas também sua composição modificasse ao longo desse período. Um bom exemplo é o significativo aumento de embalagens, papel, papelão e plásticos detectados nas últimas décadas, representando um verdadeiro desafio para o seu equacionamento, principalmente, nos grandes centros urbanos como os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro.

Se a população não conta com serviços de coleta e remoção adequados, acaba lançando seus resíduos em locais impróprios, como encostas de morros ou canais, valas de drenagem e leitos de rios. A capacidade que uma população e seus governantes têm de assimilar o conceito de que o lixo disposto de forma inadequada, sem qualquer forma de tratamento, pode ser uma séria ameaça à saúde pública, está diretamente relacionada às soluções que esta população adota como tratamento final para seu lixo.

Dessa forma, cumpre-se enfocar a necessidade da reciclagem enquanto processo de transformação de materiais usados em novas matérias-primas ou produtos, com o objetivo de recuperar parte do lixo. Materiais como papel, plástico, vidro e alumínio são reaproveitados na fabricação de produtos como livro, saco de lixo, lâmpada fluorescente e pneu de automóveis. A reciclagem, além de permitir a redução do volume do lixo, colabora para a diminuição da poluição do solo, do ar e da água. Também economiza energia e água na produção.

Para reciclar é necessário fazer a seleção prévia do lixo, separando-o de acordo com sua origem: papel, plástico, vidro, alumínio, outros metais e material orgânico. Uma das reciclagens mais eficientes é a do metal, que pode ser derretido e transformado em novos produtos. Reciclar vidro é um pouco mais trabalhoso, porque exige antes a separação pela cor para que ele mantenha a transparência. A reciclagem de papel tem se tornado cada vez mais popular e pode ser feita também a partir de processos caseiros. Já o plástico, que perde resistência e elasticidade na reciclagem, pode

ser reutilizado somente em alguns produtos. Sacos de lixo pretos são um dos poucos exemplos de plástico reciclado.

A reciclagem tornou-se necessária em virtude, principalmente, da enorme popularização de produtos descartáveis nos últimos anos. Na Europa, por exemplo, a produção anual de lixo por pessoa subiu de 220 kg para 440 kg em dez anos. Os países industrializados são os que mais produzem lixo e também os que mais reciclam. O Japão reutiliza 50% de seu lixo sólido. Nesse país, um dos mais envolvidos em questões de preservação ambiental, são comuns diversos tipos de reciclagem, como o reaproveitamento da água do chuveiro no vaso sanitário. Já os Estados Unidos recuperam 11% de seu lixo e a Europa Ocidental recicla 30%. Nos EUA, a produção de lixo por pessoa é o dobro da de qualquer outro país: em média 1,5 kg por dia, totalizando ao final de um ano 10 bilhões de t. Nova York é a cidade que mais produz lixo no mundo: uma média diária de 13.000 t; São Paulo produz 12.000 t. Entre os líderes mundiais na reciclagem de latas de alumínio estão Japão (70%), EUA (64%) e Brasil (61%), segundo dados de 1996 da Associação Brasileira de Alumínio.

1.1 – O Problema

O que significa o processo de reciclagem de embalagens para o meio ambiente?

1.2 – Justificativa

A mobilização dos vários agentes voltados para o objetivo da recuperação econômica e resgate da qualidade de vida de alguns municípios vem promovendo encontros, aproximando agendas e promovendo um debate que anima a sociedade e seus dirigentes a acreditar em mudanças. Mudanças que envolvem entre outros os aspectos relacionados à limpeza urbana, coleta de lixo e reciclagem.

1.3 – Objetivos de Estudo

1.3.1 – Objetivo Geral

- Realizar um estudo sobre a reciclagem de embalagens, principalmente as de origem plástica.

1.3.2 – Objetivos Específicos

- Analisar como é, triado, armazenado e desprezada estas embalagens
- Identificar o tempo de degradação que este lixo encontra no ambiente.

1.4 – Hipótese de Estudo

O mundo todo incorporou na linguagem e, em boa parte, nas atitudes, uma nova expressão ecológica: reciclagem. Essa expressão tem particular destaque no setor de limpeza urbana, mais precisamente, no acondicionamento, na triagem e na reciclagem de componentes do lixo. Muito tem sido feito nesse sentido; houve acertos e muitos erros. Por isso, quem inicia hoje, qualquer projeto de reciclagem deve estar atento para maximizar, na sua concepção, os comprovados acertos e evitar os grandes erros cometidos. Entre os acertos, deve-se atentar para os avanços tecnológicos de recuperação de frações energéticas do lixo que acenam para energia termoelétrica e energia de biomassa em quantidades expressivas. Entre os erros, o mais grave, refletido sistematicamente, é o não acoplamento da variável "mercado" no desenvolvimento dos projetos, bem como a realização de coletas específicas para os diversos lixos, sem considerar que a "coleta" é um dos componentes mais custosos do sistema de limpeza urbana. O trabalho aqui apresentado é o resultado prático, na escala de uma mega-cidade, das reflexões sobre o tema acima. Foi preciso chegar a um estado quase caótico do sistema de destino final de lixo em São Paulo, para que estudos profundos e multidisciplinares chegassem à proposta de um modelo que, por causa dos efeitos que se

Tabela 1. Principais mercados mundiais de embalagens 1995-2005 (US\$ bilhões)

Pais	1995	2000	2005*
EUA/Canadá	125,0	96,6	96,6
Japão	60,0	65,6	—
Alemanha	29,8	24,3	26,9
França	19,9	18,3	20,4
Itália	16,5	16,0	17,7
Reino Unido	15,0	13,1	14,7
China	14,0	—	—
Brasil	12,6	7,1	8,7
Espanha	6,4	7,6	8,6
Argentina	—	4,6	—
México	4,0	5,0	—
Chile	1,1	1,4	1,6
Colômbia	—	1,0	—

Fonte: UN, World Bank, PIRA, DATAMARK⁽¹⁾

* Estimativa

De acordo com WALLIS (2000)

“O mercado de embalagens no mundo em 2000 alcançou a cifra de US\$ 431 bilhões, da qual 22% refere-se à América do Norte; 27% à Europa Ocidental; 15% ao Japão; 5% à América Latina; e, 31% ao resto do mundo. A participação do Brasil é de 1,65% do mercado mundial.”

A produção brasileira de embalagens alcançou 5,5 milhões de toneladas, ou US\$ 10 bilhões, em 1998, correspondendo a 1,3 % do PIB, dos quais 61% referem-se a alimentos. O setor deverá crescer em torno de 35% em volume até o ano 2005, alcançando 7,4 milhões de toneladas ou US\$ 8,7 bilhões, aos preços de 2000. Estas projeções estão baseadas no panorama atual, não considerando substituições, exceto a tendência da mudança das latas de alumínio por embalagem de poliéster (PET), no setor de bebidas afirmou WALLIS (2000)

Na Tabela 2 está apresentada a segmentação do mercado de materiais de embalagem no Brasil.

Tabela 2. Segmentação do mercado de materiais de embalagem no Brasil (mil toneladas)

Material de embalagem	1990	1998	1999	2005 (estimativa)
Plásticos (exceto PET)	384	739	785	1.036
PET	4	273	276	354
Papel	298	301	311	377
Papelão ondulado	915	1.616	1.742	2.309
Cartão	234	390	376	439
Flexíveis	135	343	350	488
Alumínio	19	184	180	225
Folhas metálicas	584	668	668	778
Aço	158	119	121	138
Vidro	514	492	481	584

Fonte: DATAMARK⁽¹⁾

Continuando a abordagem, o mesmo WALLIS (idem) afirma que

A produção de plásticos no Brasil alcançou 3,4 milhões de toneladas em 1999, em comparação com 41,6 milhões de toneladas nos EUA e 26,3 milhões de toneladas na Europa (1994). Em 1998, aproximadamente 31% da produção de resina foi destinada para a produção de embalagens plásticas, transformando este setor no mercado mais importante para materiais plásticos no Brasil. O consumo de plásticos para embalagens nos EUA foi equivalente a 31%. Estima-se que o consumo de plásticos no Brasil crescerá de 3,3 milhões de toneladas em 1998 para 4,3 milhões de toneladas até 2005.

3.2 - Contaminantes dos materiais plásticos

Uma importante característica dos materiais plásticos utilizados como embalagem de alimentos nas operações de reciclagem é o seu comportamento termo-físico, classificados

segundo o qual em termoplásticos e termofixos. A caracterização e a separação de contaminantes são ações imprescindíveis no processo de reciclagem.

Os materiais de embalagem termoplásticos caracterizam-se como produtos de reações de polimerização completas com cadeias lineares ou ramificadas. As propriedades físicas são afetadas quando submetidos ao calor e resfriamento em indefinidos ciclos, ocorrendo a formação de reduzido índice de ligações cruzadas, as quais estão associadas com a rigidez dos mesmos, afirma SELKE in MADI et all (1998). Os materiais termoplásticos compõem quase integralmente o volume dos plásticos utilizados como embalagens primárias em alimentos.

Os materiais plásticos termofixos são produtos de polimerização em que ocorre a formação de elevado número de ligações cruzadas. Quando amolecidos, pela ação do calor e resfriados, endurecem irreversivelmente, fenômeno conhecido como cura, conferindo-lhes características de extrema rigidez. As resinas epóxi e os componentes moldáveis à base de formaldeído e fenol são alguns exemplos desses materiais. Em embalagens plásticas a maior utilização de materiais termofixos é verificada na confecção e preparação de tintas, vernizes, termosselantes, adesivos, sistemas rígidos para embalagens flexíveis (tampas, sistemas de dosagem, etc.), entre outros. Em função de suas características físico-químicas, quando em composição com materiais termoplásticos de embalagens de alimentos (laminados, garrafas e potes plásticos, etc.), diminuem o valor relativo de reciclabilidade destes materiais, constituindo-se em elementos contaminantes dos mesmos.

A presença de materiais estranhos, como aço, alumínio, vidro, papel/cartão, tintas, vernizes, entre outros, utilizados nos processos de laminação e conversão de materiais plásticos com a finalidade de otimizar ou aumentar a eficiência do sistema de embalagem, constituem-se, igualmente, em contaminantes na reciclagem de embalagens plásticas^[3], bem como os resíduos de alimentos remanescentes na embalagem pós-consumo, ou sujidades adquiridas após o seu descarte.

Já BRISTON & Katan (2001) afirmam que “a incompatibilidade de natureza química de determinadas resinas que compõem os diferentes materiais plásticos representam um sério problema na reciclagem de embalagens plásticas, à parte de outros contaminantes”.

Conforme argumentação da Associação Brasileira dos fabricantes de Embalagens de PET e Compromisso Empresarial para Reciclagem (1999), de forma geral,

quanto menor o número de componentes poliméricos e complexidade do sistema de embalagem, maior o seu valor de reciclagem, consequência da redução das etapas e recursos tecnológicos dispendidos no processo, como limpeza, separação dos materiais que compõe a embalagem (delaminação), recuperação de coadjuvantes utilizados na limpeza e delaminação (água e solventes) e energia necessária para estas operações.

Para MADI et all (1998)

a reciclabilidade de embalagens plásticas está intrinsecamente relacionada com a viabilidade econômica de implementação de determinadas rotas de reciclagem. O dilema de compatibilizar a função intrínseca do sistema de embalagem com os problemas ambientais decorrentes pelo descarte pós-consumo sem critério é um desafio para as entidades de pesquisa, empresas fabricantes de embalagens e sociedade, na viabilização de tecnologias, processos e programas que compatibilizem as vantagens da utilização de embalagem plásticas em alimentos e a sua reciclagem racional, em um contexto integrado na cadeia produção-utilização-consumo.

3.3 - Fontes recicláveis de materiais plásticos

Distingue-se, essencialmente, duas fontes recicláveis de materiais plásticos utilizados no segmento de embalagens: a industrial e o descarte pós-consumo.

Os resíduos provenientes do processo de produção industrial caracterizam-se por uma maior uniformidade de materiais, ou das frações descartadas, consequência da aplicação de procedimentos implementados na linha de produção, laminação/ conversão. Resinas, aparas de acabamento, materiais descartados por não atenderem as especificações de projeto, de qualidade, aditivos, tintas, vernizes, entre outros, constituem esta fração.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

“a não contaminação por resíduos do alimento, a natureza homogênea das frações, o volume concentrado a nível industrial, tornam estes resíduos com maior valor agregado de reciclagem, sob o ponto de vista empresarial, em relação aos plásticos componentes de embalagens de alimentos descartadas pós-consumo”.

As indústrias de produção ou conversão de embalagens visando atender os requisitos de qualificação inseridos na ISO 14000 e reduzir os custos de produção, minimizam os volumes descartáveis, através do reaproveitamento na própria linha de produção, ou otimizando o projeto da embalagem^[2,10]. A venda diretamente às empresas recicladoras, além de reduzir consideravelmente o impacto ambiental, representa retorno financeiro para as empresas produtoras/convertedoras de materiais plásticos.

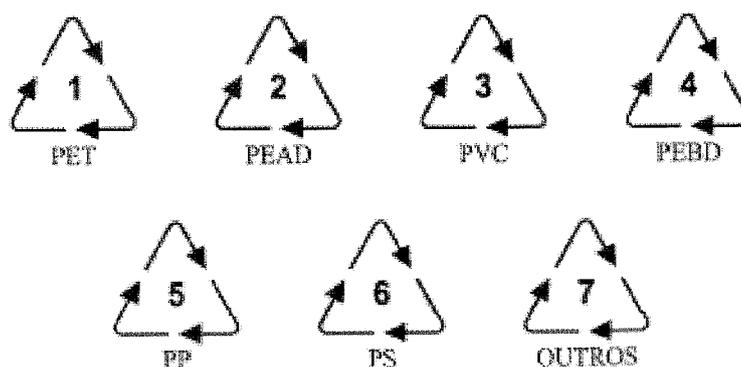
De acordo a ABNT – NBR 13230 que tematiza acerca da reciclabilidade e identificação de materiais plásticos *“a reciclagem de embalagens pós-consumo caracteriza-se por um elevado nível de contaminação (orgânica e inorgânica), heterogeneidade de materiais, baixo valor relativo de reciclabilidade e alto impacto sanitário-ambiental.”*

Enquanto isso, o Ministério da Saúde em Resolução n. 105 de 19/05/1999, afirma que *“a reutilização de resinas ou materiais plásticos na própria planta de produção nas indústrias nacionais está prevista na Resolução n. 105, de 19.05.99, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária”.*

O sucesso na reciclagem de materiais de embalagem descartados pós-consumo ou retornáveis está estreitamente relacionado com fatores culturais, políticos e sócio-econômicos da população; a implementação de empresas recicladoras; a existência de programas de coleta seletiva, de reciclagem ou de integração com empresas recicladoras, junto às comunidades (prefeituras); a disponibilidade contínua de volumes recicláveis; o desenvolvimento de tecnologias e equipamentos compatíveis para rotas de reciclagem econômicas e tecnicamente viáveis; programas de fomento para projetos de reciclagem; redução de tributação ou isenção fiscal para a comercialização de produtos reciclados; e, sanções legais para ações ou agentes

não integrados com sistemas de reciclagem na cadeia produção-utilização-consumo de embalagens.

A fim de facilitar a identificação e a separação de materiais plásticos no processo de reciclagem está regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)^[14] a simbologia apresentada na Figura 1, em consonância com a regulamentação internacional, devendo ser observada pelos produtores de materiais plásticos.



- 1 - Politereftalato de etileno
- 2 - Polietileno de alta densidade
- 3 - Policloreto de vinila
- 4 - Polietileno de baixa densidade
- 5 - Polipropileno
- 6 - Poliestireno
- 7 - Outros

Figura 1. Simbologia utilizada para a identificação e separação de materiais plásticos em processos de reciclagem (ABNT/NBR 13230)^[14]
Fonte: ABNT, 2002

A caracterização para estruturas laminadas ou multicamadas cuja reciclagem é processada com a separação dos materiais constituintes é designada pela resina de maior participação na composição da embalagem. Os materiais de embalagem recicláveis sem a separação dos seus elementos integrantes (delaminação) são classificados como "outros".

3.4 - Opções de reciclagem de embalagens plásticas

A reciclagem de embalagens plásticas pode ser entendida como sendo a implementação de processos e técnicas para otimizar a utilização de energia, matérias-primas,

produtos e materiais empregados na fabricação de embalagens, preservando-lhe com segurança a função intrínseca quando re-destinados para a preservação de alimentos, ou sua funcionalidade como novas matérias-primas ou produtos, amparada em conceitos econômicos, sociais, sanitários e de impacto ambiental adequados.

Neste contexto, as rotas potenciais ou com viabilidade econômica disponíveis para a reciclagem de materiais plásticos podem envolver: (a) a transformação mecânica em novos materiais ou produtos; (b) a recuperação de resinas; (c) a reutilização de embalagens; (d) transformação energética; e, (e) a degradação ambiental.

3.5 - Transformação mecânica em novos materiais ou produtos

Para GARCIA (1998)

“ a transformação mecânica em novos materiais ou produtos, consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original. Os materiais termoplásticos, como é o caso das embalagens plásticas primárias de alimentos, adequam-se vantajosamente ao processo, preservando, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais”.

A implementação do processo prevê a coleta seletiva, limpeza de contaminantes (resíduos de alimentos, sujidades adquiridas pelo descarte pós-consumo e outros materiais incompatíveis com a natureza do material a ser reciclado), delaminação (materiais de embalagem compostos), separação e enfardamento das frações por compatibilidade de natureza polimérica.

Conforme pesquisado no Centro Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) (2002):

“nas unidades recicladoras os materiais selecionados são desestruturados mecanicamente. Na forma de particulados, são submetidos a um processo de extrusão, seguido de resfriamento brusco que, após moídos e secados, originam o material reciclado, o qual é vendido para a indústria de plásticos para a fabricação de novos produtos ou outros materiais.

O mesmo CEMPRE propõe que

O principal mercado consumidor de plástico reciclado na forma de grânulos são as indústrias de artefatos plásticos, que utilizam o material na produção de baldes, cabides, garrafas de água sanitária, conduítes e acessórios para automóveis, entre outros. Os avanços técnicos de identificação e separação das diversas resinas, bem como equipamentos e tecnologias mais modernas de reprocessamento, vêm abrindo novos mercados para a reciclagem de materiais plásticos. Além disso, a multiplicação da coleta seletiva do lixo, garantindo a oferta de material reciclável de melhor qualidade, evitando que se contamine ao ser misturado com outros resíduos, tem impulsionado o desenvolvimento do setor. Estima-se que existam no Brasil cerca de 500 instalações industriais de reciclagem de plásticos, gerando até 20 mil empregos diretos, com um faturamento de cerca de R\$ 250 milhões por ano, concentradas na região sul e sudeste.

Em pleno acordo estão o IPT e o CEMPRE (2002) ao afirmarem que

Os materiais plásticos de embalagem que possuem PET na sua constituição, devido à qualidade relativa intrínseca da resina, ao volume de material utilizado e ao valor agregado das embalagens, têm sido bastante visados para reciclagem, sob o ponto de vista empresarial. A sua transformação em novos materiais ou produtos incluem a produção de fibras multifilamento (fabricação de cordas) e monofilamento (produção de fios de costura); a moldagem de produtos para o setor de autopeças, lâminas para termoformadores e formadores a vácuo, embalagens de detergentes; embalagens secundárias e terciárias de alimentos; tecidos, carpetes, pallets, entre outros.

O maior problema na reciclagem de PET é sua contaminação com PVC, pois ambos submergem na separação por densidades.

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

3.6 - Recuperação de resinas

A recuperação de resinas, também conhecida como reciclagem química, compreende a despolimerização dos materiais plásticos de embalagem, a recuperação e

purificação dos monômeros originais, podendo, então, serem novamente polimerizados para a fabricação de novas embalagens plásticas primárias, ou de outros materiais^[17-19].

Segundo afirmação de BAYER (1997)

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

De acordo com BAYER in GARCIA (idem)

A barreira funcional é a camada íntegra da estrutura da embalagem que sob condições normais e planejadas de uso pode impedir fisicamente a difusão de migrantes para o alimento a um nível tecnicamente viável e insignificante sob o ponto de vista toxicológico e sensorial, denominado threshold of regulation, expresso no limite de exposição tolerável de até 0,5 ppb para o consumo de substâncias de toxicidade desconhecida.

A legislação brasileira (Resolução nº 105, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, de 19.05.99) veta a utilização de materiais plásticos procedentes de embalagens, fragmentos de objetos, materiais reciclados, ou já utilizados, à exceção do PET. Contudo, disponibiliza a utilização, em dependência de regulamentação de processos tecnológicos específicos para a obtenção destes materiais.

Segundo GODDARD (1996) "*alguns países do Mercado Comum Europeu, EUA e Canadá já possuem tecnologias regulamentadas para a utilização de resinas recuperadas de materiais plásticos, em embalagens de alimentos, especialmente os fabricados com PET.*"

Continuando, o mesmo GODDARD (idem) enfoca que

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

A Portaria nº 987, de 08 de dezembro de 1998, do Ministério da Saúde, regulamenta

a reutilização de resinas recicladas de PET somente para a fabricação de garrafas multicamadas destinadas ao acondicionamento de bebidas não alcoólicas carbonatadas, como constituinte de camada de barreira funcional com espessura maior que 25m e a camada de PET recuperado menor que 200m , para produtos com a vida útil não superior a um ano, em condições de conservação inferiores ou limitadas à temperatura ambiente.

Para FREIRE (1998)

No âmbito do Mercosul, como na legislação brasileira, estão avançados os estudos para a regulamentação do uso do PET reciclado em estruturas multicamadas em embalagens primárias de alimentos, visando, inclusive, uma adequação da regulamentação existente com a de outros mercados comuns ou países, face o desenvolvimento e disponibilização de tecnologias compatíveis para a implementação deste processo de reciclagem.

Os processos de reciclagem química de PET são caracterizados por dois tipos de empresas: (a) as que operam na valorização e descontaminação do PET oriundo de embalagens pós-consumo, ou de descarte industrial, através das operações unitárias de seleção, moagem de embalagem de PET coletadas, lavagem, secagem e cristalização dos flocos; (b) as que fabricam materiais de embalagem multicamadas com a utilização de resina PET reciclada e virgem. Os itens imprescindíveis para a consolidação e viabilidade econômica do processo depende, entre outros fatores, de: (a) instalações e equipamentos adequados para acondicionamento e processamento do PET pós-consumo, ou de descarte industrial; (b) pessoal adequadamente treinado para atuar em todas as fases do processo; (c) fluxogramas detalhados dos processos de reciclagem e fabricação de novas embalagens, com a indicação dos pontos críticos de risco e os sistemas de monitoramento adotados; (d) controle e registro das fontes recicláveis e das resinas recicladas; (e) adoção de procedimentos de controle no processo de fabricação de materiais multicamadas com a utilização de resina reciclada, visando atender e propor mudanças na legislação específica; (f) monitoramento dos resíduos do processo de reciclagem .

pretendem provocar, leva o ambicioso título de **Macro Drenagem de Lixo Urbano** e se inscreve plenamente no conceito de "desenvolvimento sustentável", a essência da Agenda 21.

1.5 – Metodologia

Para a elaboração desta monografia contou-se com publicações existentes na área e com experiências implantadas em diversas cidades, o que ocasionou uma busca intensa e diversificada. Todos os assuntos serão sempre fundamentados cientificamente, pela visão de especialistas na área.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juiz de Fora - MG - CEP 36025-030

II. RESÍDUOS: CONSIDERAÇÕES NECESSÁRIAS

Resíduos são o resultado de processos de diversas atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública. Os resíduos apresentam-se nos estados sólido, semi-sólido e líquido.

Ficam incluídos nesta definição tudo o que resta dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou aqueles líquidos que exijam para isto soluções técnicas e economicamente viáveis de acordo com a melhor tecnologia disponível.

Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são a denominação genérica para determinados tipos de lixo produzido pelo homem. São representados por materiais descartados por certas atividades humanas.

Os Resíduos sólidos podem ser divididos em grupos, como:

1 . *Lixo Doméstico* — é aquele produzido nos domicílios residenciais. Compreende papel, jornais velhos, embalagens de plástico e papelão, vidros, latas e resíduos orgânicos, como restos de alimentos, trapos, folhas de plantas ornamentais e outros.

2 . *Lixo Comercial e Industrial* — é aquele produzido em estabelecimentos comerciais e industriais, variando de acordo com a natureza da atividade.

- Restaurantes e hotéis produzem, principalmente, restos de comida, enquanto supermercados e lojas produzem embalagens.

- Os escritórios produzem, sobretudo, grandes quantidades de papel.

- O lixo das indústrias apresenta uma fração que é praticamente comum aos demais: o lixo dos escritórios e os resíduos de limpeza de pátios e jardins; a parte principal, no entanto, compreende aparas de fabricação, rejeitos, resíduos de processamentos e outros que variam para cada tipo de indústria. Há os resíduos industriais especiais, como explosivos inflamáveis e outros que são tóxicos e perigosos à saúde, mas estes constituem uma categoria à parte.

3 . *Lixo Público* — são os resíduos de varrição, capina, raspagem, entre outros provenientes dos logradouros públicos (ruas e praças), bem como móveis velhos, galhos grandes, aparelhos de cerâmica, entulhos de obras e outros materiais inúteis, deixados pela população, indevidamente, nas ruas ou retirados das residências através de serviço de remoção especial.

4 . *Lixo de Fontes Especiais* — é aquele que, em função de determinadas características peculiares que apresenta, passa a merecer cuidados especiais em seu acondicionamento, manipulação e disposição final, como é o caso de alguns resíduos industriais antes mencionados, do lixo hospitalar e do radioativo.

Com o crescimento acelerado das metrópoles, do consumo de produtos industrializados, e mais recentemente com o surgimento de produtos descartáveis, o aumento excessivo do lixo tornou-se um dos maiores problemas da sociedade moderna. Isso é agravado pela escassez de áreas para o destino final do lixo.

A sujeira despejada no ambiente aumentou a poluição do solo, das águas, do ar e agravou as condições de saúde da população mundial. O volume de lixo tem crescido assustadoramente. E umas das soluções imediatas seria reduzir ao máximo o seu volume e o consumo de produtos descartáveis, reutilizá-los e reciclá-los.

Para a Natureza e para o homem, os resíduos podem ser, em geral, reciclados e parcialmente utilizados, o que traz grandes benefícios à comunidade, como a proteção da saúde pública e a economia de divisas e de recursos naturais.

O aterro sanitário é um processo de eliminação de resíduos sólidos bastante utilizado. Consiste na deposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária.

Uma vez depositados, os resíduos sólidos se degradam naturalmente por via biológica até à mineralização da matéria biodegradável, em condições fundamentalmente anaeróbias. O aterro sanitário é uma obra de engenharia que deve ser orientada por quatro objetivos:

- diminuição dos riscos de poluição provocados por cheiros, fogos, insetos
- utilização futura do terreno disponível, através de uma boa compactação e cobertura
- minimização dos problemas de poluição da água, provocados por lixiviação
- controle da emissão de gases (liberados durante os processos de degradação)

Esse processo tem as seguintes vantagens e desvantagens:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Processo de baixo custo	Longa imobilização do terreno
Recuperação de áreas degradadas	Necessidade de grandes áreas
Flexibilidade de operação	Necessidade de material de cobertura
Não requer pessoal altamente especializado	Dependência das condições climáticas

Um aterro sanitário é um reator biológico em evolução, que produz:

- resíduos gasosos: CO₂, metano, vapor d'água, O₂, N₂, ácido sulfúrico e sulfuretos

- resíduos sólidos: resíduos mineralizados
- resíduos líquidos: águas lixiviadas.

Resíduos Gasosos

Os resíduos gasosos resultam das reações de fermentação aeróbia (desenvolvidos na superfície) e anaeróbia (nas camadas mais profundas); a fermentação anaeróbia dá origem a CO_2 e a CH_4 (metano), o qual pode ser aproveitado para a produção de biogás.

Resíduos Líquidos

Os resíduos líquidos, também chamados lixiviados, variam de local para local e dependem de:

- teor em água dos resíduos
- isolamento dos sistemas de drenagem
- clima (temperatura, pluviosidade, evaporação)
- permeabilidade do substrato geológico
- grau de compactação dos resíduos
- idade dos resíduos

Os lixiviados tem elevada concentração de matéria orgânica, de azoto e de materiais tóxicos, pelo que deve ser feita a sua recolha e tratamento, de modo a impedir a sua infiltração no solo.

Devido a grande distância que normalmente os aterros sanitários se encontram, tornam muitas vezes inviável o acesso a esse tipo de destino final. A prática mais generalizada é o enterramento de resíduos em terrenos adjacentes, muitas vezes sem preparação, em solos inadequados e perto de espécies faunísticas e florísticas de elevada fragilidade, o que dá origem a focos de poluição e de contaminação localizados.

Uma forma de minimizar esses efeitos é a seleção cuidadosa do local (tipo de solo, coberto vegetal, regime hidrológico), sua impermeabilização e seu recobrimento sistemático com terra. A incineração é um processo de combustão controlada (em instalação própria), que permite a redução em volume e em peso dos resíduos sólidos, em cerca de 90 a 60%. Os resíduos são transformados em, gases, calor e materiais inertes (cinza e escórias de metal).

Os grandes inconvenientes desse sistema são a:

- poluição do solo por cinzas e escórias
- a poluição da água pelas águas de arrefecimento das escórias e de lavagem de fumos e pelas escorrências de solos contaminados
- poluição do ar por cinzas voláteis e dioxinas; estas últimas têm um elevado teor tóxico e são agentes de doenças, nomeadamente hiperpigmentação da pele, danos no fígado, alterações enzimáticas, alterações no metabolismo dos lipídios, nos sistemas endócrinos e imunológico e feitos cancerígenos..

O reaproveitamento consiste na utilização dos resíduos para subsidiar outras atividades

- alimentação de animais domésticos (restos de alimentos)
- produção de fertilizantes - compostagem (resíduos sólidos orgânicos)

Classes dos Resíduos

Classe 1 - Resíduos Perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Classe 2 - Resíduos Não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

Classe 3 - Resíduos Inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

Origem	Possíveis Classes	Responsável
Domiciliar	2	Prefeitura
Comercial	2, 3	Prefeitura
Industrial	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Público	2, 3	Prefeitura
Serviços de saúde	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Portos, aeroportos e terminais ferroviários	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Agrícola	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Entulho	3	Gerador do resíduo

FONTE: ABNT (2000)

Resíduos Tóxicos

São considerados resíduos tóxicos as pilhas, baterias, tintas e solventes, remédios vencidos, lâmpadas fluorescentes, inseticidas, embalagens de agrotóxicos e produtos químicos, as substâncias não biodegradáveis estão presentes nos plásticos, produtos de limpeza, em pesticidas e produtos eletroeletrônicos, e na radioatividade desprendida pelo urânio e outros metais atômicos, como o cério, utilizados em usinas, armas nucleares e equipamentos médicos. O cádmio, níquel, mercúrio e chumbo são os principais contaminantes. A separação adequada desses materiais é muito importante para evitar a contaminação do solo e dos lençóis freáticos.

As pessoas devem tomar alguns cuidados básicos para embalar este tipo de resíduo: acondicionar em sacos plásticos bem fechados, guardá-los em local arejado e protegido do sol, das crianças e dos animais. Os materiais que podem ser reciclados são encaminhados a Centrais de Tratamento específicas. Os medicamentos vencidos, restos de tinta e verniz, e embalagens de inseticidas, que ainda não podem ser reciclados, ficam armazenados no aterro industrial em condições adequadas, para evitar a contaminação do meio ambiente. Esses resíduos são tratados por meio de encapsulamento.

Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que jogamos fora. A palavra reciclagem foi introduzida ao vocabulário internacional no final da década de 80, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias-primas não renováveis estavam e estão se esgotando.

Para compreendermos a reciclagem, é importante "reciclarmos" o conceito que temos de lixo, deixando de enxergá-lo como uma coisa suja e inútil em sua totalidade. O primeiro passo é perceber que o lixo é fonte de riqueza e que para ser reciclado deve ser separado. Ele pode ser separado de diversas maneiras, sendo a mais simples separar o lixo orgânico do inorgânico (lixo molhado/ lixo seco).

Na natureza nada se perde. Seres vivos chamados decompositores comem material sem vida ou em decomposição. Eles dividem a matéria para que ela possa ser reciclada e usada de novo. Esse é o chamado material biodegradável. Quando um animal morre, ele é reciclado pela natureza. Quando um material é dividido em pequenas peças, as bactérias e fungos, os mais importantes decompositores, já podem trabalhar.

A decomposição aeróbia é mais completa que a anaeróbia por gerar gás carbônico, vapor de água e os sais minerais, substâncias indispensáveis ao crescimento de todos os vegetais, o qual gera o *humus*, ótimo adubo para o solo.

No processo anaeróbio, são gerados os gases (metano e sulfídrico), que causam um odor desagradável; a decomposição anaeróbia produz um líquido escuro denominado

chorume (líquido com grande quantidade de poluentes) encontrado normalmente no fundo das latas de lixo. Este chorume é o principal causador da contaminação dos rios e do lençol freático.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juiz de Fora - MG - CEP 36037-000

III. RECICLAGEM DE EMBALAGENS PLÁSTICAS

A reciclagem de embalagens plásticas preocupa a sociedade, mundialmente, face ao crescente volume de utilização e as implicações ambientais inerentes ao seu descarte não racional pós-consumo, como no setor de alimentos. Os hábitos de consumo da sociedade moderna, a definição de regulamentações específicas, a implementação de centros de pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias adequadas, constituem pauta de ações específicas de setores governamentais e empresariais na reciclagem de embalagens.

A rentabilidade do mercado de reciclagem de embalagens plásticas no Brasil, como em outros países desenvolvidos, mostra aspectos atraentes para iniciativas empresariais do setor, com reflexos sócio-econômicos diretos relacionados com a melhoria da qualidade de vida da população, geração de renda, economia de recursos naturais e atenuação de problemas ambientais. A consolidação e o incremento do volume dos materiais plásticos utilizados em embalagens na vida moderna representa um desafio sob o ponto de vista da sua reciclagem racional, exigindo uma abordagem integrada entre os processos de transformação das matérias-primas, fabricação das embalagens e sua funcionalidade na conservação do produto.

3.1 - Panorama brasileiro e mundial da utilização de embalagens

Os principais mercados mundiais para embalagens estão apresentados na Tabela 1.

Segundo FREIRE (1998) *“um mercado igualmente promissor para a reciclagem química de embalagens plásticas pós-consumo, notadamente as de PET, é a obtenção de resinas alquílicas para utilização na produção de tintas”*. O mercado de utilização da resina reciclada para a produção de garrafas para bebidas não alcoólicas carbonatadas multicamadas ou moldadas, tem aumentado consideravelmente, sobretudo nos Estados Unidos e Europa, em função da existência de regulamentação para a utilização de até 25% de resina reciclada na composição total da embalagem. Avanços tecnológicos na reciclagem química de plásticos, especialmente PET, bem como de mecanismos que controlem e atestem a qualidade de material reciclado indicam excelentes perspectivas na reciclagem destes materiais.

3.6 - Reutilização de embalagens

O conceito de reutilização ou retornabilidade de embalagens de alimentos compreende a recuperação da embalagem integral pós-consumo para o desempenho da função originalmente planejada. O sistema está associado à embalagem de vidro, onde a retornabilidade (especialmente de garrafas) é tradicionalmente uma rota muito utilizada, afirmou GARCIA (1998).

A utilização de embalagens plásticas retornáveis está prevista e regulamentada na Resolução nº 105, de 19.05.99, da Secretaria de Vigilância Sanitária / Ministério da Saúde, Anexo IX, *apenas para bebidas não alcoólicas carbonatadas*.

Além do atendimento rigoroso das condições estabelecidas para a utilização como outros materiais plásticos como embalagens primárias em alimentos, a limpeza, eliminação de contaminantes, sanitização e monitoramento do ciclo de vida útil das embalagens, devem seguir critérios rígidos de controle. Entre outras exigências, as embalagens retornáveis deverão conter em seu rótulo a expressão "uso exclusivo para ...", indicando para o consumidor/usuário o alimento para o qual é destinada.

BERTIN (1998) e SCHLENKER (1999)

Vários países estão revendo a legislação específica com vistas ao uso de sistemas retornáveis, especialmente para bebidas, frente aos avanços observados na fabricação de embalagens com excelentes propriedades de proteção do alimento, utilizando resinas de elevado valor agregado, como é o caso de embalagens de PET.

A tendência de implementação de sistemas de venda de alimentos ou produtos líquidos (em supermercados, atacados, lojas de conveniência, abastecimento a domicílio etc.), onde o consumidor reutiliza a embalagem não descartada após o consumo do produto demonstra grande viabilidade prática de uso, com reflexos diretos no custo do produto, redução de materiais de embalagem e de matérias-primas para a sua fabricação conseqüentemente, do volume de materiais descartados pós-consumo.

A embalagem retornável reduz o consumo de matérias-primas virgens e diminui o impacto ambiental devido ao seu descarte pós-consumo, quando não aproveitada em outra rota de reciclagem. Apresenta, contudo, a desvantagem de exigir apreciável consumo energético no transporte e nas operações de monitoramento, controle e adequação ao ciclo de reutilização.

3.7 - Transformação energética

A transformação ou reciclagem energética prevê a combustão ou pirólise dos materiais plásticos utilizados como embalagem com a recuperação da energia liberada. Os plásticos utilizados em embalagens de alimentos, como materiais orgânicos, representam valor combustível consideravelmente positivo quando submetidos à combustão total, comparados a outros materiais. Para GARCIA (idem) em geral,

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

Não obstante às vantagens inerentes ao processo de transformação energética, o controle e tratamento dos produtos e substâncias residuais têm concentrado estudos e críticas sob o ponto de vista ambiental.

A combustão de materiais plásticos de PVC mostra sérios problemas de corrosão de equipamentos e de poluição ambiental decorrentes da transformação do cloro contido em sua composição em produtos nocivos, tais como o cloreto de hidrogênio e dioxinas.

O cloreto de hidrogênio oriundo da decomposição térmica do PVC dissolve-se em contato com o vapor de água no processo de combustão, dando origem ao ácido hidroclorídrico, o qual é altamente corrosivo para os equipamentos que compõem o sistema de incineração.

As dioxinas (Figura 2) são compostos químicos derivados da estrutura básica $C_4H_4O_2$. A substância 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina tem sido estudada em função da sua toxicidade e efeitos deletérios em animais e seres humanos.

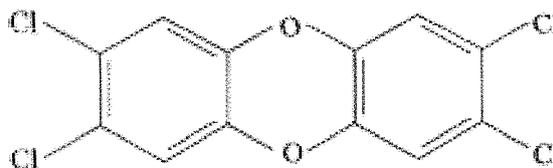
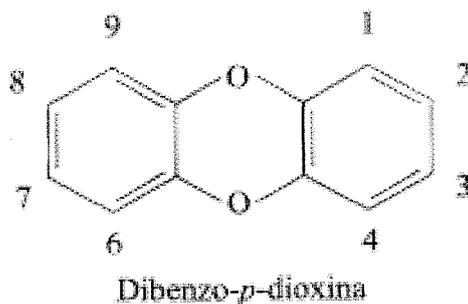


Figura 2. Estrutura química de dibenzo-*p*-dioxina e 2,3,7,8 - tetrachlorodibenzo-*p*-dioxina
Fonte: BRISTON; KATAN (2001)

Além das dioxinas, outros compostos da decomposição térmica do PVC, como furanos e ftalatos, têm sido recentemente estudados pelos seus efeitos nocivos e formação de compostos de prolongada persistência no meio ambiente. Estes problemas vêm comprometendo a utilização do PVC em materiais de embalagem e outros materiais, apesar de suas excelentes características de maquinabilidade e baixo custo relativo comparado com outras resinas. Da mesma forma, a presença de materiais pesados como cádmio, cromo, zinco e, especialmente, mercúrio, quer nas emissões gasosas ou no resíduo sólido (cinzas), requerem a implementação de controles eficientes de neutralização, separação ou recolhimento dessas substâncias, sob pena de comprometer a estrutura e equipamentos de incineração e pirólise, assim como a viabilidade do processo.

A pirólise é uma opção de transformação energética de materiais plásticos que envolve a decomposição térmica parcial, originando óleo combustível bruto, o qual pode ser utilizado como fonte de energia, via combustão, ou transformado em outros produtos ou materiais. Como vantagens relativas do processo em relação à combustão podem ser destacadas:

- (a) a possibilidade de armazenamento, transporte e utilização como óleo bruto;
- b) a viabilidade de refino do óleo bruto para a obtenção de monômeros para síntese de outros produtos plásticos;
- c) a transformação do óleo bruto para composição de materiais com aplicação na construção civil (isolante, impermeabilizante, etc.) e como componente de material asfáltico na construção de rodovias.

Os processos de transformação energética (combustão e pirólise) representam uma redução significativa do volume de materiais de embalagem pós-consumo lançados sem destinação racional no meio ambiente ou em aterros sanitários, para os quais não exista processos de reciclagem apropriados. Também, permite uma redução considerável da utilização de outras fontes de matérias-primas não renováveis, tradicionalmente utilizadas

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC

para obtenção de energia, como é o caso do óleo combustível extraído do refino do petróleo, ou a queima de madeira.

O requerimento de equipamentos e instalações apropriados para os processos, o controle e monitoramento das emissões gasosas, dos resíduos sólidos e das frações decompostas na degradação térmica, de modo a representar um retorno ou ganho energético positivos e uma redução de impacto ambiental que justifique economicamente os processos utilizados, são os principais fatores críticos da reciclagem térmica.

A combustão e/ou pirólise de materiais plásticos têm sido implementados com relativa eficiência em países com elevada densidade populacional, com restritas opções de fontes energéticas convencionais e com disponibilidade de recursos para a viabilização de tecnologias para a aplicação e controle destes processos.

3.8 - Degradação ambiental

Os plásticos são considerados substratos inertes, com índices de decomposição variáveis (quase desprezíveis) por elementos ambientais, como luz, umidade, calor e microrganismos. Quando degradados podem originar substâncias não inócuas, de prolongada persistência e de restrito controle ambiental.

A não degradabilidade no ambiente de materiais plásticos pós-consumo tem sido um dos fatores em que ambientalistas têm centrado suas campanhas em detrimento das vantagens e dos avanços obtidos na utilização de resinas plásticas para o desenvolvimento de embalagens para alimentos. Por outro lado, a pesquisa e o planejamento de embalagens com componentes que favoreçam a sua degradação ambiental é um desafio e um dilema para estes setores, pois envolvem itens que se contrapõem à função primordial da embalagem de proteção e manutenção da estabilidade de alimentos.

Para aumentar os índices de degradação no meio ambiente, várias propostas têm sido estudadas, com limitada aplicabilidade econômica, até o momento, entre as quais:

(a) a incorporação de elementos na estrutura da embalagem que promovam processos de fotodegradação (fotossensibilizantes, sais metálicos, nitrocompostos, quinonas, benzofenóis, entre outros);

(b) o estudo de utilização de estruturas poliméricas (poliamidas, poliésteres, poliuretanos) que contenham estruturas hidrofílicas na sua composição, predispondo-as à degradação pela ação da umidade do ambiente;

(c) o desenvolvimento de materiais mistos de embalagem a base de polímeros sintéticos com amidos modificados, ou com outros polímeros que apresentem suscetibilidade natural para o ataque de microrganismos no ambiente^[32].

3.9 - Aspectos legais

Um dos grandes desafios para as indústrias de embalagens, frente à competitividade globalizada no setor, tem sido o atendimento às certificações ISO 9000 (gestão da melhoria da qualidade) e, atualmente, ISO 14000, que considera a gestão ambiental dos processos produtivos, além dos parâmetros de qualidade.

Dois conceitos fundamentais são considerados nos critérios de certificação para a ISO 14000 de empresas fabricantes, ou utilizadores de embalagens: a rotulagem ambiental e a análise de ciclo de vida do produto.

Segundo a FREIRE (1998)

A rotulagem ambiental releva informações acuradas ao consumidor a respeito do impacto ambiental de um produto ou serviço. Tem por objetivo promover a redução das implicações ambientais negativas relacionadas a produtos e serviços, através da conscientização de fabricantes, consumidores e instituições públicas sobre as vantagens de optar por produtos e serviços que causem o menor dano ambiental possível, durante o seu ciclo de vida. Até o momento estão implementadas as normas ISO Tipo 1 (14024) Selos Verdes / Certificação por Terceiros e Tipo 2 (14021) Auto Declaração.

A análise do ciclo de vida de um produto ou serviço (*Life Cycle Assessment*) compatibiliza os impactos ambientais decorrentes de todas as etapas envolvidas, desde a sua concepção mercadológica, planejamento, extração e uso de matérias-primas, gasto de energia, transformação industrial, transporte, consumo; até o seu destino final (no caso de embalagens), pela disposição destas em aterro sanitário, ou a sua reciclagem. Igualmente, o monitoramento de aspectos indiretos envolvidos com estas etapas do processo são relevantes, como a identificação e quantificação das emissões gasosas, o tratamento de efluentes e resíduos sólidos finais.

As principais vantagens decorrentes da utilização da análise do ciclo de vida no setor de embalagens são:

- (a) a visão sistêmica do setor em relação ao impacto ambiental;
- (b) propiciar a identificação das partes críticas da produção e do uso, orientando as ações voltadas à melhoria do sistema;
- (c) sensibilizar todos os componentes do sistema para os problemas ambientais envolvidos;
- (d) oferecer elementos para a orientação de discussões no âmbito sistêmico do processo, em detrimento a pontos específicos;
- (e) proporcionar informações básicas para a discussão e avaliação de assuntos ambientais.

Para GARCIA (1998)

O conceito de eco-eficiência também vem sendo adotado por empresas do mundo inteiro, como apelo para assegurar que seus sistemas de produção, produtos e serviços estão comprometidos com uma performance econômica e ambiental corretas. Nesse sentido, a empresa que busca a eco-eficiência passa a adotar condutas como a minimização do consumo de matérias-primas virgens e sua substituição por materiais reciclados; concentra esforços para diminuir a toxicidade de seus produtos, aumentando-lhes sua vida útil; reduz o gasto de energia em seus processos, entre outros.

As conceituações de análise do ciclo de vida e de rotulagem ambiental, notadamente, são elementos já observados e exigidos em muitos mercados e legislações internacionais de embalagens de alimentos, merecendo rigorosa avaliação nos setores de produção, comercialização de produtos/alimentos e reciclagem, sendo definitivamente seletivos para o sucesso ou a inviabilização de empreendimentos envolvidos direta ou indiretamente com o setor de embalagem e conservação de alimentos.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juiz de Fora - MG - CEP: 36038-900

IV. RECICLAGEM DE RESÍDUOS PLÁSTICOS PARA APLICAÇÕES SUBSTITUTIVAS DE PAPEL PARA ESCRITA E IMPRESSÃO

A agressão ao meio ambiente causada pelos resíduos originados nos processos, serviços e produtos utilizados na vida moderna tem-se tornado uma preocupação crescente em todos os setores.

Os polímeros sintéticos e os naturais modificados, muito utilizados em embalagens diversas, têm sido considerados um dos grandes vilões da poluição ambiental, principalmente quando se refere aos danos causados pelos resíduos urbanos.

Segundo o IPT/CEMPRE (2000)

“a contribuição desses materiais no crescente volume de resíduos sólidos urbanos também tem aumentado ao longo dos últimos anos, tendo alcançado o segundo lugar em maior incidência na composição do lixo da cidade de São Paulo, considerando somente os plásticos”.

Por outro lado, em dados da Revista Celulose e Papel (ago/set1996)

“a derrubada de árvores em grande escala, seja para a produção de papéis, para a fabricação de móveis, como também para a utilização nas construções civis e a geração de energia, requer um controle mais rigoroso de forma a minimizar o impacto ambiental do desmatamento”. Ainda, segundo um estudo feito pelo BNDES em 1996, a produção de papel no país necessitaria ser duplicada até o ano 2005, projetando um investimento da ordem de US\$4,8 bilhões. Estudos mais recentes mostram que, caso a capacidade de produção do setor seja mantida nos mesmos níveis atuais, o Brasil passará de exportador a importador de papel, no ano de 2002.

O aumento da produção de papel, nos níveis previstos, tem um fator complicador, uma vez que vai depender essencialmente da disponibilidade de celulose, cuja matéria prima básica é a madeira, afirmou dados da mesma revista.

No Brasil, segundo dados da Revista Celulose e Papel (abril, 1999)

essa matéria prima é exclusiva de reflorestamentos próprios, cuja área total precisará de uma expansão significativa até o ano 2005, necessitando para isso investimentos de US\$ 930 milhões. Sem contar que as florestas a serem cultivadas nas áreas de expansão começarão a dar retorno somente após um período superior a sete anos.

Estima-se também que a oferta mundial de papel não irá se expandir no mesmo ritmo do crescimento econômico, sendo calculada em 320 milhões de t/ano, com um déficit significativo de 70 milhões t para o ano de 2005, sendo o segmento de papel para escrita e impressão o que apresentará a maior defasagem: 27 milhões de toneladas afirmou a Revista Celulose e Papel (abril/maio, 1999)

Para MARUCA & MANRICH (2000) em concordância com OHNO (1998)

A fabricação de papel sintético ou papel plástico, a partir de termoplásticos é apontada como uma das alternativas mais viáveis e promissoras para o preenchimento dessa lacuna de produção do papel celulósico. A possibilidade de estar inovando com uma única alternativa para duas problemáticas, motivou o início das pesquisas em papel sintético, utilizando para isso matéria prima reciclada de resíduo urbano, ou seja, plástico proveniente de lixo.

O papel plástico pode ser competitivo em termos de custo como também apresenta vantagens com relação à utilização de tecnologias relativamente limpas para a sua fabricação, quando comparado ao papel celulósico. Em casos específicos, a relação custo/benefício pode justificar a utilização do papel sintético, a exemplo dos recentes investimentos do governo brasileiro em optar pela fabricação de notas de dez Reais comemorativas dos 500 anos do descobrimento, com papel plástico e não celulósico.

Além disso, segundo os mesmos autores, MARUCA & MANRICH (2000),

com o uso do papel sintético, existe a possibilidade da confecção de livros, revistas, cadernos escolares, jornais, papéis para escritório, além de produtos monocomponentes (por exemplo, garrafas, tampas e rótulos de papel de polipropileno), facilitando vantajosamente o processo de reciclagem pós-consumo. Este processo, por sua vez, viabiliza o fechamento do ciclo de vida do produto, tornando-o ambientalmente correto.

Na maioria dos desenvolvimentos e pesquisas sobre papel sintético, cujas publicações são bastante raras, o objetivo principal tem sido o de reproduzir as propriedades do papel celulósico em filmes plásticos, por meio da formação de microcavitações durante o processo de orientação.

A cavitação provocada por esse processo é o que confere, basicamente, a opacidade, a receptividade a tintas e a baixa densidade necessárias^[68,12-15]. Tem-se conseguido algum sucesso com filmes de compósitos de poliolefinas-carga inorgânica, blendas de polímeros incompatíveis ou mesmo por meio de uma extensiva orientação, abaixo da temperatura de fusão, de polímeros semi-cristalinos. Nesses casos, as microfases constituídas ou por partículas de carga, ou por partículas dispersas de polímero incompatível, ou ainda por partículas de fase cristalina, servirão de núcleos para a formação das microcavitações.

Segundo pensamento de MARICH, MORITA, MARUCA (1998), endossando a afirmação de SHIMADA et al. (1996)

Foi proposto também a mistura de fibras e/ou microfibras de poliolefinas ou de poliésteres com as de celulose. Dentre os vários métodos, entretanto, os que têm tido melhores resultados são os filmes de compósitos de polipropileno (PP) e polietilenos (PE) com carga inorgânica e os filmes obtidos da orientação de blendas de polímeros semi-cristalinos como o poli(tereftalato de etileno) (PET).

Os estudos apresentados neste trabalho foram realizados em papel sintético feito de compósitos de PP, de diferentes origens com cargas inorgânicas. Em publicações futuras, serão apresentados os resultados obtidos com filmes de blendas de PP/poliestireno (PS) e de

PET/poliolefinas e foram encontrados nas publicações de MARUCA & MANRICH (2000) na Revista Celulose e Papel (2001)

4.1 – Relato Experimental

* Materiais

PP virgem - PP KF-6100 (PPvir) *grade* específico para a confecção de filmes, doado pela Polibrasil S.A., sem qualquer processamento anterior.

PP reciclado industrial (PPrec. ind.) - este material, doado pela Koppol Films, teve uma seqüência de processamentos: (a) extrusão de filmes biorientados de PP KF 6100; (b) filmes que foram rejeitados na inspeção de qualidade foram picotados, aglutinados, extrudados e finalmente granulados.

PP de resíduo urbano (PPres. urb.): algumas caracterizações inicialmente foram feitas com diferentes produtos de PP presentes como resíduo urbano: garrafas e copos de água mineral, que foram retirados de uma coleta seletiva em restaurante. Para a confecção dos filmes, decidiu-se utilizar apenas as garrafas de água mineral, conforme comentários posteriores.

Carbonato de Cálcio - doado pela Polibrasil S.A. e pela empresa Química Barra do Pirai, de diferentes granulometrias. *Aditivos*: TiO₂, forma rutilo, doado pela Polibrasil S.A. e antioxidante Irganox B215, doado pela Ciba.

* Métodos

As garrafas de água mineral pós-consumo foram lavadas com água ou em conjunto com detergente quando necessário, secadas ao ar e então moídas num moinho de facas. O material moído na forma de *flakes* foi peneirado para a separação dos pós, os quais poderiam

provocar uma degradação maior nos processamentos posteriores. Este material foi utilizado diretamente na obtenção dos compósitos.

*** Caracterização da Matéria-Prima**

A caracterização do comportamento reológico de 3 tipos de PP (virgem, reciclado industrial e de garrafas de água) foi feita utilizando um Reômetro Capilar Instron, modelo 3211, a 200 °C. A realização dos testes de índice de fluidez baseou-se na norma ASTM D1238. Para a caracterização do comportamento térmico, as amostras moídas de diferentes tipos de PP foram todas submetidas a um mesmo tratamento térmico. Essas amostras foram então analisadas por meio de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), Calorímetro DuPont Modelo 2910; o ensaio foi realizado sob uma taxa de aquecimento/resfriamento de 10 °C/min. O ensaio de tempo de indução oxidativa (OIT) teve como base a norma ASTM D-3895, com modificações feitas pela ABNT e Telebrás. O Calorímetro DuPont 2910 foi também utilizado para esse ensaio.

A carga foi caracterizada somente com relação à granulometria do carbonato de cálcio, proveniente de diferentes origens: Polibrasil Resinas S.A (PBR) e Química Barra do Pirai (QBP). O objetivo foi determinar a influência da granulometria da carga sobre as propriedades do papel sintético. Essa determinação foi feita em Sedígrafo, Micromeritics 5000D, o qual se baseia na lei de Stokes de sedimentação, utilizando um detector de raio-X.

*** Formulação e Caracterização de Compósitos**

Segundo MARUCA et all (1999)

A formulação dos compósitos foi baseada em trabalho da literatura, principalmente com relação à Patente de Ohno/OJI YUKA CO. Ltda. A primeira formulação consistiu de 80% de PP virgem e 20% de CaCO₃ PBR, proporção em peso, com uma adição posterior de 0,3% em peso de TiO₂.

Continuando a análise, MARUCA et all (1999) afirmam que:

A segunda e terceira formulações foram feitas com 60% P_{prec. ind.} + 40% CaCO₃ PBR e 60% P_{pres. urb.} + 40% CaCO₃ PBR, respectivamente, ambas com adições posteriores de 0,3% de TiO₂. Na quarta formulação, comparada à terceira, variou-se apenas a granulometria da carga, isto é, de CaCO₃ PBR para CaCO₃ QBP. Foi feita uma quinta formulação a partir desta quarta, adicionando-se PP virgem KF 6100, em que a proporção de carga foi diminuída novamente para 20%.

A mistura das cargas inorgânicas foi feita em extrusora rosca-dupla da Werner-Pfleiderer (30 mm). As seguintes condições de processamento foram utilizadas: velocidade de rotação do parafuso 190 rpm, com um perfil de temperaturas dividido em 6 zonas: 188, 198, 220, 243, 240 e 220 °C. A carga foi adicionada após a zona de alimentação da resina. Obtidos os compósitos, os respectivos índices de fluidez (MFI) foram determinados.

*** Obtenção e Caracterização de Papel Sintético**

Para a obtenção de papel sintético, foi utilizada uma extrusora sopro de filmes (*film blowing*), CIOLA IF50, cujo perfil de temperaturas foi de 180, 200 e 230 °C. Para cada formulação, as condições de vazão do ar comprimido para inflar o tubo foram inicialmente ajustadas, até se conseguir um filme homogêneo. A partir de então, a velocidade de puxamento do filme foi ajustada para 0,8 m/s de forma a obter a espessura desejada.

A resistência ao rasgamento foi determinada com base na norma ASTM D1004; a caracterização da deformação permanente sob calor (DPC), específica para folhas plásticas (filmes), materiais plásticos laminados e plásticos moldados, foi baseada na norma ASTM D794. A caracterização da opacidade foi realizada em equipamento da Polibrasil Resinas S.A., Haze Gardplus. A densidade foi calculada determinando-se a massa e a espessura de amostras cortadas nas dimensões de 5x5 cm². Essas determinações foram feitas em substituição à "gramatura" (massa por unidade de área), uma vez que as espessuras entre os diferentes tipos de papel variaram significativamente, não permitindo tal comparação.

A caracterização microscópica em termos de dispersão das cargas e formação de microcavitações foi feita por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM), com microanálise (EDS), em microscópio OXFORD modelo eXL.

Verificou-se qualitativamente a possibilidade de diversos tipos de escrita (lápis, caneta esferográfica, tinteiro e hidrográfica) e de impressão (matricial, a laser e por jato de tinta) sobre os papéis produzidos.

* Caracterização da Matéria Prima

Para MARUCA et al (1999)

Os valores das propriedades determinadas por DSC e por plastômetro, para os diferentes tipos de PP, tais como temperatura de fusão (T_m) e grau de cristalinidade (x_c), do tempo de indução oxidativa (OIT) e do índice de fluidez (MFI), já foram apresentados anteriormente. Assim, esses resultados serão apenas comentados aqui e não serão listados na forma de tabelas. Resíduos de PP originários de copos de água mineral também foram caracterizados, quanto à T_m , x_c e OIT.

De forma geral, os resultados de T_m , x_c e OIT obtidos para amostras de PP de diferentes origens mostraram valores relativamente próximos dos valores do PP virgem e dos resíduos de copos de água. Entretanto, as caracterizações desta última fonte de matéria prima não tiveram continuidade devido às dificuldades em sua utilização, resultantes da presença de tintas de impressão, que poderiam se volatilizar durante o reprocessamento, e a necessidade de incluir mais uma etapa, a de aglutinação, para sua recuperação.

Os resultados de MFI mostraram que o valor para o PP de resíduo de garrafa de água é mais baixo, porém não difere muito daquele do PP virgem (3,28 e 4,11 g/10 min, respectivamente). Neste caso, os materiais correspondem a *grades* específicos para as respectivas aplicações. Por outro lado, o valor de MFI do material reciclado industrial é mais de 6 vezes o do PPvir. Neste caso, por serem ambos os polímeros originários de mesmo *grade* (PP KF 6100), o MFI mais alto do PPrec. ind. (26,7 g/10 min) estaria confirmando que os vários reprocessamentos provocaram uma degradação mais intensa, com diminuição de peso molecular. No ensaio de OIT, novamente, o menor valor para o PPrec.ind veio a confirmar estar este material em um estágio mais avançado de degradação do que os demais.

Os resultados obtidos na caracterização reológica realizada para três tipos de PP, virgem, reciclado industrial e resíduo urbano (garrafa de água mineral), também já foram publicados e encontram-se em MANRICH, MARUCA & MORITA (1997). Observou-se que a viscosidade da amostra de PPres.urb. é a que apresentou o maior valor, apesar de ter sido retirada de material pós-consumo.

Conforme já comentado, essas diferenças são devido principalmente ao fato do *grade* de polipropileno utilizado ser específico para garrafas, ao contrário dos dois outros casos, PPvir e PPre.ind, os quais são específicos para filmes. Observou-se também que os valores de viscosidade apresentados pelo PPres.urb. não são tão mais altos em comparação com os de PPvir, principalmente sob taxas altas de cisalhamento.

Os valores do índice n , determinados por meio da lei das potências: $n=0,33$ para o PPvir, $n=0,46$ para o PPre.ind e $n=0,31$ para o PP de resíduo urbano. Neste caso, como o índice n do PPres.urb. foi o de menor valor ($n=0,31$), este material irá apresentar uma diminuição maior na viscosidade para um mesmo aumento de $\dot{\gamma}$, comparado aos demais. Este valor de n , no entanto, é muito próximo daquele do PP virgem ($n=0,33$). Isso confirma a possibilidade de se utilizar os mesmos equipamentos e as mesmas condições para a obtenção do filme de PP de resíduo urbano.

Com o objetivo de verificar o efeito da variação na granulometria da carga CaCO_3 , principalmente nas propriedades óticas e de receptividade a tintas (formação de microcavitações), resolveu-se utilizar uma carga com granulometria menor. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise granulométrica para os dois tipos de carga.

Tabela 1. Distribuição granulométrica das partículas de carga CaCO_3

Origem: Polibrasil Resinas (PBR)		Origem: Química Barra do Pirai (QBP)	
Diâmetro esférico equivalente (μm)	Porcentagem em massa cumulativa (%)	Diâmetro esférico e equivalente (μm)	Porcentagem em massa cumulativa (%)
2,00	6,00	0,76	6,00
4,10	20,0	1,15	20,0
6,90	40,0	1,60	40,0
10,4	60,0	2,30	60,0
14,5	80,0	3,70	80,0
18,0	90,0	5,15	90,0
21,0	95,0	7,40	95,0

Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.75)

A Tabela 1 mostra uma diferença significativa no tamanho das partículas entre os dois tipos de carbonato. Mais de 80% das partículas do CaCO_3 QBP apresentam tamanho menor do que os 20% menores do CaCO_3 PBR. Conforme será comentado posteriormente, essa diferença teve uma influência significativa nas características dos compósitos e na fabricação do papel.

Os valores de índice de fluidez obtidos após a formulação dos compósitos de PP com carga e aditivos foram: 2,78; 9,17; 1,26 e 1,10 g/10 min para PPvir/20% CaCO_3 PBR; PPre.ind./40% CaCO_3 PBR; PPre.urb./40% CaCO_3 PBR e PPre.urb./40% CaCO_3 QBP, respectivamente

Com esses dados verificou-se que, possivelmente, o compósito de PPvir não apresentaria dificuldades na obtenção de filmes soprados, uma vez que a sua fluidez (2,78 g/10 min) não diminuiu acentuadamente comparada com a do PP virgem sem carga (4,11 g/10 min). O índice de fluidez relativamente baixo para ambos os compósitos de PPre.urb. e muito elevado para o compósito PPre.ind./ CaCO_3 poderiam acarretar em dificuldades na obtenção do filme, provocando pressões maiores ou rupturas do filme tubular. Conforme previsto, o processo de extrusão de filme soprado para o compósito de PPvir não apresentou qualquer

dificuldade. Foram utilizadas as condições usuais para o processamento do PP virgem puro. Ao longo do processamento, foram adicionados concentrados de TiO_2 , de forma que a sua proporção chegou a triplicar, isto é, passou de 0,3% para 1,0%. Quando este processamento foi aplicado ao PP reciclado industrial surgiram problemas, e não foi possível a obtenção de um filme homogêneo. Além disso, o filme tubular (bolha) rompeu relativamente rápido, de forma que não se conseguiu grande quantidade de amostra do papel sintético de PPre.ind. Para o PPres.urb./ CaCO_3 PBR, por outro lado, apesar do baixo valor do índice de fluidez, o seu processamento ocorreu nas mesmas condições do compósito de PPvir sem problemas.

Já a quarta formulação constituída por PP res.urb./ CaCO_3 QBP, apesar de ter sido tratada nas mesmas condições da terceira formulação e ter apresentado um índice de fluidez bastante próximo daquela, não foi possível a obtenção de papel a partir dela. No momento da formação da "bolha" a partir da matriz da extrusora, sequer formou um filme tubular.

As partículas muito finas do carbonato da Química Barra do Pirai (Rio de Janeiro) formaram aglomerados, impedindo uma dispersão homogênea do pó. Assim, apesar do índice de fluidez ter sido próximo ao do compósito anterior, os aglomerados não permitiram a formação de um filme contínuo de PP.

*** Caracterização do Papel Sintético**

Na Tabela 2 estão listados os resultados de densidade e de tensão máxima para início de rasgamento, para amostras de diferentes tipos de papel. Esta última determinação foi feita em duas direções quando possível, longitudinal e transversal à da extrusão, para os filmes de PP e em uma única direção para diferentes tipos de papel celulósico.

Tabela 2. Valores de densidade e de tensão máxima para início de rasgamento de diferentes tipos de papel.

Papel	Espessura (µm)	Densidade (g/cm ³)	Direção	Espessura (µm)	Tensão Máxima (N)
PPvir	63,3	0,84	Longitudinal	66,1	7,45
			Transversal	64,5	7,26
PPrec.ind.	68,3	0,72	Longitudinal	73,0	5,76
			—		
PPres.urb.	67,0	0,82	Longitudinal	67,1	4,88
			Transversal	65,0	4,00
Celulósico (caderno)	66,7	0,74	—	84,0	11,50
Celulósico (sulfite)	97,3	0,79	Tipo1	112,0	21,20
			Tipo2	121,0	19,80

Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.78)

A densidade mais alta foi apresentada pelo filme de PPvir, apesar da proporção de CaCO₃ ter sido a metade da usada nos demais. O papel de PPrec.ind apresentou a densidade mais baixa, provavelmente devido à presença de muitos vazios. Esses vazios não se constituíram de microcavitações, que seriam desejáveis, conforme será verificado posteriormente. O papel de PPres.urb. (terceira formulação) era de um filme homogêneo, sem vazios ou "buracos", que levariam à obtenção de uma densidade mais baixa. Apesar de a densidade ser bem próxima da de um papel sulfite (celulósico), a rigidez do papel de PPres.urb., do mesmo modo que os demais papéis sintéticos, é menor.

Verifica-se pela Tabela 2 que as espessuras dos filmes sintéticos são na maioria dos casos menores do que as dos celulósicos, e as respectivas resistências ao rasgamento também. A menor espessura foi obtida com o PP de resíduo urbano (garrafa de água mineral). Conforme já comentado anteriormente, a rigidez do papel de PPres.urb. é bem baixa também. Os filmes mais finos, entretanto, não justificam essa diferença significativa nas propriedades mecânicas do papel sintético e celulósico. É possível que a norma utilizada para o ensaio de rasgamento, sendo específica para filmes plásticos, não tenha sido adequada para essa comparação.

A deformação permanente sob calor (DPC) e a opacidade para os três diferentes tipos de papel sintético são dadas na Tabela 3. A DPC foi avaliada em termos da variação no aspecto, cor e variações na massa e dimensão das amostras e a opacidade, em termos de porcentagem de luz transmitida (%T).

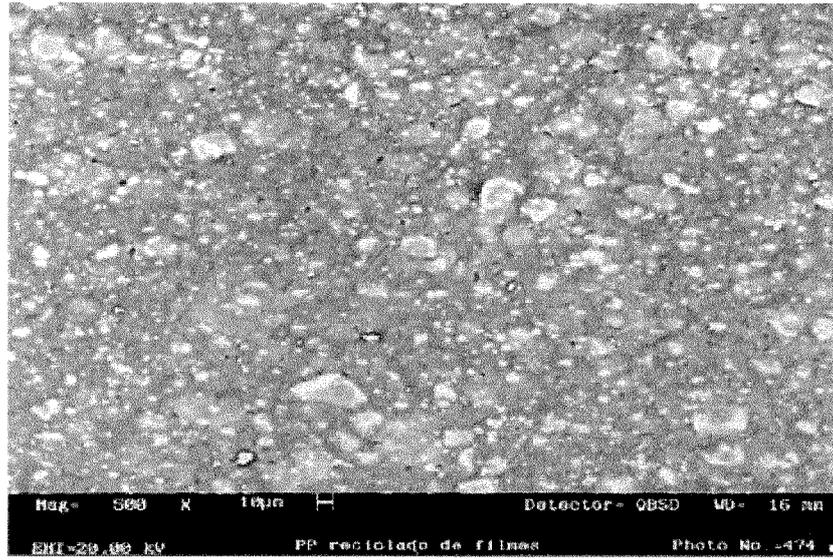
Tabela 3. Resultados do teste de deformação permanente sob calor (DPC) e de opacidade.

Papel	DPC dimensões (%)	DPC em massa (%)	Opacidade (%T)
PPvir	0	0,18	48,0
PPrec.ind	0	0,25	80,0
PPres.urb.	0	0,22	61,0
Celulósico (sulfito)	—	—	20,1

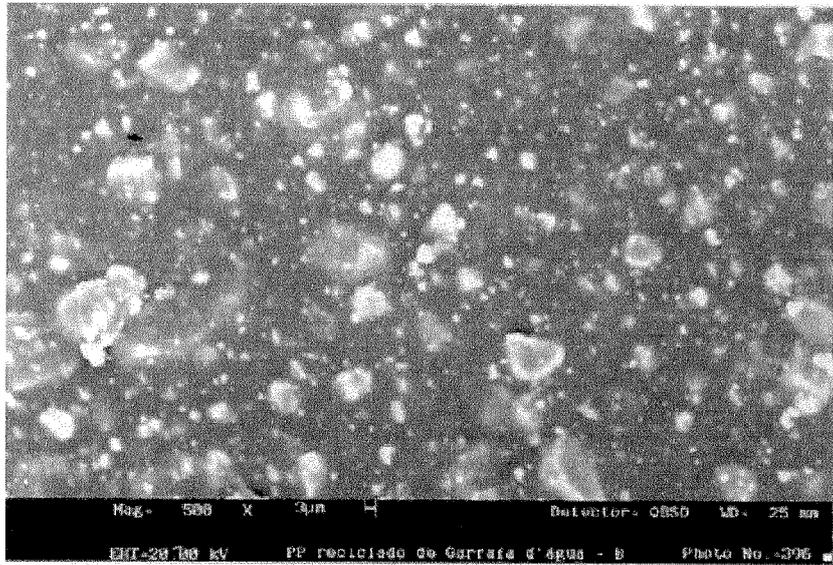
Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.79)

Apesar de ter observado perda de massa em proporções muito baixas, no ensaio de DPC, não foi possível detectar qualquer variação nas dimensões dos diferentes tipos de papel. Não foi observado também qualquer alteração na cor e no aspecto, nem mesmo um encolhimento provocando enrugamento, o que poderia ser esperado. Na prática, verificou-se que a opacidade não é muito boa para os filmes de PPre.ind e Pres.urb., porém o aspecto é semelhante ao papel natural. A opacidade do filme de PPvir é comparável à do papel celulósico, apesar da diferença nos valores da Tabela 3, porém este filme apresentou brilho, com um aspecto muito próximo de plástico.

As micrografias apresentadas na Figura 1 mostram a superfície do papel de PPre.ind. e PPre.urb., onde se confirma uma boa dispersão das partículas de carga nos dois casos e a presença de vazios em grande proporção, no primeiro caso. É possível verificar também que as partículas de carga, na superfície, ficam recobertas por uma fina camada de polipropileno.



(a)



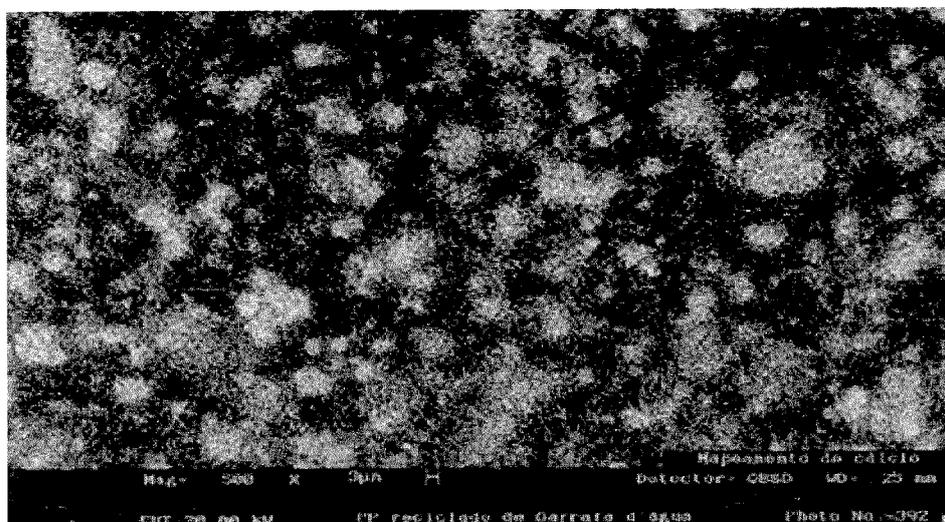
(b)

Figura 1. Micrografia da superfície de dois papéis sintéticos: (a) PP reciclado industrial e (b) PP de resíduo urbano (garrafa de água mineral).

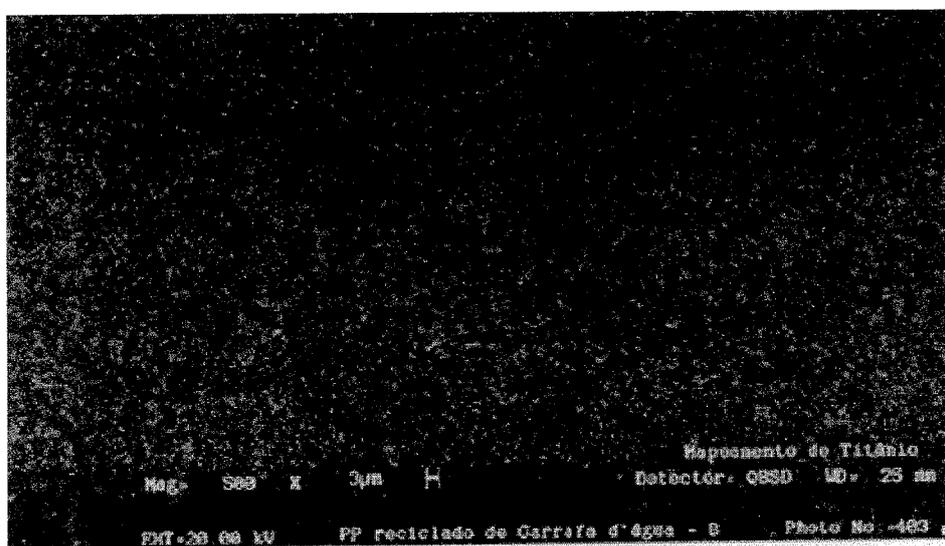
Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.80)

Os resultados da microanálise EDS feita em PPrec.ind. e PPres.urb. mostraram outros tipos de partículas normalmente presentes em uma composição típica de CaCO_3 , MgCO_3 e SiO_2 . Novamente se observa uma distribuição bastante homogênea, com algumas regiões de concentração associadas às partículas ou aglomerados de partículas. Tendo-se determinado a granulometria da carga, foi possível confirmar que essas regiões de concentração são devidas às partículas maiores. Isto pode ser verificado comparando-se os

dados da Tabela 1 e Figura 1 com a Figura 2(a), onde se mostra o mapeamento de papel PPres.urb. em termos do elemento Cálcio.



(a)



(b)

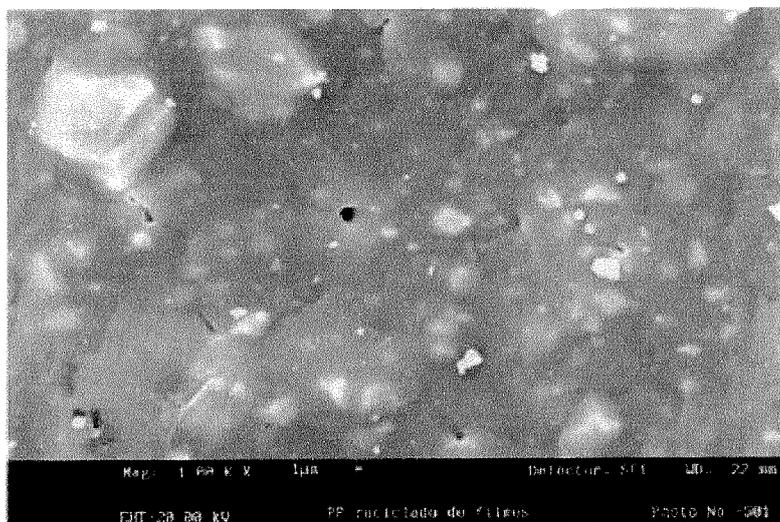
Figura 2. Microanálise por EDS no papel de PPres.urb.: (a) Ca (CaCO_3),
(b) Ti (TiO_2).

Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.82)

A varredura feita com os elementos Magnésio, Silício e Titânio confirmou uma distribuição homogênea da carga e do pigmento, conforme pode ser observado na Figura 2(b) para o pigmento branco de Ti. Verifica-se que o mapeamento desse pigmento, que não faz parte da composição de CaCO_3 , apresenta um distribuição totalmente homogênea e sem

regiões de concentração, ao contrário dos elementos Mg e Si, que se concentraram nas mesmas posições do Cálcio, apesar de em proporções menores.

Os vazios no PPre. ind. foram considerados "buracos" ou "furos", uma vez que apenas aqueles com 50 a 1.500 Å (0,0050 a 0,15 µm) são considerados microcavitações. Os vazios observados nesse papel, por outro lado, medem 3 a 5 µm, em média. Além disso, as microcavitações formam-se na interface polímero/partículas de carga, como uma consequência da orientação ao estirar o filme. Na Figura 3(a), é nítido que os vazios se formam na matriz polimérica.



(a)



(b)

Figura 3. Vazios na superfície do papel sintético: (a) buracos no PPre.ind e (b) microcavitações no PPre.urb.

Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.85)

A Figura 3(b), mostra o que pode ser considerado como microcavitações e que foram encontrados no papel de PPres.urb. Os vazios chegam a ter no máximo 0,4 mm e se formam na interface polímero-partícula de carga. Estes vazios, porém, apareceram em quantidades desprezíveis, pelo menos na superfície.

A Figura 4 mostra uma micrografia da superfície de papel de PPres.urb., onde foi realizado um teste de escrita com grafite. Apesar dessa micrografia apresentar uma imagem em que o grafite parece estar totalmente solto na superfície, este papel apresentou uma boa receptividade e retenção do grafite. O mesmo ocorreu com o papel de reciclado industrial, ao contrário do de PP virgem.

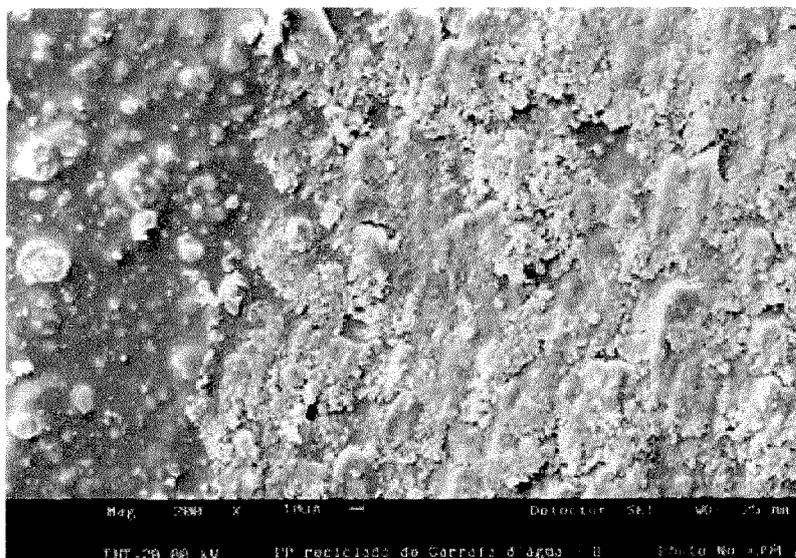


Figura 4. Grafite sobre a superfície do papel de PPres.urb.

Fonte: Revista Celulose e Papel (2000, p.86)

Para os três tipos de papel sintético, foram realizados testes com diferentes formas de escrita e impressão: grafite, caneta esferográfica, tinteiro e hidrográfica, e impressoras matricial, jato de tinta e laser. Para os papéis de PPres.urb. e PPre.ind., foi possível a escrita com grafite e caneta esferográfica, impressão matricial e , após tratamento corona, impressão com jato de tinta apenas para o de resíduo pós-consumo. Para o papel de PPvir, não foi possível obter escrita ou impressão de qualidade, mesmo que razoável.

Os resultados obtidos neste primeiro estudo motivou a sua continuidade, principalmente com relação ao desenvolvimento de inovações tecnológicas, utilizando outros materiais e processos alternativos, visando o melhoramento das propriedades mecânicas e de superfície, com a formação de microcavitações e aumento da energia superficial. Esses resultados deverão ser publicados no futuro.

CONCLUSÃO

Com o presente estudo pode-se comprovar que a utilização e a consolidação de materiais plásticos como embalagens de alimentos mostra indiscutíveis vantagens em relação a outros tipos de materiais. O volume descartado de embalagens plásticas pós-consumo no ambiente sem destinação racional, tem preocupado a sociedade quanto ao ajuste, implementação e adequabilidade de intervenções, notadamente sob os aspectos social, econômico e sanitário-ambiental, ponderado o seu excelente desempenho e vantagens como embalagens de alimentos.

O aproveitamento dos materiais plásticos após a sua utilização como embalagem de alimentos deve ser proposta como uma atividade empresarial economicamente viável

A reutilização ou retornabilidade de embalagens, a recuperação de resinas constituintes de materiais plásticos, a transformação energética, nessa ordem, apresentam-se como processos de reciclabilidade de materiais plásticos com empenho contextualizado mundialmente, demandando regulamentação pertinente, implementação de tecnologias adequadas e ambientalmente seguras, bem como de esforços integrados de governos, sociedade, órgãos de pesquisa e empresas.

Os conceitos de degradabilidade ambiental e análise do ciclo de vida devem ser considerados no desenvolvimento de novos materiais e na planificação de embalagens plásticas primárias de alimentos, considerado o dilema entre a eficiência preconizada para a embalagem como fator de conservação do alimento e a compatibilização de fatores que predisponham e acelerem sua degradação ambiental pós-consumo.

Programas integrados de fomento à reciclagem devem considerar incentivos aos sistemas de coleta seletiva, isenção de tarifas e impostos na comercialização de produtos reciclados e sanções legais aos agentes ou ações que comprometam o sistema, sob o ponto de vista social, técnico e sanitário-ambiental.

Entre os três tipos de PP utilizados como matéria prima para a confecção do papel sintético, o reciclado industrial apresentou um estágio mais avançado de degradação, o que resultou em altíssimo índice de fluidez. Isso provocou dificuldades no processo de extrusão sopro de filmes, levando à obtenção de um filme com muitos vazios na forma de furos.

Este trabalho mostrou ser viável reciclar garrafas sopradas de PP pós-consumo por meio de extrusão de filmes de compósitos altamente carregados, para obtenção de papel sintético com várias características de papel celulósico.

As microcavitações necessárias para a receptividade a tintas praticamente não se formaram na superfície do papel sintético. Isto não impediu, entretanto, que os papéis de PPrec.ind. e de PPres.urb. apresentassem receptividade e retenção a alguns tipos de escrita: grafite e esferográfica. Para o PPres.urb., foi possível também a impressão matricial e jato de

tinta preta, porém não é compatível com tintas ou adesivos à base de água, devido à natureza apolar da matriz polimérica.

Os resultados bastante positivos da presente pesquisa indicam ser viável a fabricação de papel sintético para substituição do papel celulósico, a partir do reaproveitamento de resíduos plásticos urbanos. Vários aprimoramentos, no entanto, estão sendo feitos como aumento da rigidez aliado a uma diminuição na densidade, bem como ao aumento na opacidade e receptividade a outros tipos de escrita e impressão.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
JUIZ DE FORA - UNIPAC
Rua Dr. José Cesário, 175 -
Juzizópolis - MG - CEP 36025-070

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANFPC-UNIPRESS. *"Corrida Contra o Relógio"*. Revista Celulose e Papel, ANFPC-UNIPRESS, Ano XIII, n. 55, agosto-setembro (1996).
- ANFPC-UNIPRESS. *"Números do Setor: O Balanço de 1998, Perspectivas para 1999"*. Revista Celulose e Papel, ANFPC-UNIPRESS, Ano XV, n. 64, março-abril (1999).
- ASSOCIAÇÃO Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (ABEPET) & Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) - *"Reciclagem & Negócios - PET"*, 1999.
- BAYER, Fabiano Levi. *Food Additives and Contaminants*, Campinas: Unicamp. Dossiê Ambiental. n. 14 (6/7), p.661. 1997.
- BEGLEY, T.H. & HOLLIFIELD, H.C. "Food Packaging Made from Recycled Polymers: Functional Barrier Considerations", in: *Plastics, Rubber, and Paper Recycling: a Pragmatic Approach.*, Washington: American Chemical Society. 1995.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR). *"NBR 13230 - Reciclabilidade e identificação de materiais plásticos"*. 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico - *Embalagens Descartáveis de Polietileno Tereftalato - PET Multicamada Destinadas ao Acondicionamento de Bebidas não Alcoólicas Carbonatadas*. Portaria n. 987, de 8 de dezembro de 1998 - Diário Oficial da União, 1998.
- BRASIL. Ministério da Saúde / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico - *Disposições Gerais para Embalagens e Equipamentos Plásticos em Contato com Alimentos*. Resolução n. 105, de 19 de maio de 1999 - Diário Oficial da União, 20 de maio 1999.
- BRISTON, J. H. & KATAN, L.L. *"Plastics and the Environment"*, in: *Plastics in Contact with Food*. Anchor Press, London, 1999..
- BROWN, W.E. *"Package disposal"*, in: *Plastics in Food Packaging - Properties, Design and Fabrication*, cap.12, Marcel Dekker, New York. 1992.
- CEMPRE, São Paulo (1997). WALLIS, G. - "A evolução do mercado brasileiro de embalagem e sua inserção no mercado internacional", in: *Anais Brasil Pack Trends 2005*. Seminário Embalagem, Distribuição e Consumo, Campinas-São Paulo, 2000.

- CEMPRE. *Compromisso Empresarial para Reciclagem* - Disponível na on line: <http://www.cempre.org.br>. acesso em 12/11/2002.
- DESAI, S.C. - "Synthetic Writable Paper - a Need of the Time". *Pop.Plast.Packag.*, v.39, n. 11, novembro, 1994.
- FAIRLEY, M. - "Plastics, Partnerships and Profitability". *Packag.Week*, v.9, n.13, setembro 1993.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. "Meio Ambiente". *Boletim Fundação Vanzolini*, Ano IX, n. 42, março-abril, 2000.
- FRANZ, R.; HUBER, M. & WELLE, F. - *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 94 (9), p.303, 1998.
- FREIRE, M.A.F.; Reyes, F.G.R.; Kusnesof, P.M. & Vettorazzi, G. - *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, (4), p.42, 1998.
- GARCIA, E.E. - *Boletim Técnico do Centro de Tecnologia de Embalagem*, 10 (1), p.8. 1998.
- GODDARD, R.R. - *European Food & Drink*, 57(59/61), 1996.
- HUBER, M. & FRANZ, R. - *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 93(10), p.328, 1997.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) / *Laboratório de Embalagem e Acondicionamento (LEA)* - *Revista Embalagem & Cia*, 107, p.34, 1997.
- JETTEN, J; KRUIJF, N. de & CASTLE, L. - *Food Additives and Contaminants*, 16(1), p.25 (1999). SADLER, G.D. - "Recycling of Polymers for Food Use: a Current Perspective", in: *Plastics, Rubber, and Paper Recycling: a Pragmatic Approach*. American Chemical Society, Washington, 1995.
- LIN, A.F. - "Process of 3-Layer Co-Extruded Biaxial Oriented Polypropylene (BOPP) Synthetic Paper". Patent US005552011A, Publication 03/setembro, 1996.
- MADI, L.; MÜLLER, M. & WALLIS, G. "Brasil Pack Trends 2005. Tendências da Indústria Brasileira de Embalagem na Virada do Milênio", CETEA/ITAL, Campinas. 1998.
- MANRICH, S.; MARUCA, A.; MORITA, A.K.M. - "Caracterização de Polipropileno de Resíduo Urbano e Industrial Visando Reciclagem Mecânica Posterior", in: *Anais do 4º Congresso Brasileiro de Polímeros*, p.805, Salvador - BA, set/out. 1997.
- MARUCA, A.; MANRICH, S. - "Caracterização de Polipropileno Reciclado de Diferentes Origens Visando a Obtenção de Papel Sintético", in: *Anais do IV Congresso de Iniciação Científica-UFSCar*, p.76, São Carlos - SP, 7-9, outubro, 1996.
- MUSTAFA, N. - "Plastics Waste Management: Disposal, Recycling, and Reuse". Marcel Dekker, Inc., New York, 1993.
- OHNO, A. - "Synthetic Paper with Multilayer Structure and Excellent Printing Property". Patent EP0685331A1, Publication 06 dezembro, 1995.
- SELKE, S.E.M. - "Packaging and the environment alternatives, trends and solutions". Lancaster, Inglaterra, 1990.
- TACITO, L.D. "Polymer Recycling Technology for Food Use Technical Requirements to Meet Safety and Quality Assurance", in: *American Chemical Society, Washington (1995)*.
- SHIMADA et al. - "Polyamide Solution Composition and Methods for Producing Fibrils and Paper-like Sheets Using the Same". Patent EP722987A1, Publication 24 de julho de 1996.