GESTÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO: PERSPECTIVAS PARA A RECICLAGEM NO BRASIL

Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: Alessandra Magrini

Rio de Janeiro
Março de 2012

GESTÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO: PERSPECTIVAS PARA A RECICLAGEM NO BRASIL

Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

_____
Prof. Alessandra Magrini, D.Sc.

_____
Prof. Marco Aurélio dos Santos, D.Sc.

_____
Prof. José Carlos Costa da Silva Pinto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2012

De Oliveira, Maria Clara Brandt Ribeiro

Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas para a Reciclagem no Brasil / Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIII, 91 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Alessandra Magrini

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 76-86.

1. Plástico. 2. Reciclagem. 3. Reciclagem no Brasil. 4. Gestão de Resíduos Sólidos I. Magrini, Alessandra II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Aos meus pais, que prezam por uma educação de qualidade e sempre me apoiaram nas minhas decisões acadêmicas, e à minha avó, Lusmila, que estaria muito orgulhosa neste momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, pelo apoio emocional e financeiro, além de serem as pessoas mais importantes da minha vida

À minha avó, a quem também dediquei este trabalho, pois ela faz muita falta e cuidou muito bem de mim em todos estes anos de graduação e mestrado que estive no Rio morando com ela

À minha orientadora, Alessandra Magrini, por achar tempo em sua vida corrida para me orientar, e gritar menos comigo do que seria merecido

Aos meus irmãos, que estiveram mais próximos a mim principalmente nesta época mais difícil

Aos diversos amigos que fiz no PPE

Aos amigos da biologia, principalmente da turma de 2005/1, por tudo que eles representam

Aos amigos de fora, de Brasília e Minas em especial, por todas as diversões e convites para sair do enclausuramento e viajar

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

GESTÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO: PERSPECTIVAS PARA A RECICLAGEM NO BRASIL

Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira
Março/2012

Orientador: Alessandra Magrini

Programa: Planejamento Energético

O aumento da produção mundial de plásticos e a falta de programas de gestão adequada de resíduos pós-consumo resultam no descarte inadequado e na sua disposição nos ambientes terrestres e aquáticos, causando inúmeros impactos ambientais e afetando, inclusive, a saúde humana. Como bens duradouros, os plásticos tendem a permanecer por muito tempo onde forem depositados. Por seu alto poder calorífico, versatilidade e resistência, os plásticos devem ser tratados como matéria-prima pós-consumo e não como lixo. Após o seu descarte, as possibilidades corretas de destinação incluem reuso, redução, reciclagem, incineração e, como opção menos favorável, a disposição em aterros. O Brasil ainda possui uma gestão inadequada de resíduos sólidos, por isso a maior parte dos resíduos urbanos ainda segue para aterros ou lixões. Os índices brasileiros de reciclagem de plásticos têm crescido, mas persistem dificuldades, por causa da falta de programas de coleta seletiva, falta de incentivos às recicladoras e aos catadores, além do descaso dos governos e da população. A reciclagem mecânica é apontada, então, como uma das soluções para o tratamento dos plásticos pós-consumo no país, devendo ser analisadas suas vantagens, desvantagens e as restrições desse processo. Práticas internacionais de gestão e reciclagem devem ser observados para servirem de parâmetro para as mudanças nacionais necessárias.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

POST-CONSUMER PLASTICS RESIDUES MANAGEMENT: PERSPECTIVES FOR BRAZILIAN'S RECYCLING

Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira
Março/2012

Advisor: Alessandra Magrini

Department: Energetic Planning

The growth in the world plastic production and the lack of management programs for this type of waste results in inadequate disposal and production of litter in terrestrial and aquatic environments, causing damage to nature, animals and human beings.. Plastics are very durable and tend to persist for long periods of time. For its high calorific power, versatility and resistance, plastics should be treated as raw materials instead of simple waste. After the discard, the correct destination options include re-use, reduction, recycling, incineration and, as the least preferred option, landfilling. Brazil has not yet developed a good solid waste management system, therefore most of it still goes to landfills and garbage dumps. Brazilian´s rates of plastics recycling have shown some growth, but there are lots of difficulties related to the lack of selective garbage collection few incentives to recyclers, scavengers and indiference of both government and people. Mechanical recycling is pointed out as one of the solutions for the management of post-consumer treatment of plastics in the country., It is necessary to thoroughly analyze the advantages and restrictions of this process. Internacional management and recycling practices must be observe and used as parameters for necessary national changes.

SUMÁRIO

1. Introdução.....1
2. Os plásticos: cadeia produtiva, aplicações e mercado.....4
2.1. A cadeia produtiva dos plásticos.....4
2.2. Breve panorama sobre produção e consumo de plásticos.....7
2.2.1. Panorama Internacional.....7
2.2.2. Panorama Nacional.....12
3. O resíduo plástico e suas destinações pós-consumo.....15
3.1. Os resíduos sólidos e os resíduos plásticos.....15
3.2. As destinações pós-consumo dos resíduos plásticos.....17
3.3. Reciclagem de plásticos.....22
4. Legislação Internacional e dados da reciclagem de plásticos.....29
4.1. Legislação e fatores indutores.....29
4.2. Dados da reciclagem de plásticos na União Europeia e Estados Unidos.....37
5. Legislação Nacional e dados sobre a reciclagem de plásticos.....40
5.1. Legislação e fatores indutores 40
5.2. Dados da reciclagem de plásticos no Brasil.....46
6. Vantagens, Desvantagens e Perspectivas da Reciclagem.....54
6.1. Um estudo internacional.....54
6.2. Um estudo nacional.....60
6.3. Um quadro geral.....68
7. Considerações finais e proposições.....73
8. Referências.....76
Anexo 1.....87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Esquema de produção dos produtos plásticos a partir da nafta.....6

FIGURA 2. Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência.....17

FIGURA 3. Produção e rotas de destinação de plásticos.....18

FIGURA 4. Fluxograma das etapas da reciclagem mecânica.....21

FIGURA 5. Fluxograma das etapas da reciclagem energética.....22

FIGURA 6. Diagrama do ciclo de vida do plástico na Europa.....38

FIGURA 7. Representação do modelo adotado pelo IPEA para estimativas dos custos econômicos.....61

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. Produção mundial de plástico em 2010.....7

GRÁFICO 2. Demanda europeia por segmento de plásticos em 2010.....8

GRÁFICO 3. Demanda europeia por tipo de resina em 2010.....8

GRÁFICO 4. Demanda americana de plásticos por segmento em 2010.....10

GRÁFICO 5. Demanda dos Estados Unidos por tipo de resina.....10

GRÁFICO 6. Produção e consumo de transformados plásticos no Brasil (2000-2010).....12

GRÁFICO 7. Demanda brasileira por tipo de resina em 2010.....12

GRÁFICO 8. Índice de reciclagem de plásticos pós-consumo em 2010 por tipo de resina.....53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Principais resinas plásticas e suas aplicações.....87

TABELA 2. Produção mundial de plásticos em milhões de toneladas.....7

TABELA 3. Comparação do panorama dos plásticos entre UE, EUA e Brasil.....14

TABELA 4. Poder calorífico de alguns plásticos e outros combustíveis.....25

TABELA 5. Código de cores dos resíduos sólidos recicláveis.....49

TABELA 6. Número de empresas recicladoras de plástico e cooperativas de catadores por estado e por capital.....52

TABELA 7. Número de empresas recicladoras de plástico por região e representatividade no total de empresas.....53

TABELA 8. Alternativas de disposição final dos plásticos para os casos apresentados.....56

TABELA 9. Análise da influência do tempo na performance dos aterros.....59

TABELA 10. Estimativa dos benefícios econômicos associados à redução do consumo de insumos.....62

TABELA 11. Custos dos insumos para produção primária, preços de produtos e preços de sucata.....63

TABELA 12. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução do consumo de energia.....64

TABELA 13. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução da emissão de GEEs.....65

TABELA 14. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução do consumo de água.....66

TABELA 15. Estimativa dos benefícios ambientais gerados pela reciclagem.....67

SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABIPLAST- Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CO_2 – Dióxido de Carbono

ConCidades – Conselho das Cidades

COMLURB - Companhia de Limpeza Urbana

CRF - Código de Regulamentos Federais

EPA - *United States Environmental Protection Agency*

EQ - Instituto de Química

EVA - Etil Vinil Acetato

EUA - Estados Unidos da América

EuPR - Recicladores europeus de plástico

GEE - Gases de Efeito Estufa

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

NBR - Norma Brasileira

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEBD - Polietileno de Baixa Densidade

PET - Polietileno Tereftálico

PlanSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

PP - Polipropileno

PS - Poliestireno

PRNS - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PU - Poliuretano

PVC - Policloreto de Vinila

RCRA - *Resource Conservation and Recovery Act*

REACH - Regulamentação de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Químicos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SIQUIM - Sindicato dos Profissionais de Química do Paraná

SPI - *Society of Plastics Industry*

SWDA - *Solid Waste Disposal Act*

UE- União Europeia

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

WRAP - *Waste and Resources Action Programme*

1. Introdução

Desde 1600 antes de Cristo, os humanos vêm se beneficiando do uso de polímeros, utilizando a borracha natural para fazer bolas e outros objetos (HOSLER *et al.*,1999). Nos anos seguintes, o homem continuou a usar o plástico e a borracha de forma cada vez mais intensiva, primeiro experimentando com polímeros naturais, cera, borrachas naturais e resinas, até o século dezenove, quando o desenvolvimento dos termoplásticos modernos se iniciou.

Em 1839, Charles Goodyear inventou a borracha vulcanizada, e um boticário alemão descobriu o poliestireno. Os trabalhos com polímeros naturais e sintéticos continuaram durante o século dezenove e foram desenvolvidos materiais tais como o PVC (cloreto de polivinila), que possui diversas aplicações, e a viscose, utilizada na fabricação de roupas. A expansão do desenvolvimento dos plásticos modernos se deu efetivamente nos primeiros cinquenta anos do século vinte, com pelo menos quinze novos tipos de polímeros tendo sido sintetizados nesse período (ANDRADY e NEAL, 2009).

A indústria dos plásticos está em desenvolvimento constante, com o surgimento de tecnologias para atender às novas demandas que surgem a cada dia, e não é surpresa que a produção mundial de plástico tenha chegado aos 265 milhões de toneladas em 2010. Os plásticos são materiais produzidos a partir do petróleo, matéria-prima bastante explorada no mundo, baratos, duráveis e versáteis, o que facilita o desenvolvimento de produtos e beneficia a sociedade em diversas maneiras. Os plásticos podem, inclusive, diminuir o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa em diversas circunstâncias em comparação com as alternativas do mercado, ou fazerem isso independentemente da concorrência, como no caso de isolamentos térmicos e aplicações em sistemas de geração de energia solar e fotovoltaica (PLASTICS EUROPE, 2011).

Apesar dos diversos benefícios que o plástico traz para a sociedade, os seus resíduos são prejudiciais. O grande volume dos materiais plásticos, a enorme quantidade de descarte pós-consumo e os impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos resíduos, que não são biodegradáveis, são apenas alguns dos problemas a serem citados. Além disso, os plásticos podem causar danos à saúde dos seres humanos e dos animais, principalmente por causa dos aditivos e químicos utilizados na sua fabricação. Instrumentos regulatórios destinados a mitigar os efeitos dos plásticos na saúde humana e ambiental precisam seguir seu ciclo, desde a produção, o uso e o descarte.

Em 2010, entrou em vigor no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305, que trata, entre outros, dos resíduos plásticos. A Lei estabelece estratégias para o desenvolvimento sustentável e impõe o sistema de logística reversa, além de tratar do ciclo de vida dos produtos e incentivar o reuso e a reciclagem de materiais, desincentivando a disposição em aterros sempre que haja outra destinação mais favorável ao meio ambiente e à economia de recursos. Países desenvolvidos, como os Estados Unidos e os membros da União Europeia, já estão muito à frente nessas legislações, e buscam formas de tratamento dos seus resíduos cada vez menos impactantes.

O gerenciamento de resíduos plásticos é um ponto crescentemente discutido pelos governos, e o desenvolvimento de alternativas para o reaproveitamento desses materiais é cada vez mais necessário.

Diversos trabalhos apontam que, depois do reuso, a forma mais ambientalmente correta de reaproveitamento dos plásticos é a reciclagem. Existem vários tipos de reciclagem, porém a mais utilizada no mundo é a mecânica.

O objetivo desta tese consiste em propor melhorias de gestão na fase de pós-consumo da cadeia de plásticos no Brasil, abordando, em particular, a reciclagem mecânica. Para tanto, pretende-se analisar o atual quadro do mercado de plásticos no Brasil e no mundo, bem como os procedimentos de gestão e mecanismos legais relacionados aos seus resíduos, visando, assim, identificar as melhores práticas e tendências.

Além da analise do panorama brasileiro, um país e um bloco econômico foram selecionados para as análises internacionais, Estados Unidos (EUA) e União Europeia (UE). Ambas as escolhas basearam-se no desenvolvimento econômico e social avançados deste país e deste bloco econômico, por serem influentes e possuírem mecanismos desenvolvidos de gestão de resíduos. Além disso, a UE representou historicamente, o maior produtor mundial de plásticos, enquanto os EUA constituem o maior consumidor mundial destes polímeros.

Os objetivos puderam ser desenvolvidos a partir de ampla revisão bibliográfica sobre o tema, utilizando livros, internet e artigos científicos.

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, como se segue:

Após a presente introdução, o capítulo 2 traça um panorama do mercado de plásticos, incluindo sua cadeia produtiva, aplicações e o mercado nacional e

internacional. São apresentados dados de produção, demanda, exportação e importação de plásticos, além do número de empresas e de trabalhadores envolvidos.

No capítulo três é feita a descrição dos resíduos sólidos e resíduos plásticos e formas de disposição e tratamento, incluindo redução, reuso, disposição em aterros, incineração e reciclagem. São ainda apresentados os diferentes métodos de reciclagem.

No quarto capítulo são descritas as legislações internacionais, para a União Europeia e os Estados Unidos, relacionadas ao tema da reciclagem de plásticos, os fatores indutores e as ações realizadas. Além disso, o capítulo expõe os resultados obtidos por tais medidas a partir da apresentação dos dados de reciclagem da UE e dos EUA.

O capítulo 5 é dedicado a apresentar um panorama Brasileiro sobre gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e a reciclagem de resíduos plásticos. Nesse são levantadas e discutidas as ferramentas legais e administrativas que regulam a gestão de resíduos sólidos, enfocando os plásticos e a reciclagem. Também são apresentados os dados de reciclagem de plásticos no Brasil e um estudo do IPEA sobre benefícios econômicos a partir da prática da reciclagem.

O capítulo 6 discorre sobre vantagens, desvantagens e perspectivas da reciclagem, e o sétimo e último capítulo apresenta as conclusões e proposições para a reciclagem no Brasil.

2. Os plásticos: cadeia produtiva, aplicações e mercado

Nas últimas décadas, os plásticos revolucionaram as nossas vidas (THOMPSON *et al.*, 2009). Na primeira página do livro "*Plastics*", YARSLEY e COUZENS (1945) *apud* THOMPSON *et al.*, (2009) afirmam que "as possíveis aplicações (dos plásticos) são praticamente inexauríveis". Isso é uma realidade hoje em dia, pois os plásticos estão presentes em praticamente todos os setores da sociedade, incluindo roupas, artigos esportivos, edificações, automóveis, aviões, aplicações médicas, entre muitos outros. A diversidade e a versatilidade dos polímeros facilita a produção de uma enorme variedade de produtos que proporcionam avanços tecnológicos, economia de energia e diversos outros benefícios para a sociedade (ANDRADY e NEAL, 2009).

2.1. A cadeia produtiva dos plásticos

A principal matéria-prima para a fabricação dos plásticos é o petróleo, porém somente 4% da produção mundial de petróleo e gás é usada como matéria-prima para a produção de plásticos, e outros 3 a 4% são usados como energia no processo (HOPEWELL, DVORAK E KOSIOR, 2009, THOMPSON *et al*., 2009).

A cadeia produtiva dos plásticos inicia-se com o uso da nafta, obtida pelo processo de refino do petróleo ou do gás natural, utilizada como matérias- primas para a obtenção de eteno, benzeno, propeno e isopropeno, tolueno, orto/para-xileno, xileno misto, buteno, butadieno e outros petroquímicos básicos. A primeira geração petroquímica é a responsável pela obtenção destas cadeias básicas de hidrocarbonetos, e tal conversão é realizada nas centrais de matérias-primas dos polos petroquímicos. A produção de resinas a partir dos produtos petroquímicos básicos constitui a segunda geração petroquímica. As resinas produzidas são então processadas para a geração de variados produtos nas indústrias de transformação plástica, ou seja, nas empresas da terceira geração petroquímica (SIQUIM/EQ/UFRJ, 2003).

As primeiras duas gerações petroquímicas representam fabricantes de produtos padronizados e com especificações bem definidas, chamados de *commodities*. Por isso, são indústrias que dependem de níveis operacionais elevados, com pouca flexibilidade nos seus processos, demandando grandes quantidades de capital.

As indústrias da terceira geração são intensivas em mão-de-obra, e são as que produzem uma quantidade de produtos maior e mais diversificada. Assim, seus

processos de produção são mais flexíveis, mas a escala de produção é menor do que nas duas gerações anteriores.

Após a produção das resinas, estas devem receber aditivos e plastificantes, tais como pigmentos, corantes, retardantes de chama, antioxidantes, etc., para cumprirem as funções para as quais foram fabricadas, resistirem aos processos de transformação e tornarem-se produtos duradouros. (SIQUIM/EQ/UFRJ, 2003).

Vários são os métodos utilizados na fabricação de produtos plásticos, mas os quatro principais são: extrusão, injeção, sopro e rotação. Cada um desses processos é utilizado de acordo com o que será produzido e a descrição detalhada, que foge ao escopo do presente trabalho, encontra-se no site da *American Chemistry Council* (AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2011). O processo de produção dos plásticos é esquematizado na Figura 1.

Os polímeros plásticos podem ser classificados em dois grandes grupos distintos pelo comportamento térmico durante o processamento: os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são moldáveis, pois amolecem quando aquecidos. Esse processo pode ser repetido inúmeras vezes e a degradação do polímero será mínima. Já os termofixos, não são facilmente moldáveis por aquecimento. Durante o processamento, esses polímeros são moldáveis, mas tornam-se rígidos ao final do processo e resistentes ao aumento de temperatura. Assim, os plásticos termofixos são, normalmente, mais rígidos que os termoplásticos (PARENTE, 2006).

Os principais tipos de polímeros termoplásticos são: acrílicos, celulósicos, etil vinil acetato (EVA), polietileno tereftálico (PET), poliamidas (*nylons*), polietileno (PE), poliestireno (PS), cloreto de polivinila (PVC), policarbonato e polipropileno (PP) (PARENTE, 2006). Desses, os que têm maior volume de produção e preço relativamente baixo são: PET, PVC, PE (alta e baixa densidade), PS e PP (ANDRADY e NEAL, 2009).

Os principais tipos de polímeros termofixos são: aminoplásticos, epóxis, fenólicos (fenol formaldeído), poliésteres e silicones (PARENTE, 2006).

Esses diferentes polímeros, conforme citado anteriormente, destinam-se a uma grande gama de aplicações e suas características são bastante distintas. A Tabela 1, apresentada Anexo 1, reporta os principais polímeros/resinas e suas aplicações.

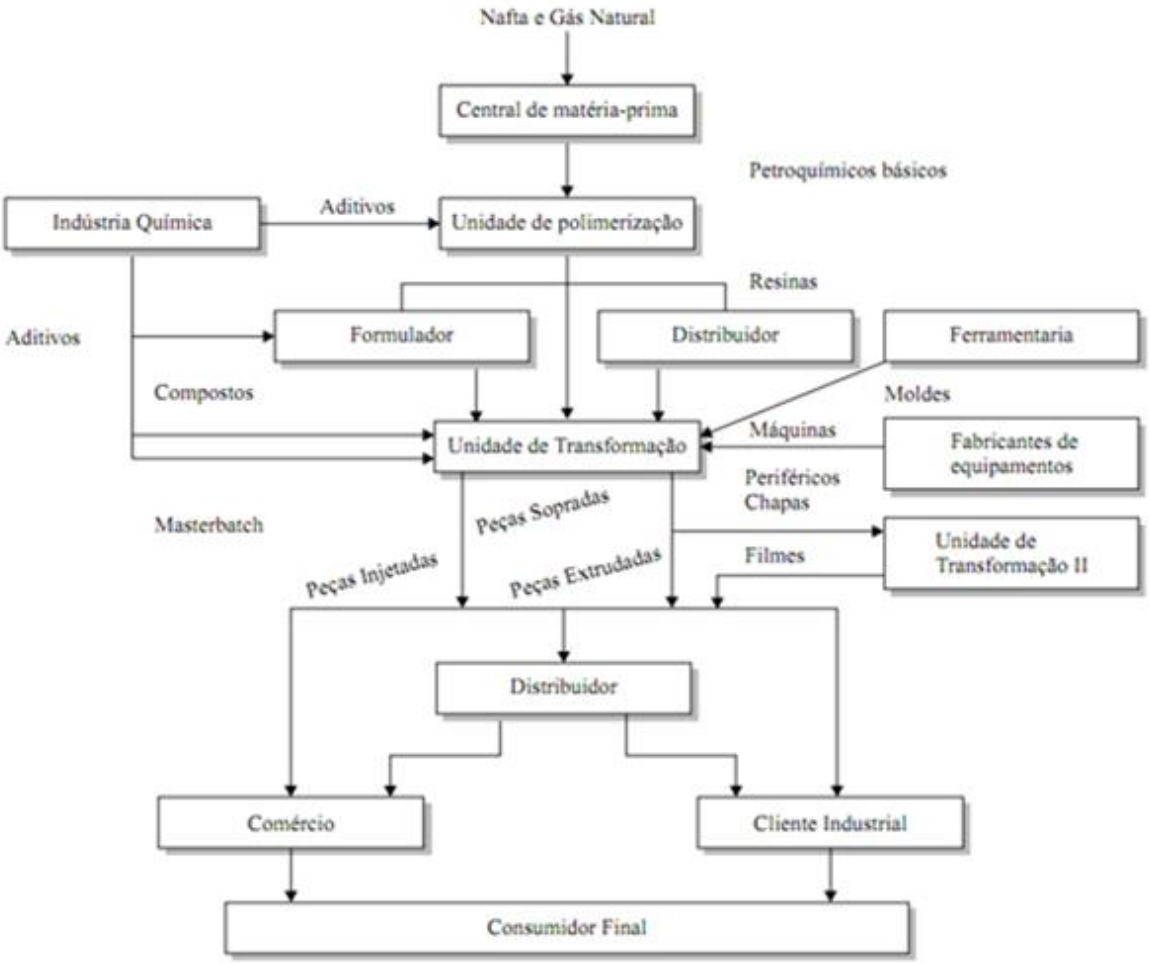

Figura 1. Esquema de produção dos produtos plásticos a partir da nafta.

Fonte: PADILHA, 1999.

2.2. Breve panorama sobre produção e consumo de plásticos

2.2.1. Panorama Internacional

A indústria do plástico vem crescendo continuamente nos últimos 60 anos. A produção mundial cresceu de 1,7 milhão de toneladas, em 1950, para 265 milhões de toneladas, em 2010 (Tabela 2). Destaca-se o aumento exponencial entre os anos 50 e os anos 70, e é possível observar como a produção de polímeros dobrou dos anos 70 para os 90, depois da qual os valores de produção praticamente triplicaram nos anos 2000. Apesar da crise econômica mundial e da queda no consumo e produção de plásticos em 2008 e 2009, o mercado vem se recuperando e a produção de plásticos em 2010 foi recorde, com um crescimento em relação a 2009 de 6% (PLASTICS EUROPE, 2011).

Tabela 2. Produção mundial de plásticos em milhões de toneladas.

Ano	**Produção Mundial de Plásticos**
1950	1,7
1976	47
1989	99
2002	204
2009	250
2010	265

Fonte: Elaboração própria a partir de PLASTICS EUROPE (2011).

Quanto aos diferentes países, o maior produtor mundial em 2010 foi a China, com uma produção de, aproximadamente, 62 milhões de toneladas, seguida pela UE, que produziu aproximadamente 57 milhões de toneladas. O Gráfico 1 apresenta a produção mundial de plástico em 2010 por país (PLASTICS EUROPE, 2011).

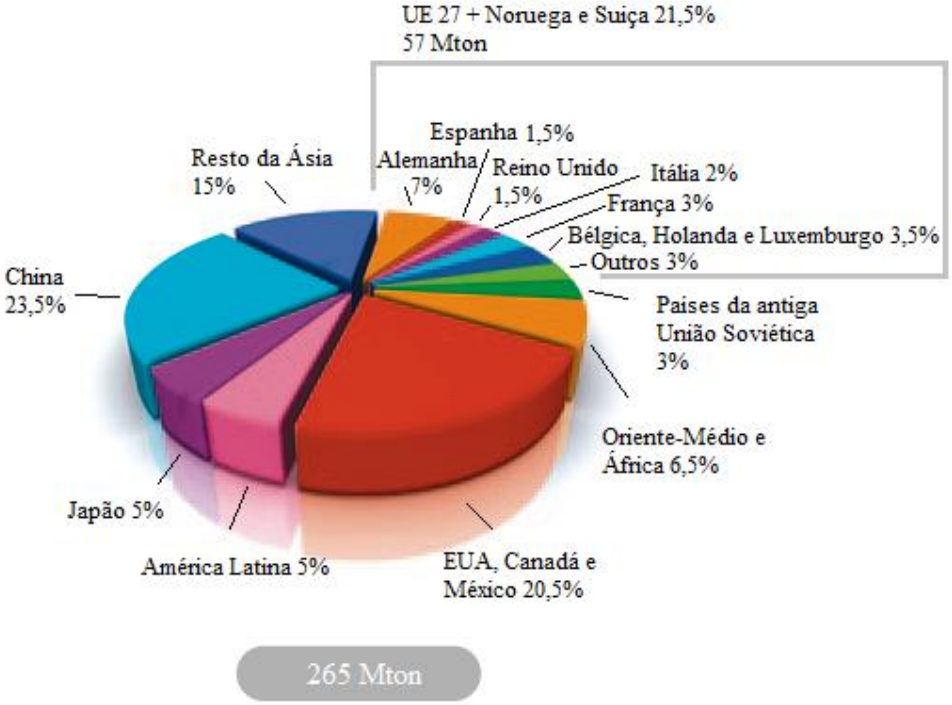

Gráfico 1. Produção mundial de plástico em 2010.

Fonte: PLASTICS EUROPE, 2011.

Tomando como referência a UE, em 2010 a demanda por transformados plásticos foi de 46,4 milhões de toneladas. Tanto a produção total de plásticos quanto a demanda foram maiores do que em 2009 (55 e 45 milhões de toneladas, respectivamente), mas não atingiram ainda os valores de 2007, pré-crise econômica mundial, quando a UE produziu 60 milhões de toneladas de plásticos e a demanda foi de 48,5 milhões de toneladas.

Com relação ao consumo por segmento, a liderança continua com as embalagens plásticas, com uma demanda de 18 milhões de toneladas, seguida por: construção civil (9,55 milhões de toneladas), automóveis (3,5 milhões de toneladas) e equipamentos eletroeletrônicos (2,6 milhões de toneladas). O Gráfico 2 mostra a representatividade destes segmentos no total da demanda europeia. A categoria “outros” inclui segmentos menores, como lazer, agricultura, esporte etc. (PLASTICS EUROPE, 2011).

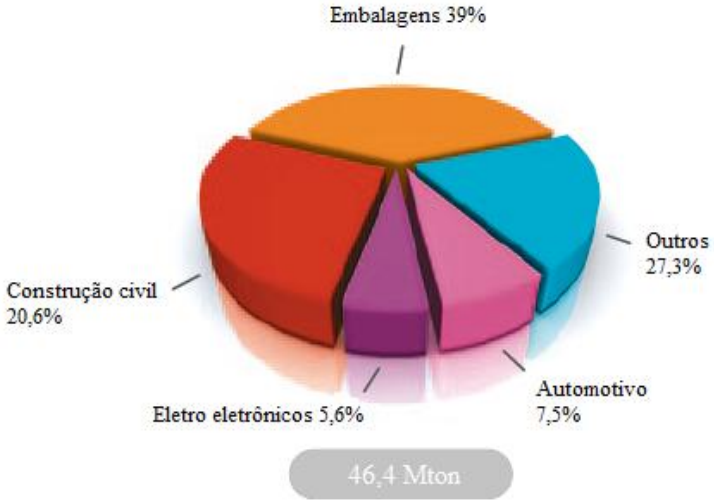

Gráfico 2: Demanda europeia por segmento de plásticos em 2010.

Fonte: PLASTICS EUROPE, 2011.

Outra forma importante para se avaliar a demanda por plástico é a que se baseia no consumo das resinas. Na UE, são seis as resinas mais comercializadas, que, em 2010, somaram 74% das vendas de resinas plásticas. São elas: o polietileno (PE), incluindo o de baixa densidade (PEBD), linear de baixa densidade (PEBDL) e de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), PVC, poliestireno (PS), poliuretano (PU) e PET. O Gráfico 3 apresenta a distribuição percentual dessa demanda.

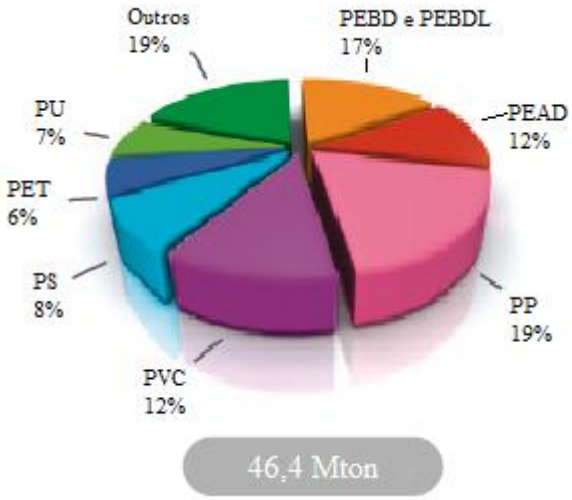

Gráfico 3. Demanda europeia por tipo de resina em 2010.

Fonte: PLASTICS EUROPE, 2011.

A União Europeia sempre foi uma grande exportadora de plásticos (resinas e transformados e/ou produtos plásticos). Tais exportações aumentaram em mais de 100% entre os anos 2000 e 2010. No caso das resinas, as maiores quantidades são vendidas para China (incluindo Hong Kong), Turquia, Rússia e Suíça. Com relação aos transformados plásticos, os maiores importadores de produtos plásticos europeus, fora da União Europeia, são Suíça, Rússia e Estados Unidos (PLASTICS EUROPE, 2011).

Desde 2008, entretanto, a situação vem mudando. Com o *boom* econômico, a China se tornou um grande exportador de produtos plásticos, atingindo 33% do mercado global de exportações em 2009 (PLASTICS EUROPE, 2010).

A cadeia produtiva europeia dos plásticos é formada por mais de 54.000 empresas (sendo muitas de pequeno e médio porte no setor de transformação), que empregam mais de 1,6 milhões de pessoas, correspondendo a um mercado de cerca de 300 bilhões de euros por ano (PLASTICS EUROPE, 2011).

Com relação aos EUA, SPI (2011) aponta a indústria de plásticos como sendo a terceira maior indústria do país. O aumento anual da produtividade entre 1980 e 2010 foi de 2,3% ao ano, atingindo uma produção de plásticos em 2010 de aproximadamente 46,7 milhões de toneladas, apresentando um aumento de 4% em relação a 2009, quando a produção foi de 44,9 milhões de toneladas. Do total fabricado em 2010, 87% são termoplásticos, ou seja, 40,72 milhões de toneladas. A demanda interna foi de 46,9 milhões de toneladas, dos quais aproximadamente 41 milhões de termoplásticos (AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010a).

Analisando-se por segmento, o setor com maior demanda é o de embalagens plásticas, seguida pela construção civil, transportes e eletroeletrônicos (Gráfico 4), semelhante, portanto, à estrutura da União Europeia.

Em relação à demanda por resina, 16,8 milhões de toneladas foram de polietileno, 7,8 milhões de toneladas de polipropileno e 6,37 milhões de toneladas de PVC, nesta ordem. O Gráfico 5 apresenta os percentuais de demanda por resinas termoplásticas em 2010 (AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010b). Nesse caso também, a demanda americana mostra-se semelhante à demanda europeia.

A demanda interna americana inclui importações, não tendo sido possível separar, através dos dados obtidos, os valores exatos. As exportações de resinas plásticas, em 2010, atingiram de 6,7 milhões de toneladas (AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010b), porém não foi possível obtido obter dados sobre os mercados para onde essas exportações são direcionadas.

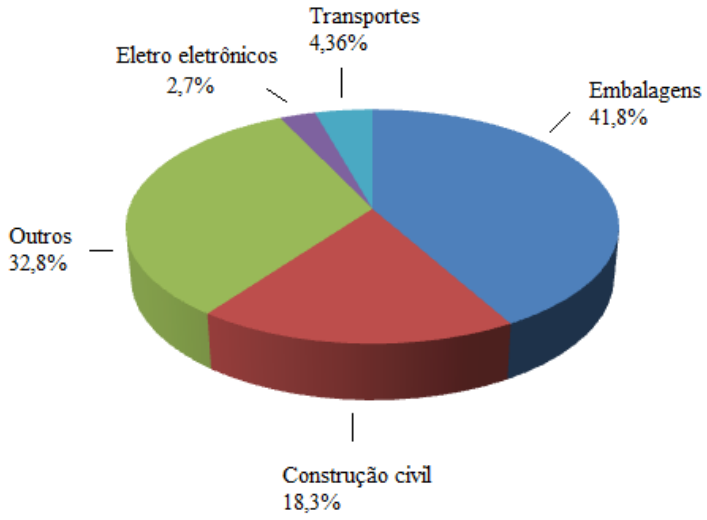

Gráfico 4. Demanda americana de plásticos por segmento em 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL (2010a).

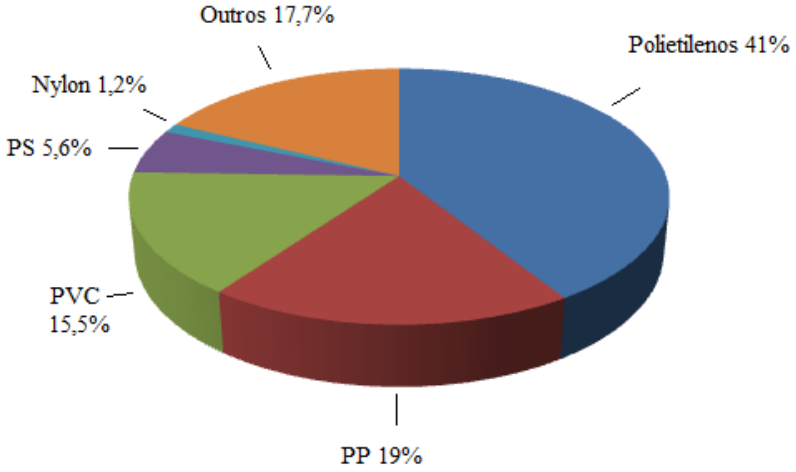

Gráfico 5. Demanda dos Estados Unidos por tipo de resina
Fonte: Elaboração própria a partir de AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL (2010b).

Em relação à indústria de plásticos dos EUA, em 2007 o setor empregava mais de 1,1 milhão de trabalhadores (SPI, 2008) e compreendia, em 2011, cerca de 18500 empresas no setor como um todo (SPI, 2011).

2.2.2. Panorama Nacional

Segundo a Braskem (2010), maior indústria petroquímica do Brasil e maior produtora de resinas termoplásticas das Américas, em seu relatório de sustentabilidade, a produção brasileira de resinas termoplásticas representa menos de 4% da produção mundial.

O Gráfico 6 apresenta a produção e o consumo de plásticos no Brasil entre 2000 e 2010. O ano de 2010 teve produção recorde, atingindo a marca de 5,9 milhões de toneladas de transformados plásticos, o que representa um aumento médio de 4,3% ao ano desde 2000. O consumo aparente (produção + importação – exportação) dos transformados plásticos também foi o máximo já visto no país, chegando a cerca de 6,2 milhões de toneladas, pois foram importados aproximadamente, 616 mil toneladas de transformados plásticos (aproximadamente 10% da demanda interna) e exportados aproximadamente 311 mil toneladas. O Gráfico 6 também mostra um aumento no consumo aparente de transformados plásticos de 4,6% ao ano desde 2000.

O relatório considera a demanda por resinas como sendo igual à produção de transformados plásticos, ou seja, de 5,9 milhões de toneladas, valores recordes também, com uma importação aproximada de 1,4 milhão de toneladas e uma exportação de cerca de 1,2 milhão de toneladas de resinas (ABIPLAST, 2010).

Analisando por tipo de resina, a demanda brasileira segue os padrões europeu e americano, sendo o polietileno o mais consumido (2,3 milhões de toneladas), seguido pelo polipropileno (1,475 milhões de toneladas) e depois pelo PVC (1,12 milhões de toneladas), conforme apresentado no Gráfico 7 (ABIPLAST, 2010).

Segundo a ABIPLAST (2010), em 2009 existiam 11.465 empresas no setor de transformados plásticos (85% localizadas nas regiões sul e sudeste do país) e o total de empregados em 2010 chegava a 349.453 pessoas, apresentando um aumento de 7,7% em relação ao ano anterior.

Para fins de comparação, a Tabela 3 apresenta os principais dados comparando União Europeia, Estados Unidos e Brasil.

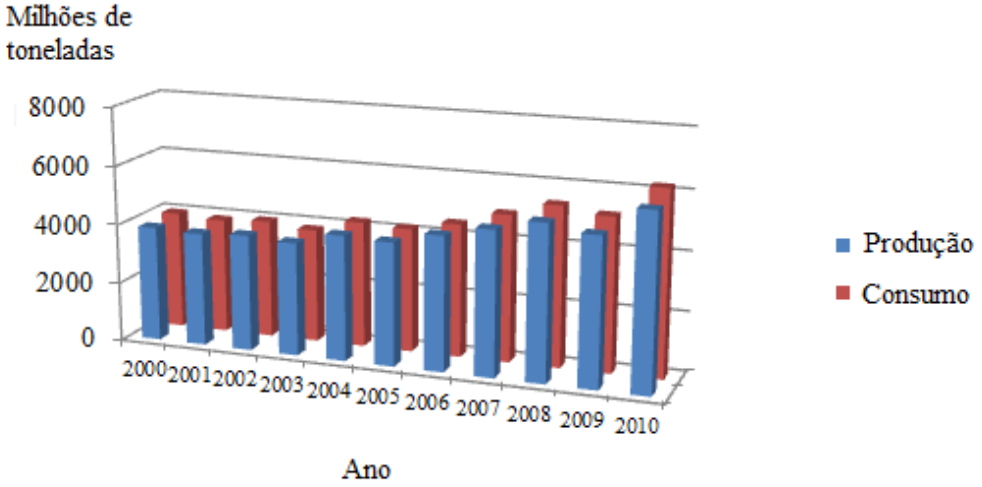

Gráfico 6. Produção e consumo de transformados plásticos no Brasil (2000-2010).

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIPLAST (2010).

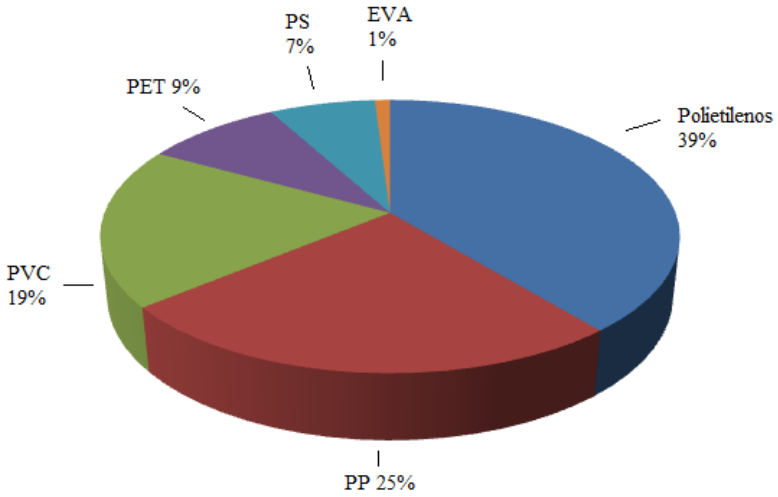

Gráfico 7. Demanda brasileira por tipo de resina em 2010.
Fonte: ABIPLAST, 2010.

Para fins de comparação, a Tabela 3 apresenta os principais dados comparando União Europeia, Estados Unidos e Brasil.

Tabela 3. Comparação do panorama dos plásticos entre UE, EUA e Brasil.

Países/bloco econômico	Produção de transformados plásticos	Demanda por reformados plásticos	Empresas transformadoras	Trabalhadores
Brasil[3]	57 milhões de toneladas	46.4 milhões de toneladas	54.000	1.6 milhão
	46.7 milhões de toneladas	46.9 milhões de toneladas	18.500	1.1 milhão
	5.9 milhões de toneladas	6.226 milhões de toneladas	11.465	349.453

Fonte: Elaboração própria
Notas: 1 - PLASTICS EUROPE (2011); 2 - AMERICAN PLASTICS COUNCIL (2010a,b), SPI (2008,2011); 3 - ABIPLAST (2010)

A partir da Tabela 3, pode-se observar que, na comparação com a União Europeia, o Brasil apresenta produção e demanda por plásticos quase 10 vezes menor, enquanto o número de empresas e empregados no setor de transformados é apenas 5 vezes menor.

Em relação aos Estados Unidos, a produção e a demanda brasileiras também são bastante inferiores, porém o número de empresas transformadoras é menos de duas vezes menor e emprega três vezes menos trabalhadores. A partir desses dados é possível concluir que o Brasil possui potencial para aumentar a sua produção de plásticos, podendo assim reduzir as quantidades de material importadas e melhorar a balança comercial do setor, negativa em 2010, com importações tanto de resinas quanto de transformados plásticos foram maiores do que as exportações.

3. O resíduo plástico e suas destinações pós-consumo

A maioria dos artigos plásticos vendidos, especialmente as embalagens e outros bens não-duráveis, torna-se resíduo em menos de um ano, ou, no pior cenário, após um único uso. Ainda assim, os resíduos plásticos são valorosas fontes de matérias-primas, e podem ser transformados em energia ou em outros materiais poliméricos (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2010).

Os custos cada vez mais elevados e a escassez de espaço nos aterros para a criação de novos têm influenciado o desenvolvimento de técnicas alternativas para a disposição de resíduos plásticos. O problema dos impactos dos plásticos torna-se ainda mais grave quando os plásticos são dispostos de forma inadequada e dispersos no ambiente. Isso tem feito com que técnicas de reciclagem e incineração venham sendo cada vez mais praticadas.

3.1. Os resíduos sólidos e os resíduos plásticos

Lixo, ou resíduo sólido, é normalmente definido na literatura como sendo produto da atividade humana e considerado, pelo gerador, como sem utilidade, descartável e/ou indesejável. Segundo a norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), a definição de resíduos sólidos é:

"Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível".

Deste modo, a NBR 10004 classifica os resíduos em:

Resíduos Classe I – Perigosos: são aqueles que representam periculosidade, ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade e patogenicidade.

Resíduos Classe II – Não Perigosos.

Resíduos Classe II A – Não Inertes: são os que não se enquadram nem como perigosos nem como inertes, podendo ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II B – Inertes: são aqueles que após o ensaio de solubilização não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (com exceção de aspecto, turbidez, dureza e sabor) (ABNT, 2004).

De acordo com a norma supracitada, os resíduos plásticos se enquadram na classificação de resíduos Classe II, ou seja, resíduos sólidos não perigosos. Apesar disso, quando descartados inadequadamente, como em rios, encostas, lixões, etc., os plásticos causam diversos danos ambientais (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). A maioria dos plásticos não é biodegradável; muito pelo contrário, são materiais extremamente duráveis e, portanto, boa parte dos plásticos produzidos e descartados hoje irá persistir no ambiente por muitos anos.

Quantidades importantes de resíduos plásticos, muitas vezes microscópicos devido a sua degradação incompleta, têm se acumulado nos aterros e no meio ambiente, causando danos ambientais e problemas relacionados à gestão desses resíduos. Tais danos podem ser a liberação de tóxicos para o meio ambiente (plastificantes e outros aditivos), a ingestão de plásticos por organismos, causando muitas vezes a sua morte, ou a simples presença de resíduos, impactando visualmente o ambiente (HOPEWELL, DVORAK, KOSIOR, 2009).

Além disso, devido à imensa variedade de plásticos existentes no mercado e do grande volume descartado, a gestão de resíduos plásticos é complexa, e a destinação escolhida irá depender de diversos fatores, como do tipo de polímero ou do produto descartado, dentre outros (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

Segundo a hierarquia da gestão de resíduos, apresentada na Figura 2, as opções adequadas de destino dos resíduos plásticos incluem redução, reuso, reciclagem, incineração e disposição em aterros.

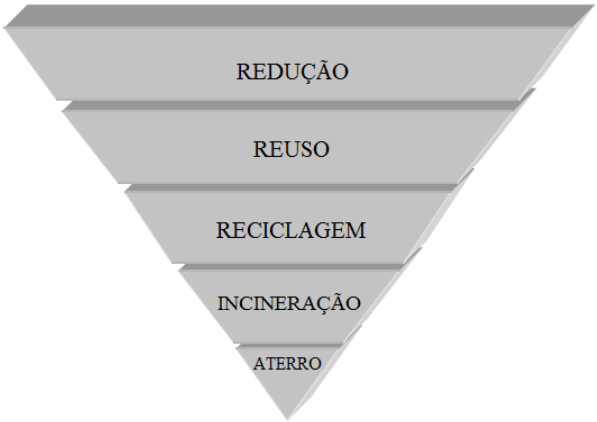

Figura 2. Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência. Fonte: AZAPAGIC, 2003.

A opção mais desejável nesta hierarquia é a da redução do uso de recursos, o que também gera uma redução na geração de resíduos. A redução pode ser entendida como a redução do uso/consumo de produtos plásticos pelo consumidor ou redução na quantidade de resina plástica utilizada na indústria para a fabricação de seus produtos.
O reuso de materiais plásticos é uma prática facilitada que decorre da durabilidade e resistência das resinas, dependendo, portanto, do tipo de polímero. A reutilização de plásticos pode ser feita de diversas maneiras e para os mais diversos fins.

Eventualmente, após diversos ciclos de uso, os materiais plásticos começam a degradar-se e já não são úteis, devendo ser reprocessados. Chega-se então à terceira opção na pirâmide de hierarquia da gestão de resíduos, com a reciclagem (AZAPAGIC, 2003). Com o crescimento das exigências ambientais, a reciclagem também tendo sido apontada de forma crescente como opção de destinação cada vez mais utilizada no pós-consumo, assim como a incineração. O aterro representa a última alternativa desejável.

3.2. As destinações pós-consumo dos resíduos plásticos

A Figura 3 mostra as principais destinações pós-consumo dos resíduos plásticos.

Os aterros são áreas para depósito de lixo que objetivam isolar os resíduos do ambiente no seu entorno, principalmente do contato com os lençóis freáticos. É uma área designada para receber resíduos, principalmente resíduos sólidos urbanos (RSU), como lodos de estações de tratamento, entulhos de construção civil, resíduos domiciliares, entre outros.

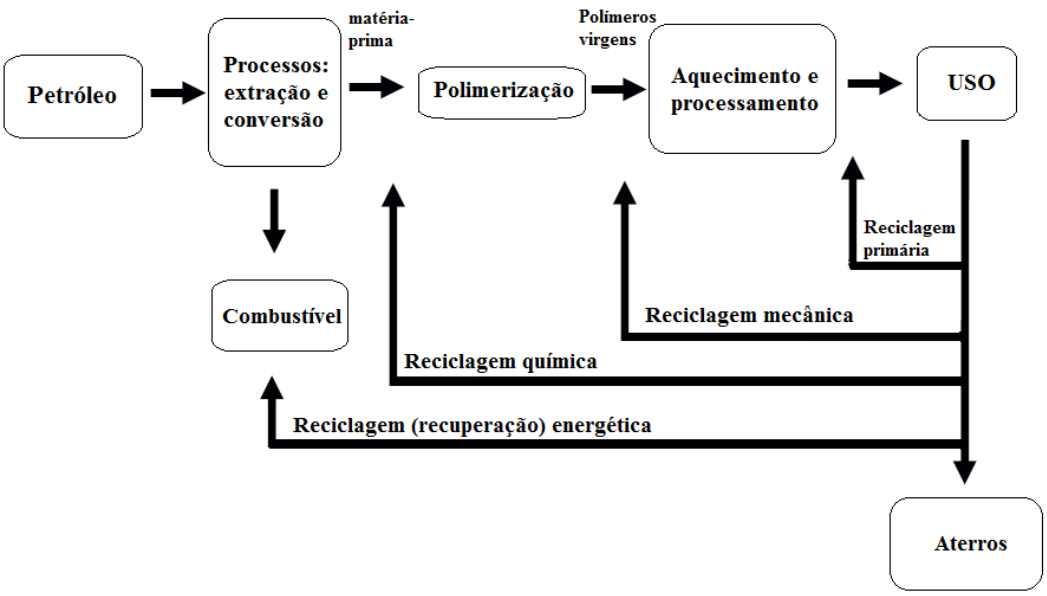

Figura 3. Produção e rotas de destinação de plásticos.
Fonte: adaptado de AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS, 2010.

Vazadouros a céu aberto, popularmente chamados de lixões, são ainda, infelizmente, os tipos mais comuns de disposição de lixo em países em desenvolvimento. Os resíduos são simplesmente jogados em uma área a céu aberto, sem qualquer tipo de controle ou tratamento (NARAYANA, 2009, *apud* TCHOBANOGLOUS *et al*., 1993). Além dos problemas ambientais causados pelos lixões, como a contaminação do ar por emissões da degradação da matéria orgânica e contaminação dos lençóis freáticos e corpos d'água próximos, por não haver qualquer tipo de impermeabilização do solo, a questão social também é um fator preocupante. A existência de famílias catadoras de lixo nesses lugares, que tentam triar materiais para vender e obter alguma renda, é um problema social e de saúde pública, pois elas entram em contato com contaminantes e muitas vezes se expõem a condições de sobrevivência desumanas (CEPEA, 2004).

Aterros controlados são lugares escolhidos para a disposição de lixo e este é compactado e coberto com terra diariamente. Esse tipo de aterro muitas vezes surge a partir de um lixão, ou de um lugar que não foi projetado para tal aplicação (NARAYANA, 2009, *apud* TCHOBANOGLOUS *et al*., 1993), porém deve ser operado como um aterro sanitário (IBAM, 2001). Os aterros controlados não possuem, em muitos casos, coleta nem tratamento do chorume, assim como prescindem da drenagem e queima/beneficiamento do biogás.

Devido à ausência da coleta dos líquidos percolados, o ideal é que um aterro controlado seja implementado em áreas com lençol freático profundos (mais de três metros do fundo do aterro) e, como remediação do chorume que ficará retido nas camadas internas do terreno. Deve-se fazer uma camada superficial provisória de material argiloso e uma camada impermeabilizante superior quando o aterro atingir sua cota máxima de operação (IBAM, 2001).

Os aterros sanitários de construção mais recente necessitam, para a devida proteção ambiental, estudos avançados de geologia e engenharia para a implementação de técnicas e tecnologias avançadas e que visem à mitigação dos principais impactos ambientais causados pela disposição de resíduos sólidos urbanos nos aterros (SANTOS, 2011).

Aterros sanitários são espaços projetados para o depósito de resíduos, evitando a contaminação dos solos e dispondo de tratamento de efluentes e controle de emissões dos gases dos materiais em decomposição. (NARAYANA, T., 2009, *apud* TCHOBANOGLOUS *et al*., 1993). Para ser classificado como aterro, pressupõe-se a não existência de catadores, como previsto em lei (CEPEA, 2004).

Para iniciar sua operação, é preciso que seja primeiramente feita uma escolha adequada da área de implantação, que se obtenha o licenciamento, que se elabore um projeto executivo, quando só então o aterro poderá ser efetivamente implementado (IBAM, 2001).

Um aterro sanitário conta necessariamente com as seguintes unidades:

a) Unidades operacionais:

• células de lixo domiciliar e hospitalar (caso o Município não possua outra destinação para este tipo de lixo especial);
• Fundo impermeabilizado (obrigatório) e impermeabilização superior (opcional);
• sistema de drenagem e tratamento dos líquidos percolados (chorume);
• sistema de coleta e queima (ou tratamento/beneficiamento) do biogás;
• sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais;
• sistemas de monitoramento da topografia local, além de monitoramento ambiental e topográfico;
• pátio de estocagem de materiais.

b) Unidades de apoio:

• Isolamento vegetal, com barreira e cerca;
• estradas de acesso e de serviço;
• sistema de controle de resíduos e balança;
• prédio administrativo e guarita na entrada do aterro;
• oficina e borracharia.

O impacto dos plásticos nos aterros é controverso, existindo autores que afirmam que os plásticos são prejudiciais aos aterros e diminuem a sua vida útil por causa dos grandes volumes depositados, e outros que afirmam o oposto não haver problemas na disposição desses materiais.

Segundo os dados do WORLD BANK (1999), as variações na proporção de resíduos plásticos nos resíduos sólidos urbanos vão depender da renda dos países. Países de baixa renda possuem uma média de 4% dos seus RSU compostos de plásticos, enquanto nos países de média renda essa proporção aumenta para 11% e a média é de 9% nos países de alta renda.

Os valores encontrados para a quantidade de plásticos contida nos resíduos urbanos brasileiros foram bastante variáveis, podendo ter um mínimo de 7,2% e atingir um máximo de 31,24% (SANTOS, 2011; MATTEI e ESCOSTEGUY, 2007).

A incineração é o processo de queima e descaracterização de resíduos sólidos, facilitando, assim, a sua disposição, já que ocorre uma drástica redução no volume do material final. Contudo, esse processo apresenta dois aspectos bastante preocupantes: a emissão de gases a partir da combustão dos resíduos e a destinação das cinzas formadas e dos particulados retidos nos sistemas de lavagem dos gases. Um dos maiores problemas da incineração é a emissão de dioxinas e furanos. Assim, os investimentos nesse sistema acabam sendo bastante elevados, pois faz-se necessário acoplar um mecanismo de lavagem dos gases, que muitas vezes é mais caro do que o próprio forno de incineração, e toda a operação precisa incluir manuseio e destinação adequados dos rejeitos gerados (ROLIM, 2000, *apud* VALLE 1995). É uma técnica muitas vezes utilizada para o tratamento de resíduos perigosos (SANTOS, 2011). A incineração com recuperação energética é uma técnica que tem crescido nos últimos anos será tratada em maiores detalhes no item 3.3, por ser considerada uma forma de reciclagem (energética).

Com relação mais especificamente à reciclagem, segundo a EPA (2011b) trata-se d a coleta de materiais que seriam considerados lixo, sua separação e processamento em fibras, permitindo a fabricação de novos materiais e a sua comercialização.

A reciclagem de plásticos pode ser classificada em reciclagem primária, secundária, terciária e quaternária. Maior detalhamento será apresentado no item 3.3.

- **Reciclagem primária, ou re-extrusão**

Também chamada de reciclagem pré-consumo (ROLIM, 2000, *apud* PINTO 1995), é a reintrodução de sucatas e fragmentos de polímeros no ciclo para a produção de produtos de materiais similares. São utilizados plásticos com características semelhantes aos produtos originais.

- **Reciclagem secundária, ou mecânica**

É o reprocessamento de materiais poliméricos simples (formados por somente um tipo de resina) utilizando meio mecânicos (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2010). Um fluxograma resumido é apresentado na Figura 4.

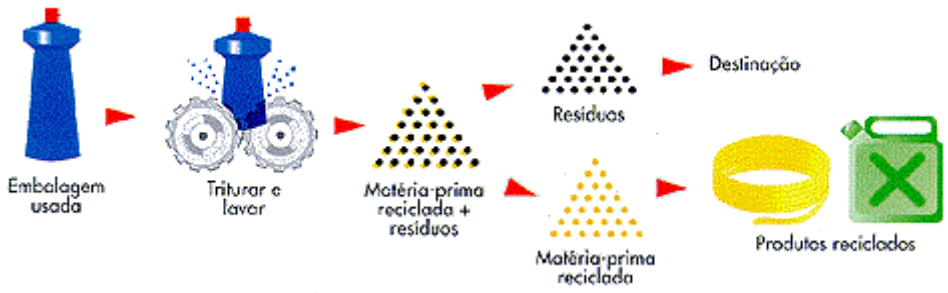

Figura 4. Fluxograma das etapas da reciclagem mecânica.
Fonte: PLASTIVIDA, 2009.

- **Reciclagem terciária ou química**

Consiste na reciclagem de produtos químicos ou de matéria prima (*feedstock recycling*) (Figura 5), envolvendo processos de despolimerização ((AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2010; HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009). A BRITISH PLASTICS FEDERATION (2011) considera a reciclagem química e a de

matéria prima como duas categorias diferentes. Essa diferença reside na utilização do produto final: na reciclagem de matéria-prima, a estrutura química do material residual é alterada, de modo que os produtos químicos resultantes podem ser usados para outros fins que não a produção do material original; já na reciclagem química, o produto resultante só é utilizado para produzir o material original.

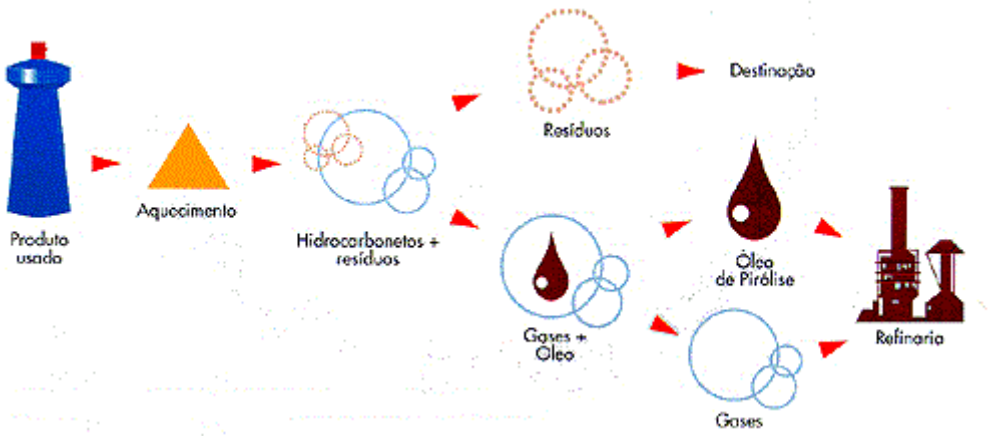

Figura 5. Fluxograma das etapas da reciclagem química.
Fonte: PLASTIVIDA, 2009.

- **Reciclagem quaternária, ou recuperação energética de resíduos**

É um método de reciclagem que tem crescido muito nos últimos anos. A queima dos resíduos para gerar calor, vapor ou energia tem representado de modo crescente uma alternativa, seja para a destinação dos resíduos urbanos como um todo, seja para os resíduos de plásticos. Estima-se que a incineração de resíduos plásticos proporcione uma redução de 90 a 99% em volume, diminuindo assim o descarte em aterros. No processo de recuperação de energia, a destruição de espumas e grânulos também destrói CFCs e outros agentes nocivos (AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS, 2010; HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

3.3. Reciclagem de plásticos

A reciclagem primária é um processo bastante disseminado para reciclagem de produtos industriais, pois os produtos já são limpos e de fácil identificação (ROLIM, 2000 *apud* PINTO 1995).

A reciclagem mecânica primária consiste no re-processamento do refugo de plástico resultante do próprio processo produtivo ou do processo de reciclagem, não sendo aplicável, via de regra, aos plásticos pós-consumo (utiliza-se a reciclagem mecânica). Esse método pressupõe o processamento de materiais semi-limpos e com características semelhantes, dificultando o uso da reciclagem primária para plásticos pós-consumo. Segundo a *British Plastics Federation* (2011), quase todas as empresas de transformados reciclam seu refugo de plástico no Reino Unido, tratando cerca de 250.000-300.000 toneladas de plásticos neste país anualmente. AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS (2010) apresentam dados semelhantes, informando que neste mesmo país são gerados cerca de 250 mil toneladas de refugo de plástico por ano, dos quais cerca de 95% são reciclados pelo processo de reciclagem mecânica primaria (MAGRINI e OLIVEIRA, 2011).

A reciclagem química é o método de tratamento dos rejeitos pós-consumo por intermédio de processos termoquímicos (como a pirólise), de transformação química ou biológica (HORVAT e FLORA, 1999). Tais processos permitem a obtenção de novas substâncias químicas que podem ser reincorporadas à cadeia produtiva, e o tipo de processo utilizado dependerá do material a ser reciclado (tipo do material, massa, aplicação, etc.).

Esse processo de reciclagem geralmente é indicado para resíduos formados por misturas de diversos materiais, mas é mais eficiente quando os materiais chegam limpos e puros, facilitando, assim, a obtenção de produtos de melhor qualidade. Por isso, como na reciclagem mecânica, pode ser necessária a utilização de um pré-tratamento do resíduo com a finalidade de atender a especificação de um determinado processo de reciclagem (HOBBS e HALLIWELL, 2000).

A reciclagem química é um processo que requer grandes quantidades de resíduos e de capital aplicado para que o reprocessamento seja economicamente viável. Essas limitações estão também relacionadas ao tamanho das usinas de reciclagem, pois as plantas ocupam necessariamente um grande espaço. A fim de ilustrar a importância da necessidade de grandes quantidades de polímeros para esse tipo de reciclagem, a produção de uma planta de pirólise da BASF (na Alemanha) teve que ser interrompida por falta da quantidade mínima de resíduo de polímero necessária para manter a unidade funcionando, de 150 000 toneladas/ano (SASSE e EMIG, 1998).

Quando especificamente aplicada ao setor de materiais poliméricos, os compostos químicos produzidos por reciclagem química são obtidos por mecanismos de

despolimerização. Os produtos resultantes podem ser usados para a produção dos polímeros originais, de novos polímeros ou de insumos petroquímicos básicos e serem incorporados ao *pool* de produtos de refinarias ou centrais petroquímicas (SASSE e EMIG, 1998). Sendo assim, a reciclagem química não necessariamente resultará na redução do consumo de matéria-prima.

Os processos de despolimerização podem ser conduzidos por solvólise (despolimerização com auxílio de solventes, como a água – hidrólise, álcoois – alcoólise, dentre outros), por métodos térmicos (degradação das cadeias induzida pelo aumento da temperatura, como nos processos de pirólise e de gaseificação) ou por reações com reagentes capazes de promover a degradação das macromoléculas, na presença ou ausência de catalisadores (como na hidrogenação ou oxidação degradativa) (MACKEY, 1995; SCHEIRS, 1998; DAVE e JOSH, 2010; SINHA, PATEL E PATEL, 2010; ADRADOS *et al.*, 2011). Essa técnica pode ser utilizada na reciclagem polímeros de policondensação (obtidos por reações entre grupos funcionais de diferentes moléculas, como na resina PET) (AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS, 2009), embora não possa ser aplicada de forma eficiente a produtos de poliadição (obtidos por adição de monômeros, com auxílio de uma espécie ativa, como nas poliolefinas).

Em contraste, a pirólise de poliolefinas produz misturas de hidrocarbonetos bastante ricas em compostos de interesse petroquímico, a depender das condições de operação (OLAH e MOLNAR, 1995; AGUADO *et al*., 1996, AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS, 2009b). Além disso, a reciclagem por pirólise requer elevado teor de plástico na corrente de alimentação nos fornos de tratamento, sendo que a presença de água reduz apreciavelmente a eficiência do processo (por causa da elevada quantidade de energia requerida para vaporizar a água). Assim, rejeitos úmidos são pouco indicados para os tratamentos térmicos.

Portanto, não é possível formular uma única solução universal para os processos de reciclagem química, que dependem do cenário analisado e podem resultar em diferentes níveis de integração com a cadeia de produção de plásticos e de produtos petroquímicos em geral. Embora necessite ainda de avanços técnico econômicos para alcançar maior viabilidade, a reciclagem química apresenta perspectivas relevantes no futuro, e tem sido objeto de pesquisas e desenvolvimento por parte de diversas empresas.

Devido aos benefícios econômicos limitados de muitas das técnicas de reciclagem, a utilização dos resíduos plásticos para a produção de energia ganhou

destaque nos últimos vinte anos. A incineração (ou reciclagem energética, quando se utiliza a energia liberada pela combustão dos resíduos) pode ser definida como a técnica de destruição térmica dos resíduos por ação de calor, produzindo idealmente dióxido de carbono e água (além de outros produtos indesejados de combustão), além de calor. Os sistemas de incineração modernos utilizam altas temperaturas, sistemas de controle de emissão de gases e controle de mistura dos resíduos, podendo assim lidar com resíduos dos mais variados tipos de características físicas, químicas ou biológicas (SANTOLERI, 2011).

Apesar de ser contestada por causa da emissão de poluentes (em particular alguns gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono), a reciclagem energética pode constituir uma alternativa atrativa para disposição dos resíduos e tem benefícios significativos, segundo BRUNNER (1994): (i) redução imediata do volume e massa dos resíduos sólidos urbanos (85-90% em volume); (ii) a planta de incineração pode ser construída nas proximidades das fontes geradoras do RSU, reduzindo custos decorrentes de transportes; (iii) o custo de implantação e operação pode ser compensado pela venda de energia; (iv) as emissões gasosas provenientes das plantas de incineração podem ser controladas, conforme exigências da legislação.

O poder calorífico dos plásticos, conforme apresentado na Tabela 4, é de um modo geral elevado, o que os tornam uma conveniente fonte de energia. Calcula-se que a incineração de resíduos plásticos proporcione uma redução de 90-99% em volume, diminuindo, assim, o descarte em aterros (MAGRINI e OLIVEIRA, 2011).

Tabela 4. Poder calorífico de alguns plásticos e outros combustíveis

Material	Poder calorífico (MJ/KG)
Polietileno	43,3-46,5
Polipropileno	46,5
Poliestireno	41,9
Querosene	46,5
Gasolina	45,2
Petróleo	42,3
RSU	31,8

Fonte: elaboração própria a partir de AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS (2010)

No entanto, a incineração também pode causar problemas, sendo frequentemente criticada pelas seguintes razões: (i) alguns materiais não deveriam ser incinerados,

porque apresentam alto valor agregado, porque não são bons combustíveis ou porque geram gases nocivos à saúde ou ao ambiente; (iii) práticas operacionais pobres e a presença de cloro no RSU podem levar a emissões significativas de dioxinas e furanos, compostos reconhecidamente tóxicos; (iv) o controle das emissões de metais provenientes de resíduos inorgânicos que contêm metais pesados (tais como o arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel *etc*.) é difícil; (v) os incineradores exigem elevados investimentos operacionais e de capital; (vi) são normalmente necessários combustíveis complementares para alcançar elevadas temperaturas de combustão.

A incineração já está sendo usada em diversos países com alternativa para o tratamento de RSU. Segundo LIU, LIU e LI (2006), a incineração na China é a opção de tratamento mais implementada. Conforme o site New Energy Foundation (NEF, 2011), o Japão é o país com o maior número de plantas de incineração de resíduos. Até o final de 1999, havia mais de 1900 plantas de incineração de resíduos nesse país, com geração combinada de 843 MW, suficiente para abastecer uma cidade de trezentos mil habitantes (o que atesta que a utilização do resíduo plástico para a geração de energia é ainda muito baixa). A meta japonesa para geração de energia por incineração de resíduos em 2010 foi ajustada para 4.170 MW.

Um fator limitante à incineração é o teor de água contido nos resíduos, pois vários estudos mostram redução dramática da eficiência de combustão devido ao aumento da umidade dos resíduos (por causa do alto calor latente de vaporização da água), bem como a sua influência na emissão de gases como o CO, SO_2, NO e NO_2 (SUKSANKRAISORN, PATUMSAWAB, FUNGTAMMASAN, 2010).

Uma pergunta relevante no contexto da sustentabilidade diz respeito ao processo mais vantajoso para o processamento de resíduos plásticos: a incineração com recuperação energética, a reciclagem mecânica ou a reciclagem química. MORRIS (1996) realizou a análise de conservação de energia das diferentes técnicas e verificou que a reciclagem mecânica economiza mais energia do que a que é produzida na incineração de resíduos sólidos urbanos em 24 de 25 resíduos. Isto ocorre porque o aquecimento do RSU consome aproximadamente 15% da energia intrínseca disponibilizada pela queima dos materiais. Portanto, sob esse ponto de vista, é muito difícil recomendar a técnica de reciclagem energética como uma solução apropriada para os resíduos plásticos pós-consumo.

O método de reciclagem mais utilizado é o da reciclagem mecânica, porém só pode ser realizado em produtos que contenham apenas um tipo de resina (só poliestireno ou só polipropileno, por exemplo). Ou seja, quanto mais misturado e contaminado for o resíduo, mais difícil será reciclá-lo mecanicamente. A separação do material plástico previamente à coleta faz-se essencial (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2010).

Para isso, são necessário programas de coleta seletiva e logística reversa, para que a maior quantidade possível de plásticos possa ser destinada às recicladoras.

A reciclagem mecânica, em escala industrial, em geral envolve uma série de tratamentos e etapas de preparação que são explicadas a seguir:

- Separação: de acordo com o aspecto visual ou com a identificação, é feita uma triagem para separação dos diferentes tipos de plásticos. É uma tarefa essencialmente manual, e, portanto, depende da competência das pessoas que estão fazendo a triagem, cujo objetivo é separar materiais diferentes, metálicos, tampas de garrafas, produtos compostos por mais de um tipo de plástico, etc. Se o material for oriundo de coleta seletiva, será muito mais limpo do que aquele que provém de aterros e lixões, facilitando, assim, sua reciclagem.

- Moagem: envolve a redução do tamanho do material, transformando-o em fragmentos menores, como grânulos, pó ou flocos.

- Lavagem: para retirar os contaminantes, o material é lavado com água, que depois deve receber um tratamento para sua possível reutilização ou descarte como efluente.

- Aglutinação: depois de lavado e seco, o material plástico é compactado em um aglutinador, para que o volume enviado ao processador final, normalmente uma extrusora, seja reduzido. Forma-se então uma massa plástica a partir do atrito dos fragmentos plásticos com as paredes do equipamento, devido a uma elevação da temperatura do conjunto.

- Processamento: a última etapa do processo é a que forma os *pellets* que serão mandados para as indústrias transformadoras. A massa plástica vai ser fundida e homogeneizada na extrusora. Na saída do processo, encontra-se um cabeçote do qual

saem filamentos contínuos que serão resfriados em água. Em seguida, um granulador irá picotar esses filamentos, formando grãos de plásticos, os *pellets* (PARENTE, 2006).

Quanto mais contaminado e complexo for o resíduo, mais difícil será sua reciclagem mecânica (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2010). A princípio, todos os plásticos podem ser submetidos à reciclagem mecânica, mas a seleção dos que realmente serão reciclados dependerá do seu valor econômico e do volume de material disponível (COLTRO, GASPARINA e QUEIROZ, 2008).

4. Legislação Internacional e dados da reciclagem de plásticos

A gestão de resíduos plásticos está relacionada com vários outros campos, tais como a gestão sustentável, mudanças climáticas, biodiversidade, proteção ambiental, energia, agricultura e proteção dos solos. Deve-se notar, porém, que as regulamentações dificilmente enfocam diretamente os resíduos plásticos, e menos ainda os tipos específicos de plásticos. Isso limita os incentivos à separação dos resíduos plásticos, ainda mais quando outros materiais que também compõe os resíduos sólidos são encontrados em maiores quantidades e peso, como é o caso do papel e da madeira.

Esta seção consiste em uma revisão da legislação internacional que objetiva a redução dos impactos ambientais causados pelos resíduos plásticos, abordando, principalmente, as políticas de reciclagem (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

4.1. Legislação e fatores indutores

Na União Europeia, a Diretiva 94/62/EC, sobre embalagens e embalagens descartadas, prevê o retorno e/ou a coleta de toda e qualquer embalagem pós-consumo para que se obtenham as metas de recuperação e reciclagem desses materiais. Isso abrange todas as embalagens da comunidade europeia, incluindo as embalagens plásticas. Tal diretiva previa a meta de retorno e/ou coleta de 22,5% destes resíduos até o fim de 2008. Apesar de esta data haver passado, a emenda 2005/20/EC definiu novas metas, até o final de 2012, para 10 países: República Tcheca, Eslovênia, Eslováquia, Malta, Hungria, Chipre, Letônia, Estônia, Lituânia e Polônia) (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

A decisão da Comissão Europeia 1999/177/EC estabelece as condições de derrogação para grades de plástico e *pellets* de plástico no que diz respeito às concentrações de metais pesados estabelecidas na Diretiva 94/62/EC, que deve ater-se a certo limite máximo, devendo ser destinadas a sistemas de reciclagem controlados caso ultrapassem tais limites. Tal derrogação foi estendida em 2009.

A Diretiva 2000/53/EC tem foco na redução das quantidades de resíduos dos veículos quando os mesmos atingem os limites máximos de uso. Veículos são uma parte pequena, porém significante da cadeia de resíduos plásticos. A diretiva objetiva o aumento de reuso e recuperação das materiais veiculares, inclusive plásticos, em 85%

até 2015. Porém, sabe-se que a reciclagem de plásticos de veículos é relativamente baixa e que não contribui muito para os objetivos da diretiva.

Em 2001 foi criado, dentro da Comissão Europeia (*European Commission*), o Instituto do Ambiente e da Sustentabilidade, um dos 7 institutos do *Joint Research Center* (MAGRINI, 2011), que é um centro que pretende esclarecer técnica e cientificamente os conceitos, implementações, desenvolvimento e monitoramento das políticas europeias.

Outra política que segue o mesmo rumo é a Diretiva para lixo eletro-eletrônico, 2002/96/EC. Sendo boa parte destes equipamentos formada de plásticos, a legislação prevê um aumento na reciclagem desses tipos de produtos, apesar das barreiras econômicas. Além disso, a Diretiva impõe alterações nos modelos, visando a redução na variedade dos componentes plásticos nos produtos eletroeletrônicos (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Com relação aos plásticos que entrarão em contato com alimentos, a Diretiva 2002/72/EC lista uma série de monômeros e outras substâncias, como aditivos, que podem ser utilizados na fabricação de embalagens de alimentos. Inclui algumas restrições também, como o uso de certos materiais que entrarão em contato com alimentos para bebês e crianças.

A Diretiva 2005/32/EC, modificada em 2009, trata de *ecodesign* e relaciona todos os impactos ambientais causados pelos produtos durante qualquer fase do ciclo de vida. A Diretiva 2005/32/EC, 2009/125/EC é um dos pilares importantes do Plano de Ação da Política Industrial Sustentável e Consumo Sustentável e Produção da Comissão Europeia. A Diretiva também tenta integrar os aspectos ambientais do *design* de produtos ao melhoramento da performance ambiental durante todo o ciclo de vida do produto. Esse foco pode gerar uma produção mais sustentável, substituindo os produtos com piores performances e direcionando a economia no sentido de criar produtos com ciclos de vida mais econômicos.

A análise do ciclo de vida para *design* dos produtos avalia 13 indicadores ambientais (emissões, geração de resíduos, consumo de recursos naturais, etc.), e o uso de plástico tem efeitos significativos em diversos desses indicadores. Para o desenvolvimento de novos planos voltados para o *ecodesign*, a eficiência dos materiais, incluindo plásticos, e outros aspectos ambientais terá tanta importância quanto à eficiência energética.

Em 2005, o 6° Programa de Ação Ambiental introduziu o conceito de Estratégia Temática na Prevenção e Reciclagem de Resíduos (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Com base em 4 prioridades (uso de recursos, biodiversidade, saúde e mudanças climáticas), tais estratégias estão relacionadas a 7 campos específicos: qualidade do solo e do ar, reciclagem e prevenção de resíduos, ambiente marinho, uso sustentável de recursos, pesticidas e ambiente urbano (MAGRINI,2011). O objetivo dessas estratégias é o de reduzir os impactos ambientais negativos causados pelos resíduos durante o seu ciclo de vida, avaliando-se cada estágio. Ela também define direcionamentos para ações da União Europeia e descreve maneiras de melhorar a gestão de resíduos (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Em 2005, foram editadas Comunicações específicas relacionadas, como a Estratégia Temática na Prevenção e Reciclagem de Resíduos (MAGRINI, 2011), que engloba vários aspectos das legislações já citadas acima. Aspectos adicionais relacionados aos plásticos incluem o potencial de aumentar a quantidade de resíduos plásticos usada como recurso e reduzir a demanda por recursos virgens (a destinação de plásticos para aterros aumentou em 22% entre 1990 e 2002, apesar do aumento da reciclagem) (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Sabe-se que muitos dos resíduos europeus são destinados para tratamentos em outros países, normalmente menos desenvolvidos. Em consequência, foi sancionada a Regulamentação de Transporte Marítimo de Resíduos, (EC) 1013/2006, para prevenir o transporte ilegal de resíduos. A razão maior para a revisão da Regulamentação de 2006 foi a implementação de várias mudanças na Convenção da Basiléia (Suíça) na movimentação transfronteiriça de resíduos. De acordo com a Regulamentação, os procedimentos de controle do transporte marítimo de resíduos são 2: os chamados de "lista verde" se aplicam a resíduos não perigosos que se destinam a recuperação, e o procedimento de notificação, que se aplica a cargas de todos os resíduos para disposição e resíduos perigosos para recuperação. Quando o resíduo se encontra na "lista verde", os envios marítimos são facilitados.

Resíduos plásticos normalmente são enquadrados na "lista verde", exceto quando não separados, sujos ou contaminados. Ainda assim, alguns países que recebem estas cargas, como China e Índia, têm reforçado seus controles (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

A Regulamentação de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Químicos (REACH, em inglês) objetiva diminuir os níveis de poluição e aumentar a segurança em relação ao uso de químicos perigosos. Os plásticos reciclados são afetados, pois as

empresas recicladoras devem prover informações sobre os tipos de químicos incluídos nos seus plásticos reciclados. Além disso, essa regulamentação, 1907/2006/E, requer que os produtores de plástico reciclado registrem os produtos químicos utilizados na base de dados da Agência Europeia de Químicos (*European Chemicals Agency*).

A REACH não exclui os resíduos (lixo) das suas cláusulas, mas esclarece que esse tipo de material não está nas definições da resolução. Porém, quando é requerida uma Avaliação de Segurança Química (*Chemical Safety Assessment*) para uma substância, deve ser avaliado todo o ciclo de vida da substância, incluindo o descarte. O caso dos resíduos não é assunto corriqueiro e usual para o REACH. Somente após o seu tratamento dos resíduos, se houver geração de alguma substância,, tais regulamentações podem ser aplicáveis.

De acordo com o "Guia para implementação do REACH - Guia para monômeros e polímeros", publicado pela Agência Europeia de Químicos em 2008, as substâncias contidas nos plásticos poliméricos reciclados só precisam ser registradas uma vez no REACH, mesmo que a mesma substância se encontre em um tipo de plástico diferente daquele que já foi registrado (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Os transformadores europeus de plásticos (EuPC), os recicladores europeus de plásticos (EuPR), a PlasticsEurope e Vinyl 2010 criaram um projeto sobre Base de Dados para Materiais Reciclados Seguros. A REACH requer que haja troca de informações entre os produtores e consumidores de plásticos. Em razão da situação delicada dos recicladores na cadeia dos plásticos, esses podem encontrar dificuldades em reunir as informações necessárias sobre a composição dos resíduos e, assim, não conseguir fornecer aos clientes todas as informações requeridas pelo REACH (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

O objetivo do projeto dessas instituições é o de criar bases de dados específicas, apoiadas em dados históricos para polímeros e dados toxicológicos sobre os aditivos de polímeros para os plásticos reciclados, que possam ser obtidas por meio de um *website* acessível aos recicladores, e estes também poderão incluir informações adicionais. Enquanto isso, o projeto P-REACH (REACH de polímeros) está criando uma plataforma virtual e de treinamento para a indústria europeia de polímeros, para servir de ajuda à compreensão do REACH (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

A Diretiva do Quadro de Resíduos (*Waste Framework Directive*), 2008/98/EC, revisada em 2008, objetiva proteger a saúde humana e ambiental contra efeitos danosos

causados pela coleta, transporte, tratamento, armazenagem e disposição do lixo em aterros.

A Diretiva define novos objetivos a serem atingidos pelos membros da União Europeia em relação à reciclagem, até 2020, incluindo índices de reciclagem de 50% (em peso) de resíduos domésticos e similares e de 70% para resíduos de construção e demolição. Além disso, obriga-os a desenvolverem programas nacionais para prevenção de geração de resíduos e um compromisso da Comissão Europeia de controlá-los.

A Diretiva também cria uma hierarquia para a gestão de resíduos, sendo a prevenção a melhor opção, seguida do reuso, reciclagem, que são preferíveis à recuperação energética, e, em último caso, a disposição em aterros.

Além disso, ela esclarece diversas definições importantes, como reciclagem, recuperação e o próprio lixo. Também especifica critérios para indicar quando um resíduo já foi suficientemente recuperado, por reciclagem ou outros tratamentos, e pode ser considerado um resíduo para descarte. Também define limites máximos para emissões de poluentes, quando necessários, e leva em conta qualquer efeito negativo que esste material, no final do seu ciclo de vida, possa causar ao meio ambiente. Como os plásticos são uma parte importante da cadeia do lixo que é citada na Diretiva, tal revisão deve ter um impacto significante.

Em 2010, o Instituto do Ambiente e da Sustentabilidade, do *Joint Research Center*, lançou o ILCD *Handbook online*, que é um guia internacional sobre análise de ciclo de vida (MAGRINI, 2011), com o intuito de auxiliar e direcionar quem esteja interessado em realizar este tipo de estudo, que envolve todos os processos da cadeia produtiva, “do berço ao túmulo”.

Para finalizar a análise da legislação europeia, é importante citar a Iniciativa da Liderança Europeia 2020, denominada Europa Eficiente em Recursos. Tal estratégia pretende guinar a economia para uma de baixo carbono e com eficiência de recursos, desvencilhando o crescimento econômico do uso de recursos e energia, reduzindo as emissões de CO_2, aumentando a competitividade e promovendo segurança energética. Tais objetivos são para 2050 e incluem, além do citado acima, prevenção de desastres, aumento da contribuição rural e agrícola e políticas de mudanças climáticas (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

O primeiro Ato que tratava sobre a disposição de resíduos sólidos nos Estados Unidos (*Solid Waste Disposal Act*, SWDA, em inglês) tornou-se lei em 20 de outubro de 1965. Na sua forma original, era uma ampla tentativa de resolver os problemas dos

resíduos sólidos que confrontavam os Estados Unidos a partir de diversos projetos de pesquisa, investigações, experimentos, treinamentos, demonstrações, questionários e estudos. Várias alterações foram incluídas nessa lei para que ela fosse se adaptando às crescentes quantidades de lixo, gerando o Ato para recuperação e conservação de recursos (*Resource Conservation and Recovery Act*, RCRA, em inglês), que se tornou lei em 21 de outubro de 1976. O SWDA, com as alterações de 1976, tornou-se mais conhecido como RCRA.

A política nacional e os objetivos do RCRA de interesse para a presente dissertação incluem:

Seção 1003. (a). Objetivos: os objetivos deste Ato são promover a proteção da saúde e meio ambiente e conservar materiais valiosos e fontes energéticas por meio da:

...

(9) promoção de programas de pesquisa e desenvolvimento a nível nacional para melhorar a gestão de resíduos sólidos e as técnicas de conservação de recursos, incentivar acordos mais efetivos entre órgãos, e desenvolver métodos novos e melhorados de coleta, seleção, recuperação e reciclagem de resíduos sólidos e a disposição ambientalmente segura de resíduos não recicláveis.

Tal Ato contém um tópico sobre estudos especiais, planos para pesquisa, desenvolvimento e demonstrações, sendo a Seção 8002 (a) sobre vidros e plásticos, na qual o Administrador da Agência de Proteção Ambiental deve realizar um estudo e publicá-lo contendo informações sobre a recuperação de recursos a partir de resíduos de vidro e plástico, incluindo investigações tecnológicas, científicas e econômicas sobre as possíveis soluções de como implementar tal recuperação, e a (b) sobre o conteúdo dos resíduos sólidos e potencial utilidade para os seus componentes.

Atualmente, as agências e serviços executivos do Governo Federal dos Estados Unidos publicam no Diário Oficial da União a codificação as regras gerais e permanentes, chamado Código de Regulamentos Federais (CRF). Este é dividido em 50 títulos, apresentando assim as grandes áreas a serem submetidas à regulamentação federal. Cada volume do CFR é emitido em grupos a cada quadrimestre, e é atualizado anualmente.

Com base nas disposições da legislação americana, a *Environmental Protection Agency* (EPA), agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, editou o Título 40 do Código de Regulamentos Federais (40CRF), que é o que concentra os regulamentos

federais relativos ao meio ambiente. Sua principal meta é tratar dos assuntos referentes à proteção da saúde humana e ambiental.

No 40CRF, deve-se destacar o subcapítulo I, que trata dos resíduos sólidos urbanos.

Em 1998, foi publicada pela Casa Branca a Ordem Executiva 13101 chamada "Ecologizando o governo através da redução de lixo, reciclagem e aquisições federais". Tal Ordem dava diretrizes às entidades do governo federal no âmbito da redução de lixo e incentivo à reciclagem nos serviços diários, assim como expandir o mercado de materiais reciclados e aumentar a demanda por tais produtos. Como política nacional, instituiu-se a preferência por prevenir qualquer tipo de poluição sempre que possível, sendo a segunda opção a reciclagem e o tratamento e, por último, disposição em aterros. Além disso, os governos deveriam desenvolver planos de redução e incentivo à reciclagem, e priorizar produtos que fossem menos prejudiciais ao meio ambiente. A Ordem Executiva 13101 foi revogada e substituída pela Ordem Executiva 13423 de janeiro de 2007, chamada "Fortalecendo a gestão ambiental federal do meio ambiente, energia e transporte".

Para atender ao escopo do presente trabalho, algumas seções da Ordem Executiva 13423 devem ser mencionadas por tratarem de reciclagem. A Seção 2 dita as metas para as agências. A parte "d", i, garante o uso de práticas sustentáveis na aquisição de novos bens e serviços, tais como o uso de produtos contendo materiais reciclados; a parte "e", ii e iii, garante que as agências vão manter práticas de separação adequada dos resíduos sólidos e manter programas de redução e reciclagem de resíduos; e a parte "h", iii, discorre sobre a disposição adequada de equipamentos eletro eletrônicos no final de suas vidas úteis. A Seção 3 dispõe sobre os deveres dos diretores e pessoas com cargos superiores nas agências. A parte "a" estabelece que eles devem garantir que a agência siga práticas sustentáveis, tais como (v) reduzir a poluição e a quantidade de resíduos gerada e praticar a reciclagem.

Como mencionado no capítulo 3, sabe-se que o setor da construção civil utiliza grandes quantidades de plásticos. Assim sendo, é importante citar algumas partes do Memorando de entendimento sobre liderança federal em edifícios sustentáveis e de alto desempenho, lançado em 2006, que tem como propósito o comprometimento de agências designadas a obedecerem ao governo federal no *design*, construção e operação de edifícios sustentáveis e de alto desempenho. Um dos elementos principais dessa norma é a implementação de estratégias comuns para o planejamento, realização,

design, construção, operação e manutenção de edifícios sustentáveis e de alto desempenho. As agências designadas também irão coordenar esforços complementares nos setores públicos e privado.

As orientações para o cumprimento de tal Memorando que tratam da reciclagem, embora não especificamente dos plásticos, incluem:

I. Empregar princípios de design integrado.

Design Integrado. Usar processo colaborativo, de planejamento integrado e design que:

...

- Estabeleça metas para qualidade de montagem, energia, água, material e ambiental junto com outras metas de design, e reforça a incorporação dessas metas através do design e ciclo de vida das construções e;
- Considera todos os estágios do ciclo vida de construção, incluindo demolição.

Na parte V, cita a necessidade em reduzir os impactos ambientais dos materiais, incluindo:

Conteúdo reciclado. Para produtos designados pela EPA (agência de proteção ambiental dos Estados Unidos), usar produtos que estejam dentro ou acima da quantidade de reciclados estipulada pela EPA. Para outros produtos, usar materiais com conteúdo reciclado em tal quantidade que a soma do conteúdo reciclado pós-consumo mais metade do conteúdo pré-consumo constitua ao menos 10% (baseado nos custos) do valor total dos materiais do projeto.

Resíduos de construção. Durante o estágio de planejamento do projeto, identificar operadores de recuperação e reciclagem que poderiam processar os resíduos formados. Programar o projeto a fim de reciclar ou recuperar pelo menos 50% dos resíduos de construção, demolição e limpeza, excluindo solo, onde existam oportunidades de mercado ou reciclagem locais.

No código dos Estados Unidos consta o Ato de Pesquisa e Controle de Poluição Marítima de 1987. No título 33, sobre navegação e águas navegáveis, o capítulo 33 é sobre prevenção de poluição por navios, e inclui adendos sobre resíduos plásticos. A seção 1996 foi incluída para exigir relatório que deveria ser feito pelo Secretário de Comércio a ser enviado ao Congresso americano em 1988 sobre os efeitos dos resíduos plásticos no ambiente marinho. Tal relatório deveria conter a identificação e quantificação dos efeitos nocivos dos materiais plásticos no ambiente marinho e relatar os tipos mais nocivos; avaliar efeitos específicos que os materiais plásticos

pudessem causar aos recursos marinhos; e recomendar uma legislação que pudesse proibir, taxar ou regular fontes geradoras de resíduos plásticos em tais ambientes.

4.2. Dados da reciclagem de plásticos na União Europeia e Estados Unidos

A partir da legislação apresentada e dos fatores indutores, é importante apresentar os resultados de tais ações, refletidos em termos da reciclagem de plásticos realizada na União Europeia e nos Estados Unidos.

Em 2010, foram produzidos aproximadamente 31,04 milhões de toneladas de resíduos plásticos nos Estados Unidos. Destes, apenas 2,64 milhões de toneladas foram recicladas, ou seja, 7,6%.

Levando-se em conta os produtos contidos entre os resíduos plásticos pós-consumo nos dados da EPA (2011) sobre gestão de resíduos sólidos, foram encontrados 10,6 milhões de toneladas de plásticos contidos em bens duráveis, dos quais apenas 700 mil foram reciclados; 6,4 milhões de toneladas estavam em bens não duráveis, e a quantidade reciclada foi considerada irrisória, sendo menos de 5.000 toneladas; e 13,68 milhões de toneladas estavam na forma de embalagens e containers, dos quais 1,66 milhão de toneladas foram recicladas (aproximadamente 12%). Das embalagens recicladas, a maioria era de refrigerantes, leite ou garrafas de água. As garrafas de água foram os produtos plásticos com maiores índices de reciclagem em 2010. A recuperação de garrafas de PEAD naturais (translúcidas) foi estimada em 28%, enquanto de PET foi de 21%.

Como já mencionado no capítulo2, a demanda europeia por plásticos foi de 46,4 milhões de toneladas, em 2010. Porém, somente um pouco mais da metade deste volume (24,7 milhões de toneladas) torna-se resíduo a cada ano, pois parte dos produtos são de longa duração. Em 2010, houve um aumento de 2,5% na geração de resíduos plásticos em relação ao ano anterior, e tal aumento foi um pouco menor do que o aumento da demanda, que foi de 4,5% no mesmo período.

Dos 24,7 milhões de resíduos plásticos em 2010, 10,4 milhões de toneladas foram para aterros sanitários, ou seja, 42,1%. Apresentando um aumento de 9,3% em relação a 2009, 14,3 milhões de toneladas foram recuperadas ou recicladas, totalizando 57,9% dos resíduos plásticos gerados. A quantidade reciclada foi menor do que a

recuperada energeticamente, com 6 milhões de toneladas e 8,3 milhões de toneladas, respectivamente. A Figura 6 é um diagrama da situação descrita acima.

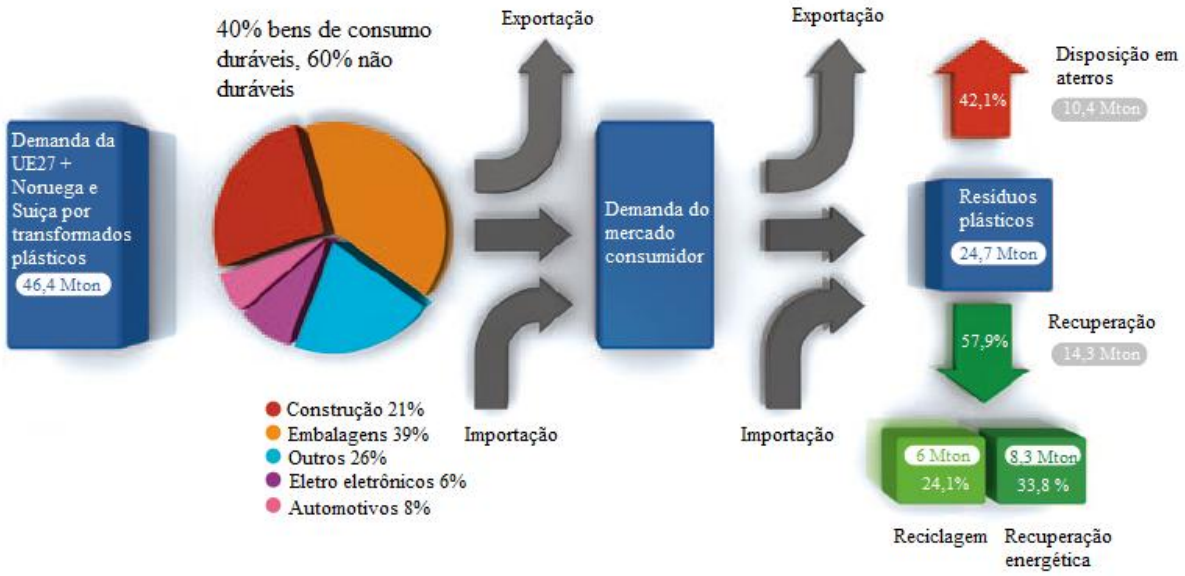

Figura 6. Diagrama do ciclo de vida do plástico na Europa.

Fonte: PLASTICS EUROPE, 2011.

Apesar de a geração de resíduos plásticos pelos Estados Unidos ter sido 20% maior do que a da União Europeia, os índices de reciclagem foram 5 vezes menores. Tal fator pode ser consequência de legislações menos eficientes ou de descaso do país para a reciclagem dos resíduos plásticos.

5. Legislação e dados sobre reciclagem de plásticos no Brasil

5.1. Legislação e fatores indutores

Para tratar da reciclagem no Brasil, é preciso, primeiramente, examinar as políticas de resíduos sólidos, pois não existe uma lei específica no país que aborde diretamente a reciclagem de plásticos. Para isso, a evolução dessas políticas será apresentada a seguir, em ordem cronológica.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, foi a primeira legislação a dispor sobre preservação ambiental e conservação de recursos naturais no país, e, embora trate desse segundo ponto sob a perspectiva de exaustão dos recursos, não aborda a disposição de resíduos ou reciclagem.

Em 1989, foi promulgada a Lei dos Agrotóxicos, Lei n° 7.802, posteriormente alterada pela Lei nº 9.974, de 6 de junho de 2000, para adicionar o tema da reciclagem de embalagens no art. 6° da antiga lei, estabelecendo que as embalagens de agrotóxicos e afins "devem ser projetadas e fabricadas de forma a impedir qualquer vazamento, evaporação, perda ou alteração de seu conteúdo e de modo a facilitar as operações de lavagem, classificação, reutilização e reciclagem" (inciso I). Além disso, impôs o sistema de logística reversa (apesar de não utilizar tal denominação), obrigando os usuários a devolver as embalagens vazias aos produtores e comerciantes (§ 2º, adicionado pela Lei n° 9.974/2000) e dar-lhes destinações adequadas , com vistas à reutilização, reciclagem ou inutilização (§ 5°, acrescentado pela Lei n° 9.974/2000).

A Política Nacional sobre Educação Ambiental (Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999) foi criada para incentivar crianças e professores a desenvolverem consciência ambiental, sendo especialmente importantes para a reciclagem os princípios que dizem respeito à sustentabilidade (art. 4°, II, e art. 5°, V), e à abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais (art. 4°, VII). Entre os objetivos, descatam-se o de estimular a consciência sobre a problemática ambiental e social, o incentivo à preservação do equilíbrio ambiental como parte do exercício da cidadania, assim como o incentivo à integração da ciência e tecnologia (art. 5°, III, IV e VI).

Uma medida importante foi a edição do Decreto n° 5940, de 2006, instituindo a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos públicos federais e a sua

destinação às cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Apesar de tal medida ser mais relevante para a reciclagem de papel, pois esse material é muito utilizado nas repartições, o Decreto teve por fim a destinação de qualquer material reciclável utilizado em entidades públicas.

Em seguida, foi sancionada a Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007 que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Segundo o escopo deste trabalho, serão mencionados apenas os dispositivos referentes a resíduos sólidos, iniciando pelo seu art 7° que define que, para os efeitos desta Lei, a coleta, transporte, triagem para fins de reuso e reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos estão contidos no serviço público de limpeza urbana e no manejo de resíduos sólidos urbanos.

Além disso, a citada lei estabeleceu que a União criasse, junto ao Ministério das Cidades, um Plano Nacional de Saneamento Básico (PlanSab) que, entre outros objetivos, deverá abranger o tema do manejo de resíduos sólidos, como explicitado no I do parágrafo 1°, art. 52. Até a data do presente texto, a elaboração desse Plano pelo Governo Federal junto ao Conselho das Cidades (ConCidades) ainda estava em andamento (www.ministeriodascidades.gov.br, 2011).

Posteriormente, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) liberou o uso de garrafas PET pós-consumo recicladas para uso em embalagens de alimentos no Brasil, sancionando a Resolução RDC nº 20, de 26 de março de 2008. O objetivo da Resolução foi o de estabelecer os requisitos gerais e os critérios de avaliação, aprovação/autorização e registro de embalagens de PET elaboradas com proporções variáveis de PET virgem (grau alimentício) e de PET pós-consumo reciclado descontaminado (grau alimentício), destinados a entrar em contato com alimentos.

A medida teve grande impacto, pois permitiu que as empresas autorizadas pudessem reciclar boa parte do material que até então tinha como destino depósitos e aterros sanitários ou era descartado na natureza.

A Resolução da Agência teve como base o surgimento de novas tecnologias capazes de limpar e descontaminar esse tipo de material, como o *super-clean* (processos sofisticados de limpeza mais profunda do material, para limpar o material reciclado que já foi lavado e fornece-lo características similares à resina virgem. Os principais processos utilizados são: tratamentos a alta temperaturas, tratamento à vácuo ou com gases inertes, e tratamento da superfície com gases não perigosos) e *bottle-to-bottle* (produtos que, após reciclados, são utilizados para a mesma função do pré-consumo), (TRIANTAFYLLOU et al., 2002; WELLE, 2011) independentemente do sistema de

coleta, e a solicitação de quatro empresas brasileiras - duas no Rio de Janeiro, uma em São Paulo e uma na Bahia - que apresentaram pedidos à ANVISA para adotar essas novas tecnologias.

No Anexo dessa Resolução consta todo o regulamento técnico sobre embalagens de PET pós-consumo recicladas destinadas a entrar em contato com alimentos.

Em 2010, após nove anos de discussão no Congresso Nacional, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de acordo com a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, alterando, assim, a Lei nº 9.605/98 sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Segundo o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamentou a Lei 12305/10, tal política "articula-se com as diretrizes nacionais para o saneamento básico e com a Política Federal de Saneamento Básico, nos termos da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005 (normas gerais de contratação de consórcios públicos), e com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999", citadas anteriormente.

Essa nova lei de resíduos sólidos é dividida em 4 Títulos, sendo estes: disposições gerais, a política nacional de resíduos sólidos, diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, e disposições finais e transitórias.

Com relação às disposições gerais, já no art. 1º são apresentados os princípios, objetivos e instrumentos dessa Política, visando o gerenciamento e gestão integrada dos resíduos sólidos, além da responsabilidade dos geradores e poder público, dispondo também dos instrumentos econômicos aplicáveis quando do seu descumprimento.

No art. 3º, entre as definições consta a de reciclagem, disposta no inciso XIV:

"Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa."

Para fins desta dissertação, outros artigos importantes da citada lei estão dispostos no Capítulo II, "Dos princípios e objetivos da PNRS". No art. 6°, que trata dos princípios, destacam-se os incisos IV, VII e VIII, sobre desenvolvimento sustentável, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania, respectivamente. O art. 7° discorre sobre os objetivos, tendo destaque os incisos II, que trata de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como da disposição

final ambientalmente adequada dos rejeitos; III, de estimular a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; XI, sobre prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para: a) produtos reciclados e recicláveis; b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis; XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético; XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

O art. 8º dispõe sobre os instrumentos que servirão de auxílio para o seu cumprimento, destacando-se, como os mais importantes para a reciclagem, nos incisos III, IV, VI e VIII,:

- a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

- o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

- a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;

- a educação ambiental.

O Título III, sobre as diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, é dividido em 6 capítulos: disposições preliminares, planos de resíduos sólidos, responsabilidades dos geradores e do poder público, resíduos perigosos, instrumentos econômicos, e proibições, nesta ordem.

Em relação à disposição dos resíduos sólidos, o art. 9° repete o descrito no II do art. 7º, enfatizando, contudo, que os atos estão elencados em uma ordem de prioridade, qual seja: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

No art. 15 consta que a União elaborará, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, o PNRS, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20

(vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos, tendo como conteúdo mínimo o inciso III, que impõe metas de redução, reutilização e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.

O art. 17 discorre sobre as mesmas obrigações, em nível estadual. Os Estados também deverão elaborar e implementar planos de resíduos sólidos para microrregiões, regiões metropolitanas ou conglomerados urbanos, estabelecendo que o plano microrregional de resíduos sólidos deve atender ao previsto para o plano estadual e estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e, consideradas as peculiaridades microrregionais, outros tipos de resíduos, conforme o parágrafo 3º deste artigo.

Em relação aos Municípios, na Seção IV do Capítulo II, sobre planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, deve-se destacar o § 1º, inciso II do art. 18, que estabelece prioridade de acesso aos recursos da União para os municípios que tiverem programas de coleta seletiva com a participação de catadores (pessoas físicas de baixa renda) e cooperativas.

Ainda com relação aos Municípios, o art. 19 trata do conteúdo mínimo dos planos de gestão. Deve-se dar ênfase aos X e XI, sobre programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos; e sobre a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver, respectivamente. E, como para os Estados, o XIV prevê a elaboração de metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.

Tendo em vista os geradores de resíduos sólidos, o plano de gerenciamento tem, como descrito no art. 21, metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem (VI); e, se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31 (VII).

A Seção II do Capítulo III trata da responsabilidade compartilhada dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. O art. 30 dispõe sobre a

responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, dando enfoque à sustentabilidade (I e IV), à redução da geração e o aproveitamento dos resíduos sólidos na sua própria ou em outras cadeias produtivas (II e III) e estimulando o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis.

O art. 32, de grande relevância para a área de plásticos, já que, como mencionado no capítulo 2 deste trabalho, aproximadamente 40% da produção refere-se ao setor de embalagens, dispõe que as embalagens devem ser fabricadas com materiais que facilitem a reutilização ou a reciclagem, sendo dever dos responsáveis assegurarem que estas sejam recicladas, se não for possível a reutilização (parágrafo 1º, inciso III).

É de interesse para o setor de plásticos que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes sejam responsáveis por implementar um sistema de logística reversa, garantindo o retorno dos produtos pós-consumo, independentemente dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. Incluídas no art. 33, que estabelece essas diretrizes, estão embalagens de agrotóxicos, pneus, de óleos lubrificantes e produtos eletrônicos, entre outros. De acordo com o parágrafo 1º, tais sistemas são estendidos a produtos fabricados com embalagens plásticas e, como já dito anteriormente, a logística reversa é um instrumento que auxilia a chegada de tais produtos à cadeia da reciclagem. Para auxiliar esse processo, os responsáveis podem disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis e/ou atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, nos casos de que trata o § 1° (parágrafo 3°, II e III, respectivamente). Os consumidores, comerciantes e fabricantes são todos responsáveis para que a logística reversa funcione, de acordo com os parágrafos 4°, 5° e 6°.

A lei impõe certas responsabilidades ao consumidores, como é o caso de municípios que possuem programas de coleta seletiva. Nesse caso, o art. 35 estabelece que os consumidores devem separar os resíduos sólidos dos outros tipos de resíduos gerados, dispondo adequadamente daqueles passíveis de reciclagem ou reuso para coleta ou devolução.

O poder público municipal, segundo o art. 36, deve ainda estabelecer sistemas de coleta seletiva, preocupar-se com a reutilização e reciclagem de resíduos sólidos advindos de serviços públicos de limpeza e viabilizar a logística reversa de produtos (I, II e III), além de priorizar as associações de catadores formadas por pessoas de baixa renda (§ 1º).

A lei também dispõe sobre instrumentos econômicos que facilitem o financiamento das medidas por ela apresentadas, a fim de incentivar sua implementação. O art. 42 trata da prioridade de fomento a iniciativas de:

"I - prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo;

II - desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida;

III - implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

IV - desenvolvimento de projetos de gestão dos resíduos sólidos de caráter intermunicipal ou, nos termos do inciso I do **caput** do art. 11, regional;

V - estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa;

VI - descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs;

VII - desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos;

VIII - desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos."

Em consequência, em 2010, o BNDES criou o Programa Proplástico, de apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva do plástico. O programa, que tem vigência até dezembro de 2012, tem como objetivos:

- Aumentar a produtividade de transformados plásticos, equipamentos, moldes e embalagens no setor de plásticos, além da reciclagem no país;
- estimular a melhoria dos padrões de qualidade dos produtos, assim como a produtividade das indústrias instaladas no Brasil;
- colaborar para a redução do déficit comercial de todo o segmento;
- renovar e modernizar o parque industrial no setor de transformados plásticos;
- incentivar a realização de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, baseados no desenvolvimento tecnológico;
- contribuir para o fortalecimento da empresa nacional nos ambitos econômico, comercial, adminstrativo-financeiro e tecnológico;
- apoiar o uso de fontes renováveis de energia, assim como atividades que melhorem os aspectos ambientais e sociais do país, como a reciclagem de produtos plásticos.

O apoio financeiro se dá por meio dos subprogramas socioambiental, de inovação, fortalecimento das empresas, produção e modernização e renovação de bens de capital, e visa apoiar empresas pertencentes à cadeia do plástico como fornecedores de equipamentos, produtores, distribuidores e recicladores (BNDES, 2008).

5.2. Dados da reciclagem de plástico no Brasil

A fim de situar a condição dos resíduos plásticos no país e da reciclagem, faz-se necessária uma pequena introdução sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. A definição de resíduos sólidos e a classificação dos resíduos plásticos já foram amplamente discutidas no capítulo 3, portanto este capítulo se restringirá a tratar da gestão dos resíduos sólidos urbanos e concentrar-se na reciclagem mecânica de plásticos, que é o enfoque principal do presente trabalho.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são bastante heterogêneos, com muitos componentes orgânicos e inorgânicos misturados, e sua composição varia bastante de acordo com os hábitos e cultura de cada população, local de produção do resíduo, classe econômica, etc. Sendo assim, é um tipo de resíduo de gerenciamento complicado. As opções de destinação e/ou tratamento devem levar em conta o alto grau de variação do RSU, que poderá ter diferentes quantidades de matérias sólidas, como plástico, e também grandes concentrações de matéria orgânica e umidade (SANTOS, 2011).

Um dos grandes problemas dos resíduos sólidos é o descarte inadequado. É enorme a quantidade de resíduos encontrada nos rios, mares, solos e em outros ambientes. O descarte incorreto acaba sendo comum no Brasil, e as principais razões são a falta de coleta de lixo, especialmente em comunidades mais pobres, e o péssimo hábito brasileiro de jogar lixo no chão, nas ruas e nos corpos d'água (COELHO, 2011)

As práticas mais comuns e corretas de destinação/tratamento de resíduos sólidos urbanos no mundo são o envio para aterros, para incineração ou para reciclagem (SANTOS, 2011), como descrito no capítulo 3. Porém, no Brasil, a incineração de resíduos não é muito difundida e se caracteriza pela existência de grande quantidade de incineradores de porte muito pequeno, instalados em hospitais, casas de saúde, etc., para incineração de resíduos de serviços de saúde **(**MENEZES, 2000**).**

É pertinente lembrar que, mesmo considerando formas de pré-tratamento do RSU, seja da parte orgânica ou da reciclável, haverá uma pequena porção de resíduos que não

poderá ser tratada e deverá ser destinada a aterros, ou reaproveitada como matéria-prima de algum processo.

A destinação dos RSUs para aterros continua sendo a prática mais comum em todo o mundo, quando se trata de gerenciamento destes resíduos. É também a mais utilizada no Brasil e na América Latina por ser a forma mais barata de disposição dos resíduos, ocorrendo, em geral, em países menos desenvolvidos, pois eles possuem menos aterros sanitários e mais lixões e aterros controlados, que são formas de disposição incorretas.
Uma das grandes preocupações com relação aos aterros está nos passivos ambientais, gerados durante os anos de operação, e que depois continuam contaminando a região do aterro durante longos períodos, mesmo após o encerramento de suas atividades. Ainda que em boas condições operacionais e com as tecnologias adequadas de impermeabilização dos solos e tratamento dos efluentes, pode haver contaminação do ambiente ao redor, principalmente dos solos, ar e corpos hídricos, o que inviabiliza a utilização de grandes áreas durante muito tempo e desvaloriza a região dos aterros (SANTOS, 2011).

Segundo os dados do IBGE (2008), o Brasil possui 5.564 municípios com grandes variações populacionais (entre 2,5 mil e 15 milhões de habitantes) onde são coletadas quase 260.000 toneladas de resíduos sólidos por dia. Sendo um país com dimensões continentais, e a responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos tendo sido atribuída aos municípios, grande parte deles com população pequena, um proporção relevante não consegue efetuar uma gestão adequada dos RSUs. Por exemplo, entre todos os municípios, praticamente 100% possuem manejo de resíduos sólidos (5.562 de 5.564), porém apenas 27,68% (1.540) destinam seus resíduos a aterros sanitários, enquanto a maioria[1], 75,73% (4.212) possui destinações inadequadas, como vazadouros a céu aberto.

Um dos grandes problemas já mencionados no capítulo anterior é a presença de catadores de resíduos nas ruas e nos lixões. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, esses trabalhadores são parte muito importante do setor da reciclagem. Pode-se dizer, inclusive, que nesses países o setor da reciclagem é composto por três atores principais: os catadores, os intermediários e as indústrias recicladoras. Os catadores de material reciclável são trabalhadores que coletam, segregam, selecionam e vendem materiais recicláveis, tais como plástico, vidro, papel e papelão, entre outros. Os intermediários são organizações que compram e vendem os materiais coletados. Algumas dessas organizações realizam as próprias coletas, além das atividades

principais de pesar, triar, triturar, prensar, armazenar e transportar os materiais. Os intermediários podem ser cooperativas e associações de catadores ou empresas que fazem o preparo do material a ser vendido para as indústrias recicladoras, que são as responsáveis pela transformação do material reciclável (AQUINO, CASTILHO E PIRES, 2009).

A desigualdade social brasileira é a base para a atividade dos catadores. O serviço ambiental prestado pelo catador é uma forma de sobreviver, e assim eles acabam por auxiliar na preservação ambiental a partir da limpeza pública, aumentando a vida útil dos aterros, ambos por causa da coleta de resíduos realizada, e também ampliando o ciclo de vida dos materiais, a partir da revenda para a indústria da reciclagem (Mota, 2005). A sobrevivência a partir do lixo não significa uma escolha ou um meio para aumentar a quantidade de rendar familiar, e sim uma condição de vida, na qual muitas vezes essas pessoas trabalham junto com seus familiares, incluindo crianças, em condições muito precárias e tendo que "trabalhar" longe de casa, por muitas horas seguidas e percorrendo distâncias enormes (MACHADO *et al*., 2006).

Nos países desenvolvidos, a cadeia da reciclagem possui outros atores e inexiste o trabalho informal observado nos países em desenvolvimento. Ao contrário do que ocorre no Brasil, toda a sociedade participa do processo, separando o próprio lixo e dispondo-o no local adequado para a coleta. A gestão ambientalmente correta de resíduos, então, possui outros dois atores principais e bastante interligados, e que estão começando a surgir no Brasil, que são a coleta seletiva e a logística reversa. A primeira leva à separação dos resíduos e a segunda, ao direcionamento para a cadeia de reciclagem e retorno de matéria-prima aos produtores.

A coleta seletiva é um método de segregação na fonte geradora, ou seja, pelo próprio consumidor. Após essa separação, o material doméstico selecionado é recolhido por veículos específicos da prefeitura ou particulares (IBAM, 2001).

O modelo mais utilizado pela população nas residências é o da separação do lixo em orgânico (úmido) ou reciclável/inorgânico (seco). O material orgânico junto com o lixo comum vão ser compostos por restos de alimentos e materiais não reciclados, sendo recolhidos pelo sistema de coleta de lixo comum. O material reciclável, como papéis, metais, plásticos e vidros, será coletado pelos veículos de coleta seletiva.

Outro modelo de coleta seletiva, que é o mais utilizado em lugares públicos, como universidades, *shopping centers*, lojas, etc., conta com a disposição dos diferentes tipos de materiais em containeres separados e identificados por cor e nome do material a

ser acondicionado em cada um (Tabela 5). É um método menos simples de ser implementado em residências, por causa da necessidade de maiores estações para acondicionamento dos containers.

Tabela 5. Código de cores dos resíduos sólidos recicláveis.

Cor do contêiner	Material reciclável
Azul	Papéis/Papelão
Vermelho	Plástico
Verde	Vidros
Amarelo	Metais
Preto	Madeira
Laranja	Resíduos Perigosos
Branco	Resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde
Marrom	Resíduos orgânicos
Cinza	Resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado, não passível de separação

Fonte: IBAM, 2001

Os materiais coletados são então levados a uma estação de triagem para que, nas mesas de catação, seja feita uma seleção mais rigorosa do que realmente pode ser comercializado e destinado à reciclagem (IBAM, 2001).

É necessário que seja feita uma orientação adequada da população sobre o que deve ser descartado como lixo seco, para facilitar o trabalho de quem for fazer a triagem e diminuir os custos de disposição de rejeitos nestas estações.

A coleta seletiva porta-a-porta é um sistema caro, pois demanda veículos específicos para transporte dos materiais, sendo esses diferentes dos usados no transporte de lixo comum (IBAM, 2001). Como esses sistemas de coleta possuem altos custos, muitas vezes, são consideradas mais viáveis recomendações de redução na fonte, possível com o uso de embalagens mais duradouras e de maior capacidade, do que a reciclagem. Porém, para os plásticos, a redução na fonte por meio da substituição de materiais não é uma boa alternativa, já que os plásticos são mais leves, baratos e

garantem melhor qualidade de vida se comparados aos seus potenciais substitutos (SANTOS, 2004), a não ser que seja feita nas próprias indústrias, a partir da redução nas quantidades de resinas usadas na fabricação dos produtos.

Os conceitos e aplicações de coleta seletiva e logística reversa estão diretamente conectados, já que um sistema dependerá e funcionará muito melhor se o outro também existir. A logística reversa envolve o retorno dos produtos, embalagens e materiais ao ciclo produtivo (COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2008), o que se torna muito mais simples se eles já tiverem sido pré-selecionados a partir da coleta seletiva.

Há poucas décadas, o conceito de logística reversa restringia-se ao fluxo contrário ao fluxo direto de produtos em uma cadeia de suprimentos. Atualmente, a partir de novas abordagens, o conceito de logística reversa tornou-se algo mais amplo e inclui a preocupação com o meio ambiente. Assim, tal logística passou a ter a função, para as empresas, de redução de perdas (CHAVES e BATALHA, 2006) e, impulsionada principalmente por fins lucrativos, tem avançado bastante na Europa e nos Estados Unidos, apesar de ainda ser bastante incipiente em outros lugares do mundo (SRIVASTAVA e SRIVASTAVA, 2006), como o Brasil.

A logística reversa engloba também o retorno dos produtos e seus componentes, que podem ser, no caso dos plásticos, os mais diversos tipos de produtos pós-consumo, como embalagens, objetos duráveis ou não duráveis, carcaças de eletro- eletrônicos, entre muitos outros. O conceito de logística reversa hoje vem acoplado a um sentido de ciclo, onde o que é descartado pelo consumidor volta ao produtor. Ou seja, o novo foco da logística envolve a reintrodução de materiais ou produtos na cadeia produtiva, a partir da coleta, desmonte e reprocessamento. Então, produtos finais que podem ser reciclados podem retornar ao produtor como matéria-prima a partir da reciclagem, que irá impulsionar a prática da logística reversa. Outra vantagem desse processo é a manutenção da qualidade ambiental e a redução dos impactos, sem prejudicar o desempenho econômico das empresas (FIGUEIRÓ, 2010).

A logística reversa pós-consumo é um instrumento da gestão ambiental, uma vez que é uma ferramenta importante para se implementar programas de produção e consumo sustentáveis.

Os resultados favoráveis da logística reversa dependerão então, entre outros fatores, dos atores que fazem parte da cadeia produtiva e, principalmente, de programas e políticas públicas que levem o consumidor à conscientização da importância do

descarte correto pós-consumo, da coleta seletiva e do apoio à reciclagem (FIGUEIRÓ, 2010).

Para o processo de reciclagem, a logística reversa é muito importante, uma vez que facilita o retorno dos materiais pós-consumo para que sirvam de matéria prima novamente, nos centros de produção (COLTRO, GASPARINA e QUEIROZ, 2008).

A coleta seletiva, parte fundamental na gestão de resíduos sólidos e principalmente no auxílio à reciclagem, apesar de ser amplamente discutida nos meios de comunicação e nos debates sociais, ainda é muito pouco aplicada no gerenciamento de resíduos nos municípios brasileiros, e a sua organização e responsabilidade é dos próprios municípios e suas prefeituras.

Mesmo com todo o apelo ambiental e social, menos de 20% dos municípios brasileiros possuem qualquer programa de coleta seletiva, segundo o IBGE (2008). Os dados da CICLOSOFT (2010) divergem destes ao afirmarem que apenas 443 municípios (8% do total) realizam programas de coleta seletiva. Nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, as situações são as mais delicada, uma vez que menos de 15% dos municípios realiza este tipo de coleta, oposto do que ocorre na região Sul, onde 35% dos municípios realizam a coleta seletiva. Além disso, menos de 7% dos municípios brasileiros dizem haver coleta seletiva em todo o seu território, e outros (9%) declaram a existência de programas apenas nas áreas urbanas. Os municípios com melhores índices encontram-se nas regiões sul e sudeste (IBGE, 2008). A indústria da reciclagem de plástico no Brasil é composta pelos recicladores e também pelos catadores, como já afirmado anteriormente. A Tabela 6 mostra a quantidade de recicladores e cooperativas de catadores por estado e por capital.

Apresentando um resumo da Tabela 6, a Tabela 7 mostra a quantidade e a proporção das empresas recicladoras por região com relação ao total de empresas recicladoras de plástico no país.

Tabela 6. Número de empresas recicladoras de plástico e cooperativas de catadores por estado e por capital.

Estados e Distrito Federal	**Recicladores (total)**	**Recicladores nas capitais**	**Cooperativas de catadores**	**Cooperativas de catadores por capital**
Acre	5	0	1	1
Alagoas	4	2	2	1
Amazonas	1	1	7	5
Amapá	0	0	0	0
Bahia	27	7	36	12
Ceará	33	14	7	1
Distrito Federal	2	1	8	5
Espirito Santo	16	0	11	3
Goiás	28	11	8	5
Maranhão	4	2	3	2
Minas Gerais	84	5	49	6
Mato Grosso	11	5	2	1
Mato Grosso do Sul	2	1	4	2
Pará	4	2	8	3
Paraíba	5	3	1	0
Pernambuco	13	7	20	7
Piauí	2	1	2	1
Paraná	76	12	39	9
Rio de Janeiro	76	25	41	23
Rio Grande do Norte	6	3	5	2
Rio Grande do Sul	91	9	51	10
Rondônia	6	2	5	2
Roraima*	-	-	-	-
Santa Catarina	53	0	19	3
São Paulo	395	102	218	74
Sergipe	2	1	2	1
Tocantins	1	0	2	0
Total	947	-	551	-

*Não havia no CEMPRE nenhum dado sobre Roraima.
Fonte: fabricação própria a partir dos dados do CEMPRE (2012).

Tabela 7. Número de empresas recicladoras de plástico por região e representatividade no total de empresas.

Região	**Nº de empresas**	**Participação(%)**
Norte	16	1,7%
Centro-oeste	44	4,7%
Nordeste	96	10,1%
Sul	220	23,2%
Sudeste	571	60,3%
Total	947	100%

Fonte: adaptado de PLASTIVIDA, 2009.

O setor de reciclagem de plásticos no Brasil gerou 18.288 empregos diretos em 2010, apresentando um faturamento de R$ 1.948.000,00. A capacidade instalada é de 1,477 milhões de toneladas, mas a indústria da reciclagem opera hoje com um taxa de ociosidade de 35,5 % (PLASTIVIDA, 2010).

Em 2010, foram reciclados, no Brasil, 953 mil toneladas de plásticos (sendo 606 mil toneladas de plásticos pós-consumo e o restante de plásticos industriais), representando um crescimento de 2,5% em relação a 2009. Ainda assim, o ano de 2008 foi o que apresentou o maior valor de reciclagem já visto no país, tendo sido recuperadas 980 mil toneladas de plástico.

De acordo com os dados da PLASTIVIDA de 2010, do total dos resíduos plásticos gerados neste ano, 19,4% foram reciclados mecanicamente. A resina mais reciclada foi o PET, e o Gráfico 8 apresenta dos valores percentuais das resinas recicladas pós-consumo em 2010.

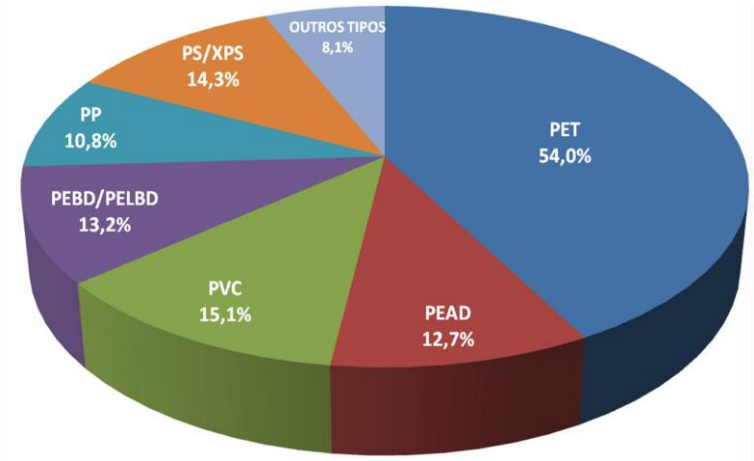

Gráfico 8. Índice de reciclagem de plásticos pós-consumo em 2010 por tipo de resina.
Fonte: PLASTIVIDA, 2010.

6. Vantagens, Desvantagens e Perspectivas da Reciclagem

A reciclagem de plásticos é um processo que envolve diversos setores da sociedade e irá depender do compromisso de produtores, consumidores, trabalhadores do setor, governos e do mercado dos produtos reciclados. Não é possível afirmar que seus benefícios sejam absolutos em relação a outros métodos, mas é possível discutir em que casos ela é mais vantajosa, principalmente se comparada a não produção de resinas virgens, o que gerará, entre outros fatores, economia de matéria-prima.

6.1. Um estudo internacional

O programa WRAP (*Waste and Resources Action Programme*) realizou um estudo em 2006, revisado em 2010, baseado em uma revisão internacional de análises de ciclo de vida para avaliar os impactos ambientais das diferentes destinações que os resíduos podem ter: reciclagem, aterro, incineração, pirólise, gaseificação, compostagem e digestão anaeróbica. Os diferentes tipos de resíduos analisados foram: papel e papelão, vidro, plásticos, madeira, alumínio e agregados (WRAP, 2010). Os possíveis impactos trabalhados incluíram a exaustão de recursos naturais, o potencial de mudanças climáticas, a demanda energética, o consumo de água, e também a acidificação, a formação de foto-oxidantes, a eutrofização e a toxicidade humana. As possíveis destinações do plástico consideradas foram: reciclagem, aterro, incineração e pirólise. Para o estudo, foram selecionados 8 artigos que tratam de polietileno (PE) (às vezes dividido em PEAD - polietileno de alta densidade e PEBD - polietileno de baixa densidade); polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e poli(cloreto de vinila) (PVC). Alguns cenários também consideraram uma mistura de tipos plásticos (MIX). No total, foram apresentados 22 casos, resultando em 64 cenários que relacionam os tipos de plásticos com suas possíveis destinações finais (Tabela 8).

No estudo 8, a reciclagem empregada para o PS é um tipo de reciclagem química conhecida como reciclagem de matéria-prima, em que o material sofre uma mudança em sua estrutura química e o material final pode ser usado para outro finalidade. Nos demais casos, a reciclagem empregada é a reciclagem mecânica.

Em relação aos possíveis impactos apresentados, o estudo concluiu em relação às **Mudanças climáticas** que a reciclagem é preferível às outras possíveis destinações. O potencial de mudança climática está apresentado como equivalentes de CO_2, e de

acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) os prazos usados são de 20, 100 e 500 anos (artigo 3). Em comparação com a incineração, a reciclagem apresentou uma vantagem inequívoca, uma vez que para 63% dos casos a reciclagem apresentou uma vantagem superior a 150%. Entretanto, no artigo 3 a reciclagem do PVC apresentou benefícios mais baixos, devido a maior dificuldade na reciclagem desse plástico. O estudo 8 [PS1*] também apresentou menores benefícios da reciclagem. Nesse caso, a reciclagem empregada não era a mecânica, e o material era usado em coquerias em substituição ao carvão, sendo dessa forma desvantajoso em comparação à incineração.

Em comparação com o aterro, em 89% dos casos a reciclagem é pelo menos 100% mais favorável. Os dois estudos que compararam a reciclagem com a pirólise (2 e 4) também apontaram a reciclagem como sendo menos impactante nas mudanças climáticas. No estudo 2, observa-se que a emissão de gases do efeito estufa são muito semelhantes para os dois processos; entretanto, a reciclagem ganha créditos por evitar a emissão de gases no processo de produção de novas resinas. A incineração com recuperação energética foi apontada como o pior caso em vista das mudanças climáticas, pois a sua queima produz mais gases do efeito estufa do que se a mesma quantidade de energia fosse produzida com a queima de gás natural. Portanto, os estudos comparativos tendem a privilegiar a reciclagem mecânica do ponto de vista das mudanças climáticas.

Em relação à **Exaustão dos recursos naturais**, a maior contribuição nessa categoria está relacionada ao consumo de combustíveis fósseis. Os dados mostram que a reciclagem é sempre mais favorável que as demais alternativas, pois ao evitar a produção de novas resinas, diminui o consumo de derivados de petróleo usados como matéria-prima e no consumo de energia empregada no processo de produção. A maior diferença é observada em relação ao aterro, enquanto a menor diferença é obtida quando se compara com a pirólise. O aterro não gera nada (nem energia, nem material que pode ser empregado de alguma forma) e em contrapartida consome tanto no transporte quanto no seu preparo e manutenção. O processo de pirólise consome energia; entretanto, produz matéria-prima ou combustível, dependendo do processo. Em todos os casos que consideraram pirólise, esta se apresentou melhor do que a incineração com recuperação energética, pois a queima para geração de energia não é muito eficiente. Novamente, a disposição em aterros mostrou-se a pior alternativa. Porém, em dois casos analisados no artigo 3, PET e PVC, a disposição em aterros apresentou mais benefícios que a

incineração, pois estas resinas apresentam baixo poder calorífico (21 e 29 MJ/ton, respectivamente) se comparadas com outras resinas de poder calorífico acima de 40 MJ/ton, apresentadas no artigo 4.

Tabela 8. Alternativas de disposição final dos plásticos para os casos apresentados.

Caso	**Reciclagem**	**Compostagem**	**Somente recuperação energética**	**Incineração com recuperação de calor ou calor/energia**	**Aterro**	**Digestão anaeróbica**	**Pirólise**	**Gaseificação**
1 [PE]	X			X	X			
1 [PET]	X			X	X			
2 [MIX1]	X		X		X		X	
2 [MIX2]	X		X		X		X	
2 [MIX3]	X		X		X		X	
2 [MIX4]	X		X		X		X	
3 [PE]	X			X	X			
3 [PP]	X			X	X			
3 [PS]	X			X	X			
3 [PET]	X			X	X			
3 [PVC]	X			X	X			
4 [MIX]	X		X		X		X	
5 [MIX]	X		X					
6 [HDPE]	X		X		X			
6 [LDPE]	X		X		X			
6 [PET]	X		X		X			
7 [PET]	X				X			
7 [PE]	X				X			
7 [PVC]	X				X			
8 [PS1]	X*			X				
8 [PS2]	X			X				
8 [PS3]	X			X				
N° total de casos	22	0	9	10	18	0	5	0

Nota: * Reciclagem química: o PS recuperado é usado em fornos, substituindo o coque.

Fonte: Wrap, 2010.

Em relação à **Demanda energética**, a reciclagem aparece como sendo preferível à disposição em aterros em todos os casos. Comparando a reciclagem com a incineração, apesar de a maioria dos casos apontar a reciclagem como sendo mais vantajosa, três casos são a favor da incineração. Dois deles são relativos ao artigo 2;

nesses processos, as etapas de separação, lavagem, secagem e reprocessamento requerem muita energia. O outro caso é o 8 (PS1*), no qual o processo é a reciclagem química, processo em que há demanda de energia e seu produto não substitui a resina virgem, ganhando crédito apenas pela substituição do carvão. Os quatro casos que tratam de pirólise apresentam esta alternativa como sendo mais energeticamente econômica do que a reciclagem. A incineração aparece como sendo uma alternativa melhor que os aterros, porém pior que a pirólise. Apesar de o aterro demandar pouca energia, essa opção é a que apresenta o pior cenário, porque nenhuma energia é gerada ou poupada, por evitar a produção de novas resinas ou a queima de algum combustível. Os trabalhos 2 e 4 não consideram a produção de biogás em aterros.

Em relação ao **Consumo de água**, só os artigos 4 e 7 analisam o consumo de água e o estudo 7 só compara reciclagem e aterro. O uso da água pode ser considerado como um indicador ambiental, onde se encaixa na categoria de impacto no esgotamento de recursos abióticos e cobre toda forma de consumo de água doce (estudo 7). A conclusão do artigo 4 é que a reciclagem é muito preferível à incineração, aterro e pirólise, por causa do consumo associado às atividades paralelas e necessárias para resfriamento de correntes, lavagem de gases e manutenção dos aterros sanitários. Os resultados do estudo 7 diferem, dependendo do material. A reciclagem parece ser melhor para o PVC. Para PET e PE, a reciclagem demanda muita água para lavagem, mais do que para a produção da resina virgem. O artigo 4 ainda faz a comparação entre incineração, aterro e pirólise, e conclui que reciclagem e pirólise gastam menos água que aterro e incineração, que usam quantidades similares.

O estudo avaliou ainda outros indicadores. Em relação à **Acidificação**, a reciclagem aparece como sendo a opção preferível na maioria dos casos, enquanto a disposição em aterros parece ser a pior opção. O potencial de acidificação é expresso como equivalentes de SO_2 e é caracterizado de acordo com o método de FINNVEDEN *et al.* (1992) (apresentado em LINDFORS *et al.* 1995), onde o efeito acidificante é definido como a quantidade de prótons liberados em um sistema (artigo 3). No estudo 2, fica bem aparente a diferença entre a reciclagem e os demais cenários. Isso se deve a grande importância dada à substituição da resina virgem, pois a sua produção é o principal responsável pela emissão de gases acidificantes. A reciclagem química (caso 8[PS1]) aparece novamente como uma exceção, sendo pior do que a incineração.

Com relação à **Formação de foto-oxidantes**, a maioria dos casos aponta a reciclagem como opção preferível e os aterros como sendo a pior opção com relação a

esse indicador. No estudo 7, as emissões cumulativas da produção de resinas virgens de PET e HDPE são maiores do que as emissões cumulativas do processo de reciclagem e coleta desses materiais. Porém, na reciclagem do PVC (caso 7 PVC), a disposição em aterros é preferível à reciclagem. A formação de foto-oxidantes é representado pelo potencial de formação de ozônio fotoquímico, disponível em compostos orgânicos voláteis em diferentes concentrações de NOx. O potencial de formação de foto-oxidantes é expresso como equivalentes de C_2H_4 (estudo 3). No estudo 2, a reciclagem mecânica apresenta o melhor cenário, seguido da pirólise e a incineração. No estudo 3, as resinas PE, PP, PS, PET e PVC apresentaram melhor cenário para a reciclagem mecânica, seguido pela incineração. Nesse caso, para o PVC a reciclagem apresentou como uma proposta com menor emissão de gases precursores de foto-oxidação, ao contrário do que é apresentado no estudo 7.

Em relação à **Eutrofização**, o resultado muda completamente dependendo da janela de tempo considerada. Quando o período de análise for apenas 100 anos, nenhum dos tratamentos do resíduo plástico apresenta um impacto muito significativo. Entretanto, quando a janela de tempo é aumentada para um período muito mais longo (60.000 anos) todos os tratamentos, com exceção da incineração, apresentaram algum efeito prejudicial, principalmente o aterro. No aterro, a degradação do plástico, principalmente o PET que apresenta aditivos com compostos nitrogenados, promove maior eutrofização. Com relação à **Toxicidade humana**, novamente a reciclagem e a pirólise são apontadas como as melhores opções, enquanto os aterros são claramente as piores opções. Os efeitos toxicológicos no ecossistema e na saúde humana são difíceis de modelar e as incertezas nessa área são consideráveis. Por essas razões, no artigo 3 o autor cita dois diferentes métodos que foram aplicados para classificar e caracterizar esses efeitos. Os métodos foram o modelo USES-LCA de Dutch e o método de Danish EDIP.

Os parâmetros chaves utilizados nesse livro foram tempo, produção evitada de material e razão de substituição, tipo de energia recuperada e, por fim, a eficiência na separação e a opção padrão de destinação. A maior parte das análises de ciclo de vida foi feita considerando um período de 100 anos; porém, vários estudiosos do assunto contestam essa questão. Esse debate é crucial para o plástico, já que a sua degradação é muito lenta e as emissões vão ocorrer em uma janela de tempo maior do que 100 anos. Com isso, o indicador de mudanças climáticas é o mais afetado, já que a emissão dos

gases de efeito estufa vai variar de acordo com esse parâmetro. O estudo 3 considerou uma janela de tempo infinita, enquanto os outros se atêm aos 100 anos (Tabela 9).

Tabela 9. Análise da influência do tempo na performance dos aterros

Tempo	***Ranking* entre alternativas para potenciais impactos nas mudanças climáticas**
Infinito	Reciclagem < incineração < aterro
100 anos	Reciclagem < aterro < incineração

Fonte: WRAP, 2010.

O desempenho ambiental positivo da reciclagem e da pirólise está principalmente relacionado à quantidade de resina virgem produzida. Porém, há divergências sobre como as resinas recicladas irão substituir as virgens e em que razão isso irá ocorrer. Atualmente, a maioria das análises de ciclo de vida assume que a substituição será de 1:1 (1kg de resina reciclada substituirá 1kg de resina virgem). Isso implica que as resinas recicladas sejam de alta qualidade. O artigo 2 assume uma substituição de 20% (os outros 80% sendo divididos igualmente entre madeira e concreto) e, com relação ao aquecimento global, os impactos não são mais compensados pelo não uso de resina virgem. Assim, a melhor opção para destinação de resíduos seria pirólise, depois aterro, em terceiro lugar reciclagem e, por último, incineração. Ou seja, as escolhas do material e da razão de substituição são cruciais, mas não são observadas nesse relatório, já que a maioria dos estudos admite uma substituição de 100% de resina virgem por reciclada.

A recuperação energética é principalmente associada à incineração, mas há casos em que os aterros realizam captura de biogás para tal fim. A recuperação energética pode em alguns casos compensar os impactos de tratamento de resíduo. É importante saber quanto de energia elétrica e calor a partir do uso de combustíveis é evitado pela incineração. Nos estudos analisados em plantas com geração exclusiva de energia, a eficiência varia entre 15-30%. Outro ponto é considerar que tipo de combustível vai ser substituído pela energia gerada pela incineração de resíduos. Em relação às mudanças climáticas, a substituição de gás natural não apresentou variações nos resultados. Já a de carvão apresentou, mas não o suficiente para mudar os resultados das análises feitas.

Com relação ao processo de segregação dos plásticos, a reciclagem e a pirólise são bastante afetadas. Quanto menos segregado for o material a ser reciclado, menor será a eficiência do processo.

Finalmente, o estudo conclui que a reciclagem mecânica foi a que apresentou menores impactos em relação às mudanças climáticas, exaustão de recursos naturais e demanda energética. A incineração com recuperação energética parece constituir uma escolha ruim, pois emite muitos gases de efeito estufa. São necessários mais estudos de pirólise, pois esta parece ser uma opção promissora para reduzir os impactos dos resíduos plásticos. A disposição em aterros, como já era esperado, apareceu como sendo a pior opção em termos de impactos ambientais dos parâmetros analisados.

Como já discutido, a janela de tempo escolhida é essencial para a determinação dos impactos de emissões. Como os plásticos se degradam muito lentamente, seria necessário um período de algumas centenas de anos para que estes apresentem impactos nas mudanças climáticas. Ocorre, então, uma subestimação dos impactos por emissões dos plásticos quando se usa uma janela de apenas 100 anos, que é a comumente utilizada.

Muitos benefícios da reciclagem são devido à redução na produção de resina virgem. Para maximizar tal benefício, o material reciclado deve ser de alta qualidade e pureza para poder substituir 100% as resinas virgens.

6.2. Um estudo brasileiro

O Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada, IPEA, realizou, em 2010, uma pesquisa sobre pagamentos por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos para estimar os benefícios atuais e potenciais, econômicos e ambientais gerados pela reciclagem de resíduos sólidos urbanos (RSUs) no país (primeira parte) e propor diretrizes para possíveis pagamentos a catadores de material reciclável por serviços ambientais urbanos prestados (segunda parte). O enfoque será dado para os resíduos plásticos, mas as tabelas apresentadas contarão com os outros tipos de resíduos utilizados no estudo (aço, alumínio, vidro, papel (celulose)) para fins de comparação.

No relatório da pesquisa, os benefícios econômicos são tratados como os custos evitados pela reciclagem em termos de consumo de recursos naturais e de energia. Já os benefícios ambientais estão relacionados com os impactos sobre o meio ambiente devido ao consumo de energia e água, às emissões de gases de efeito estufa (GEEs), à

perda de biodiversidade. Toda a metodologia está descrita no trabalho ou referenciada, utilizando bibliografia científica.

Os benefícios econômicos da reciclagem foram calculados a partir da diferença entre os custos de insumos (matéria prima virgem) para a produção de bens e os custos de insumos (material reciclado, ou secundário) para a produção de bens. Para cada um dos materiais estudados, identificaram-se as principais matérias-primas consumidas, a quantidade de energia e água utilizadas nos processos, bem como os resíduos gerados (sólidos, líquidos e gasosos).

Os custos foram calculados somente até a produção de um bem intermediário determinado (na Figura 6, é o produto intermediário n), o qual foi identificado como aquele que poderia ser substituído diretamente por um material secundário. Apesar desta assunção, sabe-se que, provavelmente, esta substituição não seja plenamente viável do ponto de vista quantitativo, fazendo com que, por exemplo, o aumento da reciclagem leve ao fechamento de minas ou de fábricas de celulose. Argumenta-se apenas que o aumento da taxa de reciclagem de resíduos poderá aumentar a vida útil das reservas de recursos não renováveis e diminuir a pressão sobre recursos renováveis.

Ainda, assumiu-se que os produtos intermediários produzidos a partir de matéria-prima virgem podem ser substituídos por materiais secundários sem perda de qualidade do produto final. Como é possível ser observado na Figura 7, outro pressuposto foi o de que a reinserção de um produto secundário na cadeia produtiva faria com que não ocorressem impactos ambientais antes do ponto de reinserção. Tal raciocínio é válido, principalmente para os recursos naturais não renováveis, pois evita a extração dos mesmos. Também foram estimados os custos econômicos gerados pela reciclagem, e os elementos considerados foram a água e a energia consumidas e a própria sucata.

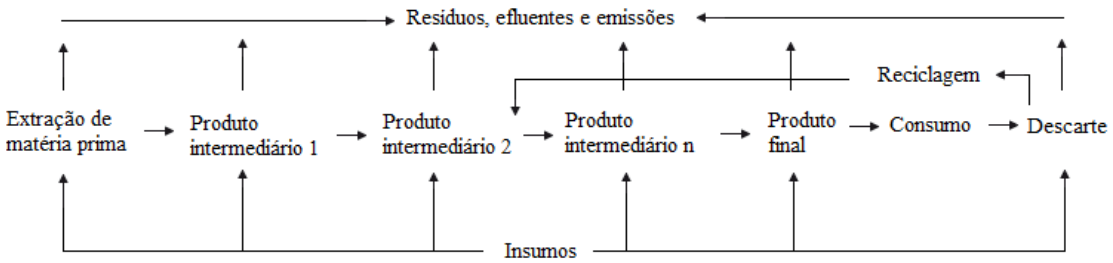

Figura 7. Representação do modelo adotado pelo IPEA para estimativas dos custos econômicos. Fonte: IPEA, 2010.

a) Benefícios associados ao processo produtivo

O benefício líquido da reciclagem (Tabela 10) foi calculado a partir da subtração do custo da reciclagem do custo do material primário. Assumiu-se a substituição de 100% de uma tonelada de resina reciclada pela resina virgem. Ou seja, um quilo de plástico reciclado entraria na cadeia evitando a produção de um quilo de plástico virgem.

O relatório realça a utilização de muitos pressupostos e simplificações para que se chegasse às estimativas apresentadas na Tabela 10. Assim sendo, tais valores devem ser considerados apenas como indicativos da ordem de grandeza dos benefícios da reciclagem. Ademais, deve-se enfatizar a necessidade de cautela na comparação entre os diferentes materiais, tendo em vista que o valor associado a cada material foi estimado a partir de metodologias e fontes de informação distintas.

Tabela 10. Estimativa dos benefícios econômicos associados à redução do consumo de insumos.

Materiais	Custos dos insumos para produção primária (R$/t)	Custos dos insumos para produção a partir da reciclagem (R$/t)	Benefícios líquidos da reciclagem (R$/t)
Aço	552	425	127
Alumínio	6162	3447	2715
Celulose	687	357	330
Plástico	1790	626	1164
Vidro	263	143	120

Fonte: IPEA, 2010.

Foi realizada uma comparação entre os valores para a produção primária dos materiais com os preços de mercado dos materiais intermediários e os preços de mercado das sucatas, apresentada na Tabela 11. Supõe-se que os custos dos insumos da produção primária situam-se entre esses dois preços (de produção do material e do seu preço no mercado). Este custo de insumos deveria estar abaixo do preço de mercado, uma vez que é parte constituinte deste, e acima do preço da sua sucata, justamente porque, do contrário, a reciclagem não seria economicamente viável.

Com relação aos benefícios ambientais, houve falta de dados para fazer a valoração de todos os impactos ambientais de todos os materiais, como cálculos de

emissões atmosféricas locais, poluição hídrica ou geração de resíduos industriais. Além disso, os cálculos foram conservadores, sendo assim uma indicação dos valores mínimos associado aos benefícios ambientais gerados pela reciclagem. Foram excluídos dos cálculos os custos ambientais do transporte de materiais, como emissões de GEEs, pois a dificuldade para fazer o balanço entre o transporte do material virgem e do reciclado, pois a dificuldade para tal impossibilitou a sua realização.

Os benefícios ambientais foram divididos em: benefícios associados à redução do consumo de energia, à redução de emissões de gases de efeito estufa, à redução do consumo de água e à preservação da biodiversidade e de recursos não madeireiros.

Tabela 11. Custos dos insumos para produção primária, preços de produtos e preços de sucata.

Materiais	Custo da produção primária (R$/t)	Preço de mercado dos materiais (R$/t)	Preços das sucatas de material reciclável (R$/t)
Aço	552	932	423
Alumínio*	6162	4725	3447
Celulose	687	879	356
Plástico	1790	2186-3516	440-750
Vidro	263	1036	142

*o valor do custo de produção primário foi superior ao respectivo preço de mercado do material porque, como opção metodológica, utilizou-se o preço médio nacional da eletricidade industrial, que é superior ao preço pago pelas empresas fabricantes de alumínio.

Fonte: IPEA, 2010.

b) Benefícios associados à redução do consumo de energia

Todos os materiais escolhidos no relatório utilizam muita energia para a sua fabricação, sendo a reciclagem uma boa opção por utilizar-se menos deste recurso e levar à economia de energia. E, dado que qualquer forma de produção de energia gera algum dano ambiental, é possível fazer estimativas, utilizando a valoração ambiental, dos danos causados pela produção deste recurso para a produção de uma tonelada de material virgem e material reciclado.

Os cálculos foram feitos a fim de estimar a economia energética derivada da reciclagem de material, ao invés da produção a partir de matéria-prima virgem. Assim, o

benefício líquido da reciclagem em termos de economia de energia foi encontrado a partir da estimativa dos custos ambientais associados à geração de energia para a produção a partir de matérias-primas virgens e subtração desta dos custos ambientais associados à geração de energia para a reciclagem (Tabela 12).

Foram consideradas, no estudo, duas formas de geração energética: hidrelétricas e termoelétricas. Para analisa-las, foram utilizados diferentes métodos que estão descritos no relatório, com base em publicações relevantes e nos impactos ambientais causados, que são diferentes para termoelétricas e hidrelétricas.

A geração de gases de efeito estuda será tratada em outra seção. Assim, os aspectos ambientais que foram levados em consideração para a valoração das economias ambientais derivadas da economia de energia pela reciclagem foram os seguintes:

- perda de recursos madeireiros;
- perda de recursos não madeireiros;
- danos ao ciclo hidrológico;
- perda de biodiversidade;
- perda de potencial de desenvolvimento de novas drogas;
- impactos sobre a saúde ocupacional (somente termoelétricas);
- danos à saúde humana de emissões atmosféricas (somente termoelétricas).

Tabela 12. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução do consumo de energia.

Materiais	Custos ambientais associados à geração de energia para produção primária (R$/t)	Custos ambientais associados à geração de energia para reciclagem (R$/t)	Benefício líquido da reciclagem (R$/t)
Aço	34,18	7,81	26,37
Alumínio	176,78	7,92	168,86
Celulose	11,98	2,26	9.72
Plástico*	6,56	1,4	5,16
Vidro	23,99	20,81	3,18

*Por causa da dificuldade em separar as emissões de GEEs advindas da geração de energia daquelas provenientes do processo produtivo em si foi excluida da contabilidade de custos ambientais a geração de energia a partir de algumas fontes do petróleo.

Fonte: IPEA, 2010.

c) Benefícios associados à redução da emissão de gases de efeito estufa

A valoração dos GEEs foi feita a partir do preço de mercado da permissão de emissões para uma tonelada de carbono no esquema europeu de comércio de emissões, o *European Union Emission Trading System* (EU ETS). O valor médio das estimativas do preço da tonelada evitada de CO2 − ou de outros GEEs calculados em equivalentes de toneladas de CO_2, segundo seu potencial de aquecimento global − foi de € 15,4, equivalente a R$ 33,42 (valores estimados para 2010). Para as emissões decorrentes de energia elétrica, utilizou-se o fator de emissão do sistema interligado nacional.

No caso dos plásticos, as emissões foram calculadas utilizando-se os dados de produção de PET e os cálculos das emissões da reciclagem foram obtidos a partir da economia de energia que esta atividade proporciona.

A Tabela 13 apresenta o valor das emissões a partir da produção de matérias-primas virgens e da reciclagem e o benefício líquido gerado por tipo de material.

Tabela 13. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução da emissão de GEEs.

Materiais	Custos ambientais associados à emissão de GEEs para produção primária (t CO_2equiv/t)	Custos ambientais associados à emissão de GEEs para reciclagem (t CO_2equiv/t)	Benefício líquido da reciclagem (t CO_2equiv/t)	Benefício líquido da reciclagem (R$/t)
Aço	1,46	0,02	1,44	48,12
Alumínio	5,10	0,02	5,08	169,77
Celulose	0,28	0,01	0,27	9,02
Plástico	1,94	0,41	1,53	51,13
Vidro	0,60	0,35	0,25	8,36

Fonte: IPEA, 2010.

d) Benefícios associados à redução do consumo de água

Para o cálculo do valor ambiental da água, foi adotada a metodologia utilizada pelo Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). Os cálculos estão demonstrados no relatório. De acordo com o CEIVAP, os componentes para o cálculo são três: o volume captado, o volume consumido e o volume de efluentes despejados no rio. Devido à dificuldade de obtenção ou insuficiência de dados,

insuficiência dos dados não foi possível calcular os valores referentes ao consumo de água ou aos efluentes, sendo obtidos somente os valores de captação, que estão apresentados na Tabela 14.

Como os valores ambientais associados à quantidade de água utilizada na produção dos materiais já é tão baixa, os custos respectivos associados à reciclagem foram excluídos dos cálculos por serem insignificantes.

Tabela 14. Estimativa dos benefícios ambientais associados à redução do consumo de água.

Materiais	Quantidade de água captada para a produção primária (m^3/t)	Benefício ambiental associado à redução do consumo de água (R$/t)
Aço	13,4	0,11
Alumínio	31,2	0,25
Celulose	40,5	0,32
Plástico	1,95	0,02
Vidro	1,0	0,01

Fonte: IPEA, 2010.

e) Benefícios associados à preservação da biodiversidade e de recursos não madeireiros

Essa economia se dá principalmente no caso da produção de aço e papel, por causa da intensiva e extensa utilização de áreas de florestas plantadas como fonte de matéria-prima. A reciclagem destes dois materiais pode possibilitar menor área de florestas homogêneas plantadas com espécies exóticas, o que viabiliza a existência de florestas nativas e, com isso, maior proteção da biodiversidade, assim como a exploração de recursos não madeireiros de maneira sustentável. Nos casos de alumínio, plástico e vidro, esse tipo de problema ambiental acontece em menor escala, uma vez que a extração de matéria-prima se dá mais concentrada no espaço.

Os cálculos e a tabela não serão apresentados no presente trabalho, pois só foram feitos para aço e papel, por causa da economia gerada pela redução de área ocupada para monocultura.

f) Resumo dos benefícios ambientais gerados pela reciclagem

A Tabela 15 apresenta o benefício ambiental total gerado pela reciclagem, calculado a partir de todos os dados e tabelas apresentados.

Tabela 15. Estimativa dos benefícios ambientais gerados pela reciclagem.

Materiais	Geração de energia (R$/t)	Emissões de GEEs (R$/t)	Consumo de água (R$/t)	Biodiversidade (R$/t)	Total (R$/t)
Aço	26	48	< 1	< 1	74
Alumínio	169	170	< 1	-	339
Celulose	10	9	< 1	5	24
Plástico	5	51	< 1	-	56
Vidro	3	8	< 1	-	11

Fonte: IPEA, 2010.

Há de se reconhecer as limitações da valoração, e, no relatório do IPEA, tais valores são interpretados como valores mínimos indicativos. Analisando-se os benefícios ambientais gerados pela reciclagem é possível concluir que, em termos ambientais, a reciclagem de uma tonelada de cada um dos materiais, ao evitar a produção de uma tonelada do material a partir de matérias-primas virgens, reduziria, pelo respectivo valor, os danos causados ao meio ambiente. Assim sendo, ao reciclar, a sociedade se beneficiaria por ter um meio ambiente mais limpo, e o valor que se atribui ao bem-estar produzido por isso está refletido nas estimativas apresentadas.

A partir dos dados já discutidos e utilizando a Tabela 15, é possível notar que os maiores benefícios ambientais da reciclagem viriam da economia de energia e de emissões de GEEs para todos os materiais analisados. As dificuldades causadas pela falta de dados e de metodologia adequada devem ser lembradas, principalmente quando da utilização destes dados para fazer comparações entre os materiais. Porém, as informações apresentadas podem servir para apresentar ordens de grandeza entre os impactos causados e benefícios apresentados para os diversos materiais.

6.3. Um quadro geral

A reciclagem de plásticos é apontada por diversos autores como um processo eficaz para a redução e reaproveitamento de resíduos plásticos, com menor uso de energia e geração de emissões quando comparada à fabricação da resina virgem. Existe, entretanto, um enorme potencial de aumento das quantidades de resina que podem ser recicladas, se forem tomadas medidas para que este objetivo possa ser atingido.

Em primeiro lugar, a reciclagem de plásticos deve ser feita de maneira sustentável, sendo atrativa por causa dos benefícios ambientais e econômicos que pode gerar. A variedade de aplicações que os plásticos reciclados podem ter é muito grande e o mercado está em crescimento. Porém, a demanda vai depender do preço do material virgem, assim como da qualidade da própria resina reciclada. Ainda hoje, o uso de resinas recicladas é mínimo se comparado aos diversos tipos de resina virgem, principalmente por causa de fatores tecnológicos e de mercado. Plásticos reciclados ainda são pouco usados pra embalar alimentos, por causa de preocupações com padrões de higiene e segurança alimentar, e o setor alimentício é um dos maiores mercados para os plásticos (COMISSÃO EUROPEIA, 2011). Contudo, atualmente, com o uso da tecnologia *super-clean*, são fabricadas embalagens de plástico reciclado para o contato direto com alimentos, como é o caso de engradados. A única diferença em relação à resina virgem é uma pequena deterioração sofrida na presença de luz, mas a resina reciclada já vem sendo usada como substituto da resina virgem, inclusive na fabricação de algumas garrafas, na proporção de 100% (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

Como mencionado anteriormente, os processadores de plástico reciclado demandam grandes quantidades deste material para tornar a atividade viável. São muitas as especificações a serem seguidas para a reciclagem, e a produção deve ser feita a um preço de mercado que torne a resina reciclada competitiva com a virgem. Existe um desafio em vencer essas barreiras, especialmente por causa das grandes quantidades e variedade de lixo plástico gerado, e seu enorme potencial de contaminação ambiental (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Em síntese, o mercado do plástico possui algumas dificuldades de competitividade e estabilidade associadas aos baixos custos das resinas virgens, à falta de comprometimento entre o fornecimento e a demanda de matérias-primas e à contaminação dos resíduos plásticos, muitas vezes gerando comprometimento na qualidade final do produto fabricado (SANTOS, AGNELLI e

MANRICH, 2004). Essa última dificuldade poderia ser enfrentada com o aprimoramento do processo de gestão dos RSU, e, em particular, o esforço da coleta e segregação. É interessante também que os polímeros reciclados sejam aplicados em produtos de longa vida útil, como a construção civil, indústria eletroeletrônica e automobilística, pavimentação, madeira plástica, etc., para reduzir o seu descarte (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). É preciso vencer também o preconceito e a visão pejorativa com relação aos plásticos reciclados. Serve como exemplo a omissão para o consumidor do uso de reciclados no revestimento do estofamento de automóveis. (SANTOS, AGNELLI e MANRICH, 2004).

A aplicação de resinas plásticas recicladas em substituição ao polímero virgem irá depender da pureza e dos requerimentos necessários para a fabricação do produto. Com isso, a indústria de reciclados tem focado na reciclagem de plásticos mais limpos e facilmente selecionados, como é o caso das garrafas PET de refrigerantes e galões de leite e água de PEAD, que podem ser identificados e selecionados do lixo pós-consumo. Assim sendo, a reciclagem de plásticos multicamadas e de produtos com tipos diferentes de plásticos é menos difundida por causa da contaminação e mistura de tipos diferentes de plásticos, o que dificulta a reciclagem (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

Outra solução para atingir as metas de índices de reciclagem e limpeza dos materiais é o uso de processos alternativos. O *super-clean* (superlimpeza), reciclagem química e pirólise devem ser considerados como forma de agregar valor às resinas recicladas. Outra solução plausível ainda é o uso de novas tecnologias e desenvolvimento de novos produtos a fim de ampliar e expandir o mercado de plásticos reciclados. Para viabilizar as metas de reciclagem europeias, varias concessões estão sendo feitas no sentido de viabilizar a produção e comercialização de produtos plásticos reciclados. No caso do PET, especificamente, como qualquer método de reciclagem é menos competitivo do que a reciclagem mecânica, deve-se almejar alcançar os máximos potenciais de reciclagem desta resina (SANTOS, AGNELLI e MANRICH, 2004).

As inovações tecnológicas da reciclagem na última década incluem *softwares* confiáveis e sofisticados de detecção que aumentam a confiança e produtividade da seleção automática de plásticos. Vantagens econômicas associadas a essas inovações podem ser observadas principalmente pela redução dos custos de reciclagem, com o aumento na produtividade e eficiência de reciclagem. Outra área de inovação são as novas aplicações que agregam maior valor ao plástico reciclado e diminuem a distância

de custo entre a resina reciclada e a virgem, possibilitando a substituição direta da resina virgem pela reciclada. Como exemplo, pode-se citar o uso de folhas de PET em isopor contendo de 50-70% de PET reciclado pelo uso de multicamadas, sendo as externas de resina virgem e a interna de plástico reciclado, o que vêm sendo aplicadas no Reino Unido desde 2005 (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

Como efeito do desenvolvimento de novas tecnologias de lavagem e separação, e o surgimento de novos mercados para plástico reciclado, vários países, incluindo Alemanha, Noruega, Itália, Espanha e Áustria têm estabelecido sistemas de coleta para diferentes tipos de plásticos, além das garrafas de PET, como os plásticos rígidos de bandejas, tubos e potes, assim como certa quantidade de embalagens flexíveis pós-consumo, como filmes plásticos. (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

O próximo grande desafio para o setor de reciclagem de plásticos é a reciclagem eficiente de resinas misturadas. A vantagem é a possibilidade de se reciclar maiores quantidades de plástico expandindo-se a coleta de plásticos pós-consumo, coletando-se, assim, uma maior variedade de materiais e embalagens. O desenvolvimento de novos *designs* para produtos plásticos reciclados também ajudará a inserir este material no mercado. Ademais, o desenvolvimento de políticas para o uso de embalagens ambientalmente corretas pela indústria poderia melhorar o desempenho da reciclagem de plásticos, aumentando a quantidade de embalagens coletadas que, assim, não iriam para aterros. Utilizando a mesma lógica, a fabricação de bens duráveis com o conceito de desmontagem, reciclagem e especificação para o uso de resinas recicláveis representam ações que podem aumentar o mercado de plásticos reciclados (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

Com a ação de separação de alta qualidade, a reciclagem de resinas plásticas mistas tem maiores chances de sucesso, já que tal processo garantiria níveis de pureza e separação mais elevados. Será necessário, entretanto, o desenvolvimento de mercados para a comercialização de cada tipo de resina segregado. Além disso, será preciso desenvolver tecnologias para a separação de rótulos e adesivos, para a fabricação de plásticos reciclados de maior qualidade. Melhoras na separação e segregação dos tipos de plásticos dentro das plantas de reciclagem aumentam o potencial de reciclagem tanto no volume a ser reciclado quanto na eco eficiência de fabricação dos reciclados, diminuindo o lixo gerado, a demanda energética e o uso de água. Entre os objetivos principais das usinas recicladoras deveriam estar os de aumentar o volume reciclado e a

qualidade das resinas produzidas a partir da reciclagem (HOPEWELL, DVORAK e KOSIOR, 2009).

O acúmulo de resíduos plásticos e suas consequências para o meio ambiente poderiam ser evitados ou bastante reduzidos. Cuidados no manuseio de resíduos, e melhores maneiras de dispor o lixo poderiam ter efeitos imediatos na quantidade de resíduos que vai para o ambiente. O ato de jogar lixo no ambiente é um problema comportamental e há discussões sobre o aumento desse comportamento com o crescimento paralelo do uso de produtos e embalagens descartáveis. Eventualmente, a ampliação da capacidade de reciclagem mostrará às pessoas que muitos produtos pós-consumo possuem valor e não são simplesmente lixo, de modo que comecem a tratar esses resíduos como matéria-prima para outros produtos, e não como descartáveis. Para alcançar esses objetivos, é preciso aumentar a capacidade de reciclagem dos materiais, melhorar a educação e incentivar envolvimento das pessoas com essas boas práticas, garantindo, além disso, o cumprimento das leis.

Existem grandes evidências de que, aumentando-se o potencial de reciclagem, haverá significativo crescimento na quantidade de produtos pós-consumo que poderão ser reciclados (WRAP, 2006, 2008; DEFRA, 2007). Atualmente, o consumo de combustíveis fósseis para a produção de plásticos é linear, desde o petróleo até o descarte, mas é preciso que se torne cíclico, e que haja posterior recuperação para tornar-se matéria prima novamente (THOMPSON *et al*., 2009). Antigamente, a única função das embalagens era o bom acondicionamento dos alimentos, aumentando o seu prazo de validade e segurança até que chegassem aos mercados e consumidores. É urgente a necessidade de se pensar em *designs* de produtos, especialmente de embalagens, que utilizem reduzidas quantidades de material e aumentem o potencial de reciclagem de tais produtos.

Para THOMPSON *et al.* (2009), o que é necessário é uma simplificação e padronização das embalagens, assim como uma forma de classificação dos tipos de plástico reciclável de mais fácil entendimento pelo público para que haja um aumento no volume de plásticos reciclado. Uma sugestão de classificação seria pelo sistema de "semáforo" para que os consumidores saibam distinguir os produtos que contenham material reciclado e tenham alto potencial de serem reciclados (marcados com um círculo verde), daqueles pouco recicláveis e que contenham grande quantidade de resina virgem (círculo vermelho), estando os marcados com círculo amarelo entre os dois extremos. É possível que grande parte dos resíduos deixe de ser dispostos

incorretamente ou se destinam a aterros utilizando diversas ações conjuntas, tais como a redução da produção de lixo, uma melhor classificação dos produtos recicláveis ou que contenham material reciclado, a fabricação de produtos com *design* melhorado para facilitar a reciclagem, além de mais pontos de disposição para materiais reciclados. Para isso, é necessária a cooperação entre indústrias, governos e o público em geral para alcançar esses resultados.

A coleta porta-a-porta é bem sucedida para a recuperação de garrafas plásticas, porém, do total consumido deste material, apenas 30-40% são recicladas, já que boa parte do consumo é feito fora de casa. Por essa razão, é fundamental, como já mencionado, desenvolver programas de coleta pública para que haja um aumento na recuperação deste tipo de embalagem. Na Europa, a maioria das autoridades locais ou lugares de recuperação de plásticos não coletam embalagem de plástico flexível pós-consumo, já que as máquinas não conseguem separar efetivamente este tipo de plásticos. Muitas recicladoras utilizam crivos rotatórios e separadores de densidade a ar para separar os plásticos flexíveis. Existem, entretanto, novas pesquisas na área para o desenvolvimento de novas tecnologias tais como separadores balísticos, hidro ciclones sofisticados e separadores a ar que devem aumentar a facilidade em separar embalagens de plásticos flexíveis pós-consumo do resto do lixo (HOPEWELL, DVORAK, e KOSIOR, 2009).

Apesar das diversas vantagens ambientais e econômicas da reciclagem, ainda há muito a ser feito pelos governos e pela população. É necessário maior envolvimento, campanhas e maior conscientização para que os benefícios associados à recuperação dos resíduos plásticos sejam plenamente alcançados.

7. Considerações finais e proposições

Os plásticos são materiais baratos, leves e duradouros e, devido à diversidade de resinas e da versatilidade de suas propriedades, possuem inúmeras aplicações, destacando-se os setores de embalagens, construção civil, automobilístico e de eletroeletrônicos, como apresentado no capítulo 2.

A indústria de plásticos tem aumentado a cada ano as produções de resinas e transformados plásticos, seguindo os padrões mundiais de demanda. Destacam-se, nesse setor, China, União Europeia e Estados Unidos. O Brasil importa parte das resinas e transformados plásticos consumidos internamente, gerando anualmente um déficit na balança comercial, mas, ainda assim, é o maior produtor de plásticos da América Latina.

A demanda crescente por esses produtos resultam no significativo aumento de geração de resíduos plásticos. As disposições e tratamentos mais adequados são o reuso, redução, reciclagem, incineração e, por último, aterros. Entretanto, sem que haja uma gestão adequada, a maioria desses resíduos é enviada para aterros ou lixões, ou dispostos irregularmente no ambiente, prejudicando a vida e a saúde de animais e dos seres humanos.

Como opção favorável de disposição destaca-se a reciclagem, principalmente a mecânica, que é a mais incentivada e praticada no mundo. Observam-se índices crescentes desse processo na União Europeia e nos Estados Unidos. O mesmo ocorre no Brasil, porém em proporções bem menores. É importante ressaltar que os diferentes tipos de reciclagem (química, energética ou mecânica) possuem especificidades próprias, inclusive em termos de custos e, dependendo do tipo de resina, do grau de mistura de polímeros e da limpeza, essas serão mais bem processadas por um método ou por outro. Dessa forma, um país não deve incentivar apenas um método de tratamento com certeza absoluta de sua adequação, e sim, de preferência, utilizá-los complementarmente.

Incentivos governamentais e de organizações, como a promulgação de leis e adoção de medidas regulatórias, além da instituição de projetos que destaquem a importância da gestão e disposição de resíduos plásticos são essenciais para que práticas ambientalmente corretas de tratamentos, como a reciclagem de resíduos plásticos, sejam implementadas. Na União Europeia, destacam-se o Programa de Ação Ambiental, o REACH e as inúmeras diretivas regulamentárias apresentadas no capítulo 4.

No Brasil, o maior empecilho à reciclagem decorre da gestão inadequada dos resíduos sólidos, incluindo os plásticos. Fatores essenciais para um bom funcionamento de um sistema de reciclagem são a coleta seletiva e a logística reversa, práticas ainda incipientes nacionalmente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, aprovada por lei em 2010, é uma medida importante para redirecionar o descarte inadequado de resíduos, além de regulamentar e incentivar procedimentos para seu tratamento, a exemplo da reciclagem. Além disso, outras ações governamentais dos estados e municípios são necessárias, assim como a união entre governos e indústrias para o desenvolvimento de uma gestão eficiente dos resíduos urbanos.

No Brasil, destaca-se a reciclagem mecânica principalmente devido aos custos reduzidos de sua implementação e operação em comparação aos outros tratamentos, além da importância social da cadeia, que emprega milhares de pessoas, principalmente sucateiros e catadores. Porém, é necessário investir em novas tecnologias e novas formas de reciclagem, como a reciclagem química e energética. Quanto mais abrangente for o sistema, mais tipos de plásticos poderão ser reciclados e em maior quantidade, aumentando a eficiência dessa etapa do gerenciamento de resíduos.

Conclui-se, portanto, que é preciso mudar o sistema brasileiro de lidar com os plásticos pós-consumo. O uso da logística reversa foi tornado obrigatório pela Lei 12.305/10, que aprovou o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, e deverá ter impacto por meio da valorização econômica, ambiental e social dos plásticos pós-consumo, para que o descarte inadequado ou o envio dos resíduos para aterros diminua e sejam priorizadas formas de recuperação desses materiais. A lei supracitada é um marco no Brasil, pois define prazos, metas e sanções para as adequações da gestão correta de resíduos sólidos, visando principalmente a reciclagem.

As aplicações dos materiais plásticos apresentam uma série de benefícios, mas é evidente que as formas atuais de produção, uso e disposição não são ideais, pois apresentam riscos para o meio ambiente e para a saúde humana. As soluções para tais problemas podem ser desenvolvidas a partir de ações conjuntas entre cidadãos, governo e indústrias. Aos indivíduos cabem práticas corretas de uso e disposição de plásticos, incentivando a reciclagem; as indústrias podem reduzir as quantidades de materiais utilizados nos processos internos e modificar o *design* dos produtos, visando o reuso e/ou reciclagem; por sua vez, os governos devem estabelecer padrões e metas de uso e descarte dos resíduos sólidos e plásticos, assim como criar e aplicar leis que tratem sobre a disposição adequada de resíduos plásticos, introduzindo estímulos e sanções,

além de incentivar a pesquisa acadêmica e o desenvolvimento tecnológico. Sem que haja o envolvimento desses três setores da sociedade, dificilmente o Brasil conseguirá uma melhora efetiva e definitiva na gestão de seus resíduos sólidos, principalmente os plásticos, que ainda hoje são pouco valorizados para a reciclagem (excluindo-se o PET). Todas essas medidas precisam ser analisadas frente ao ciclo de vida dos produtos, que inclui todos os processos de produção, uso e disposição dos plásticos.

Devem tornar-se práticas cada vez mais comuns as elaborações de trabalhos como o do WRAP e do IPEA, apresentados no capítulo 6. Apesar das limitações de cada um, eles apresentam resultados comparativos que podem servir ao menos de parâmetro para os tomadores de decisão. Análises de ciclo de vida dos plásticos, que analisam todos os processos da "vida" de um produto ou resina, desde a fabricação até o descarte, também são importantes fontes de informação sobre os impactos causados em cada etapa do ciclo dos plásticos, sugerindo, assim, as melhores formas de lidar e mitigar os problemas apresentados. As análises de ciclo de vida são estudos bastante complexos e os resultados irão variar dependendo de diversos fatores, como a metodologia utilizada, o tipo de resina ou produto estudado. Sendo assim, quanto mais estudos desse tipo forem feitos, mais diversificado será o conhecimento sobre os plásticos. Além disso, esses estudos podem auxiliar a escolha por melhores opções de descarte dos resíduos pós-consumo.

8. Referências

ABIPLAST, 2010, *Perfil Plástico- Indústria brasileira de transformação de material plástico 2010*. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br> Acesso em: 08 de outubro de 2011.

ABIPLAST, 2011, *Aplicações das principais resinas plásticas*. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br> Acesso em: 25 de abril de 2011.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos- Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

ADRADOS, A. MARCO, I., CABALLERO, B. M., LÓPEZ, A., LARESGOITI. M. F., A. TORRES, A., 2011, "Pyrolysis of Plastic Packaging Waste: A Comparison of Plastic Residuals from Material Recovery Facilities with Simulated Plastic Waste", *Waste Management*, aceito para publicação.

AGUADO, J., SERRANO, D. P., ROMERO, M. D., ESCOLA, J. M., 2006, "Catalytic Conversion of Polyethylene into Fuels over Mesoporous MCM-41", *Chemical Communications*, n. 6, pp. 725-726.

AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., BAEYENS, J., 2009, "Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A Review", *Waste Management*, n. 29, pp. 2625-2643.

AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., BAEYENS, J., 2009b, "Thermal Pyrolysis of High Density Polyethylene (HDPE)", In Proceedings of the Ninth European Gasification Conference: Clean Energy and Chemicals, Düsseldorf, Germany, 23–25 March.

AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., BAEYENS, J., 2010, "The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals", *Progress in Energy and Combustion Science*, n. 36, pp. 103-129.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010a, Thermoplastic Resin Sales by Major Market 2006-2010. Disponível em: < http://www.americanchemistry.com/Jobs/

EconomicStatistics/Plastics-Statistics/Total-Sales-Captive-Use-by-Major-Market.pdf> Acesso em: 12 de fevereiro de 2012.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2010b, ACC Resin Statistics Summary 2010 vs. 2009. Disponível em: <http://www.americanchemistry.com/Jobs/EconomicStatistics /Plastics- Statistics/ Production-and-Sales-Data-by-Resin.pdf> Acesso em: 12 de fevereiro de 2012.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, 2011. Disponível em: <http://plastics.americanchemistry.com/Life-Cycle#production> Acesso em 18 de outubro de 2011.

ANDRADY, A. L., NEAL, M. A., 2009, "Applications and Societal Benefits of Plastics", *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 364, pp. 1977-1984.

AQUINO, I.F., CASTILHO JR, A.M., PIRES, T.S.L., 2009, "A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor", Gestão & Produção, v. 16, n. 1 (jan-mar), pp. 15-24.

AZAPAGIC, ADISA; EMSLEY, ALAN E HAMERTON, IAN, 2003, *Polymers, The Environment and Sustainable Development.* John Wiley & Sons, England.

BARNES, D. K. A., GALGANI, F., THOMPSON, R. C., BARLAZ, M., 2009, "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments", *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n. 364, pp. 1985– 1998.

BJ¨ORKLUND, A.; FINNVEDEN, G., 2005, "Recycling revisited-life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies", *Resources, Conservation and Recycling*, n. 44, pp. 309–317.

BNDES, 2010. Proplástico. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES /bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/Proplastico/inde x.html. Acesso em: 09/10/2011.

BRITISH PLASTICS FEDERATION, 2011, Plastics Recycling. Disponível em <http://www.bpf.co.uk/sustainability/plastics_recycling.aspx> Acesso em 27 de setembro de 2011.

BRUNNER, C. R., 1994, *Hazardous Waste Incineration*, 2 ed. New York, MacGraw-Hill.

CEMPRE, 2012. Disponível em:< http://www.cempre.org.br/servicos> Acesso em 12 de janeiro de 2012.

CEPEA, 2004, Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil. Disponível em< http://pt.scribd.com/doc/2363343/Relatorio-Final> Acesso em 10 de agosto de 2011.

CHAVES, G.L.D., BATALHA, M.O., 2006, "Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados", Gestão e Produção, v. 13, n. 13 (set-dez), pp. 423-434.

CICLOSOFT, 2010. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2010.php> Acesso em 05 de junho de 2011.

COELHO, T.M., CASTRO, R., GOBBO JR., J.A., 2001, "PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling", *Resources, Conservation and Recycling*, n. 55, pp. 291–299.

COINTREAU S., 2006, *Occupational and environmental health issues of solid waste management-special emphasis on middle and lower-income countries*, The World Bank Group,Washington, D.C.

COLTRO, L., GASPARINA, B. F., QUEIROZ, G. D., 2008, "Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 2, pp. 119-125.

DAVE, P. N., e JOSHI, A. K., 2010, "Plasma Pyrolysis and Gasification of Plastics Waste – a Review", *Journal of Scientific and Industrial Research*, v. 69, n. 3, pp. 177-179.

DECRETO FEDERAL Nº 5.940, *"Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências"*, Brasil, 25 de outubro de 2006.

DECRETO FEDERAL Nº 7.404, *"Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o comitê interministerial da política nacional de resíduos sólidos e o comitê orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências"*, Brasil, 23 de dezembro de 2010.

EPA, 2011a, *Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: facts and figures for 2010*, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

EPA, 2011b, Recycling. Disponível em <www.epa.gov/wastes /conserve/rrr/recycle.htm> Acesso em 27 de setembro de 2011.

EUROPEAN COMMISSION, 2011, *Plastic Waste in the Environment- Revised Final Report*. Disponível em: ,http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf> Acesso em: 11 de novembro de 2011.

FUNASA, 2006, *Manual do Saneamento*, Fundação Nacional da Saúde. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/Web%20Funasa/pub/pdf/Mnl%20Saneamento.pdf> Acesso em 27 de abril de 2011.

FIGUEIRÓ, P. S., 2010, *A logística reversa de pós-consumo vista sob duas perspectivas na cadeia de suprimentos*, Dissertação de M.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

HOBBS, G., S. HALLIWELL, 2000, "Recycling of Plastics and Polymer Composites", *Polymer Recycling*, n. 5, pp. 23–29.

HOPEWELL, J., DVORAK, R., KOSIOR, E., 2009, "Plastics recycling: challenges and opportunities". *Philosofical Transactions of the Royal Society B*, n. 364, pp. 2115-2126.

HORVAT, N., FLORA, N. T., 1999, "Tertiary Polymer Recycling: Study of Polyethylene Thermolysis as a First Step to Synthetic Diesel Fuel", *Fuel*, n. 78, pp. 459–470.

HOSLER, D., BURKETT, S. L., TARKANIAN, M. J., 1999, "Prehistoric polymers: rubber processing in ancient Mesoamerica", *Science*, v. 284, pp. 1998–1991.

IBAM, 2001, *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf> Acesso em 12 de maio de 2011.

IBGE, 2008, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso em 25 de maio de 2011.

IPEA, 2010, Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos. Disponível em: <http://agencia.ipea.gov.br/images/stories/PDFs/100514_relatpsau.pdf> Acesso em 25 de janeiro de 2012.

KIM, J., HWANG, Y., PARK, K., 2009, "An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea, *Journal of Cleaner Production*, n. 17, pp. 1264–1271.

LEI FEDERAL Nº 6.938, *"Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências"*, Brasil, 31 de agosto de 1981.

LEI FEDERAL Nº 7.802, *"Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências"*, Brasil, 11 de julho de 1989.

LEI FEDERAL Nº 9.795, *"Dispõe sobre a educação ambiental, institui a política nacional de educação ambiental e dá outras providências"*, Brasil, 27 de abril de 1999.

LEI FEDERAL N° 9.974, *"Altera a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências"*, Brasil, 06 de junho de 2000.

LEI FEDERAL Nº 11.107, *"Normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências"*, Brasil, 06 de abril de 2005.

LEI FEDERAL Nº 11.445, "Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico", Brasil, 05 de janeiro de 2007.

LEI FEDERAL Nº 12.305, *"Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências"*, Brasil, 02 de agosto de 2010.

LIU, Z. Q., LIU Z.H., LI, X. L., 2006, "Status and Prospect of Application of Municipal Solid Waste Incineration in China", *Applied Thermal Engineering* , n. 26, pp. 11193-1197.

MACHADO, B.A., et al., 2006, “A importância social e econômica da implementação de cooperativas de materiais recicláveis”, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, XXVI ENEGEP Fortaleza. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006 TR560372 8549.pdf> Acesso em 10 de dezembro de 2011.

MACKEY, G., 1995, “A Review of Advanced Recycling Technology”, *ACS Symposium Series*, n. 609, pp. 161-169.

MAGRINI, A., 2011. *Material de aula.* Tópicos Especiais Análise Energética e Ambiental Prof. D.Sc. Alessandra Magrini. Programa de Planejamento Energético. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

MAGRINI, A. e OLIVEIRA, M.C.B.R., 2011, documento interno, Programa de Planejamento Energético. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

MATTEI, G. e ESCOSTEGUY, P.A.V., 2007, “Composição, gravimétrica de resíduos sólidos aterrados”, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 247-251.

MEDINA M., 2000, “Scavenger cooperatives in Asia and Latin America”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 31, n.1, pp. 51–69.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, PlanSab - Plano Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content &view=article&id=302:plansab&catid=84&Itemid=113> Acesso em 05 outubro de 2011.

MORRIS, J., 1996, “Recycling versus Incineration: an Energy Conservation Analysis”, *Journal of Hazardous Materials*, n. 47, pp. 277-293.

NARAYANA, T, 2009, “Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources?”, *Waste Management*, v. 29, n.3, pp. 1163-1166.

NEF, New Energy Foundation, *New and Renewable Energy in Japan 2011*. Disponível em: <www.nef.or.jp/english/new/present.html> Acesso em 15 de outubro de 2011.

NETO, E. L. E., 2006, *Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Rio de Janeiro e a aplicação dos Instrumentos de Regulação e Controle Ambiental: Uma Abordagem Crítica*, Dissertação de M.Sc., Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OLAH, G. A., MOLNAR, A., 1995, *Hydrocarbon Chemistry*, New York, , John Wiley & Sons.

PADILHA, G. M. A e BOMTEMPO, J. V., 1999, "A inserção dos transformadores de plásticos na cadeia produtiva de produtos plásticos", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.9, n.4, pP.86-91.

PARENTE, R. A., 2006, *Elementos estruturais de plástico reciclado*, Dissertação de M.Sc., USP, São Paulos, SP, Brasil.

PLASTICS EUROPE, 2010, *Plastics – the Facts 2010. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009*. Disponível em: < http://www.plasticseurope.com> Acesso em: 10 de maio de 2011.

PLASTICS EUROPE, 2011, *Plastics – the Facts 2011. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2011*. Disponível em: <http://www.plasticseurope.com> Acesso em: 26 de outubro de 2011.

PLASTIVIDA, 2010, "Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP)". Disponível em: <http:// www.plastivida.org.br> Acesso em: 08 de junho de 2011.

PLASTIVIDA, 2009. Reciclagem. Disponível em: < http://www.plastivida.org.br /2009/Reciclagem_Oque-e.aspx> Acesso em 27 de setembro de 2011.

REINFELD, N. V., “Sistemas de reciclagem comunitária: do projeto à administração”, Tradução de José Carlos B. dos Santos, São Paulo, Makron Books, 1994. 285 p.

RESOLUÇÃO RDC Nº 20, *“Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre embalagens de polietilenotereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinados a entrar em contato com alimentos”,* Brasil, 26 de março de 2008.

ROLIM, M. A., 2000, *A reciclagem de resíduos sólidos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul*, Dissertação de M.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

SANTOLERI, J. J., *Pollution Issues, Incineration*, Disponivel em <http:// www.pollutionissues.com/Ho-Li/Incineration.html> Acesso em 03 de outubro de 2011.

SANTOS, A. S. F, AGNELLI, J. A. M., MANRICH, S., 2004, “Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 5, pp. 307-312.

SANTOS, G. D. S., 2010, A*nálise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SASSE, F., EMIG, G., 1998, “Chemical Recycling of Polymer Materials”, *Chemical Engineering Technology*, v. 21, n. 10, pp. 777-789.

SCHEINBERG, A., 2001, “Financial and economic issues in integrated sustainable waste management-tools for decision makers. Gouda. Waste.

SCHEIRS, J., 1998, *Polymer Recycling: Science, Technology and Application*, New York, Wiley-Blackwell. 7ed.

SINGH, R. K, MURTY, H. R, GUPTA, S. K, DIKSHIT, A. K, 2009, “An overview of sustainability assessment methodologies”, Ecological Indicators, n. 9, pp. 189–212.

SINHA, V., PATEL, M. R., PATEL, J.V., 2010, "PET Waste Management by Chemical Recycling: a Review", *Journal of Polymers and the Environment*, v. 18, n. 1, pp. 8-25.

SIQUIM/EQ/UFRJ, 2003, *Prospectiva tecnológica da cadeia produtiva de transformados plásticos- Prospectiva tecnológica da cadeia produtiva de embalagens plásticas para alimentos*, Programa brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial, Secretaria de Tecnologia Industrial - Ministério do Desenvolvimento, indústria e comércio exterior (STI/MDIC), Rio de Janeiro, Brasil.

SPI, 2008. Plastics Industry Facts. <http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=8251&navItemNumber=1119> Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

SPI, 2011. A Few Fast Facts on... Plastics and the Economy. Disponível em: <http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=787&navItemNumber=1280> Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

SPINACÉ, M.A.S, DE PAOLI, M.A., 2005, "A tecnologia da reciclagem de polímeros", *Quimica. Nova,* v. 28, n. 1, pp. 65-72.

SRIVASTAVA, S.K, SRIVASTAVA R.K, 2006, "Managing product returns for reverse logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 36, n. 7, pp. 524-546.

SUKSANKRAISORN, K., PATUMSAWAB, S., FUNGTAMMASAN, B., 2010, "Co-firing of Tahi Lignite and Municipal Solid Waste (MSW) in a Fluidized Bed: Effect of MSW Moisture Content", *Applied Thermal Engineering*, n. 30,pp. 2693-2697.

TEUTEN, E. L. *et al*, 2009, "Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n. 364, pp. 2027–2045.

THOMPSON, R. C, MOORE, C. J, SAAL, F.S, SWAN, S. H, 2009, "Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends", *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n. 364, pp. 2153-2166.

TRIANTAFYLLOU, V. I., KARAMANI, A. G., AKRIDA-DEMERTZI, K., DEMERTZIS, P. G., 2002, "Studies on the usability of recycled PET for food packaging applications", *European Food Research and Technology*, v. 215, n. 3, pp. 243-248.

UITERKAMPA, B.J.S., AZADIB,H., HO, P., 2011, "Sustainable recycling model: A comparative analysis between India and Tanzania", *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 3, pp. 344–355.

WELLE, F., 2011, "Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview", *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 11, pp. 865– 875.

WILSON, D.C, VELIS, C., CHEESEMAN, C., 2006, "Role of informal sector recycling in waste management in developing countries", *Habitat International*, v.30, pp. 797–808.

WORLD BANK, 2009, *What a Waste: Solid Waste Management in Asia, Report of the Urban Development Sector Unit*, Washington, 1999. Disponível em: < http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/uwp1.pdf> Acesso em 12 de janeiro de 2012.

WRAP, 2010, *Waste and Resources Action Programe: Environmental Benefits of Recycling, Bio Intelligence Service and Copenhagen Resource Institute- Final Report*. Disponível em: <http://www.wrap.org.uk/downloads/Environmental_benefits_of_recycling_2010_update.86102586.8816.pdf> Acesso em 25 de outubro de 2011.

ANEXO 1

Tabela 1. Principais resinas plásticas e suas aplicações.

Tipos de resinas	Características	Principais aplicações
Termoplásticas		
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	Por causa de sua alta densidade, é um material opaco. Facilmente processado, mais resistente e com melhores características mecânicas que o PEBD. É resistente a substâncias químicas, mas não a fortes agentes oxidantes.	Embalagens: bolsas, garrafas, caixas, embalagens de alimentospara compostos químicos, frascos, rolhas, tampas, cápsulas. Eletrônica: isolante de fios, alambrados, bobina, suporte de lâmpadas, aparas, monofilamentos. Automobilística: tubos, mangueiras, conexões recipientes de combustível. Outros: correias, bandejas, material de pesca, tapeçaria, sacos. Embalagens: bolsas, garrafas, caixas, embalagens de alimentospara compostos químicos, frascos, rolhas, tampas, cápsulas.
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	Material atóxico, com baixa condutividade elétrica e térmica, resistente à ação de substâncias químicas. Possue variadas características mecânicas e suas propriedades são mantidas excelentes quando submetido a temperaturas inferiores a 60ºC.	Eletrônica: isolante de fios, pequenas peças. Embalagens: sacos, garrafas, tampas, bolsas, *tetrapak*. Construção Civil: Tubulações, mangueiras, tela de sombreamento. Agricultura: Película de revestimento, tubos de irrigação.
Polipropileno (PP)	**Homopolímero:** possui resistência elétrica e mecânica. Pode ser esterilizado com raios gama e óxido de etileno. É resistente a altas temperaturas. Abaixo de 80° tem boa resistência química a ácidos e bases. Torna-se frágil e quebradiço a temperaturas abaixo de 0°C.	**PP Homopolímero:** Embalagens: películas de embalagens de alimentos, rafia, embalagens industriais, sacolas. Medicina: material hospitalar esterilizável, seringas Outros: papel fotográfico, papel cartão, pasta de celulose.
	Copolímero: transparente, mais flexível e resistente que o homopolímero (exceto resistência química). Sua resistência é aumentada quando modificado com borracha termoplástica. Possui alta resistência mecânica a baixas temperaturas.	**PP Copolímero:** Brinquedos. Embalagens: recipiente alimentar, caixas de uso industrial, garrafas, tampas, películas. Automobilístico: revestimento interno de veículos, freios, eixos de transmissão, painéis de instrumentos, para-choques e para- lamas. Eletrônica: placas de produtos eletrônicos. Outras: palhas, latas, assentos.
Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)	**ABS:** resistente ao calor, tensão e impactos. Bom absorvente de umidade. Aplicado em peças que devem manter boa aparência, pois o ABS tem a capacidade de manter-se brilhante.	**ABS:** Calçados: solas Automobilística: peças decorativas, consoles, pára-choque. Embalagens: garrafas de alta resistência Brinquedos Outros: variadas peças de uso industrial e doméstico.

	ABS/PA: resistente a impactos e contra hidrocarbonetos. Resiste a temperaturas até 180°C e é isolante acústico.	**ABS/PA:** Automobilística: grades, retrovisores, freios. Amortecedores. Eletrônica: Armações e revestimentos de ferramentas Outros: monitores cardíacos, equipamentos esportivos.
	ABS/PC: resistente a luz UV e impactos. Pode ser moldado e texturizado de várias maneiras e é um bom isolante elétrico.	**ABS/PC:** Automobilística: para-choques e para-lamas, faróis, retrovisores, sistemas de ventilação Peças Técnicas: Caixas de conexão, peças elétricas, calorímetros. Eletrônica: lâmpadas Eletrodomésticos: secadores de cabelo, aspiradores de pó, cafeteiras.
	ABS/PBT: é fácil processá-lo. Resistente a chamas e a impactos.	**ABS/PBT:** Automobilística: consoles, painéis Peças Técnicas: peças de máquinas de escrever e de fotocopiadoras. Eletrônica: componentes elétricos, gabinetes de eletricidade. Eletrodomésticos: lavadoras, secadores de cabelo.
Poliestireno (PS)	**Cristal:** é um isolante elétrico de alto peso molecular e baixa absorção de água. É brilhante, transparente e sensível a luz. Possui estabilidade térmica. Não é resistente a impactos.	**PS Cristal:** Embalagens: para alimentos, remédios e cosméticos. Brinquedos. Outros: material de escritório, tecidos artificiais, instrumentos para o lar.
	Expandido: isolante térmico e acústico, possui alta resistência mecânica. Perde suas propriedades a temperaturas superiores a 88°C. Resistente à ácidos, bases e sais. Atóxico. Inflamável. Possui baixa absorção de água.	**PS Expandido:** Peças Técnicas: isolantes, reforços, chapas. Embalagens: componentes de garrafas térmicas, embalagens de produtos agrícolas e industrializados. Reforço para automóveis e eletroeletrônicos. Isopor.
	Alto e médio impacto: sensível a luz UV, pode ser translúcido a opaco. Rígido e resistente a impacto. Não resistente a altas temperaturas. Pode ser extrudado, injetado e termoformado. São estáveis termicamente.	**PS Alto e Médio Impacto:** Embalagens: de produtos farmacêuticos. Descartáveis: copos pratos, aparas. Eletrônica: portas e gavetas de geladeira, placas de aparelhos eletrônicos. Brinquedos. Automobi l í s t i c a: pe ças automotivas como freios, painéis para choques e para lamas.

Policloreto de Vinila (PVC)	É um material bastante resistente à substâncias químicas, e por isso é muito usado em tubulações. É necessário o uso de estabilizadores para o seu processamento para evitar degradabilidade por causa de imperfeições estruturais. Possue elevada resistência mecânica	Embalagens: películas, laminados, garrafas, caixas de alimento. Calçados: tennis, sapatos, solas, sandálias. Eletrônicos: cabos, revestimento de fios, monofilamentos. Construção civil: pisos, tubos, varas, bastões, revestimento de pavimentos, chapas, janelas, portas. Outros: componentes de borrachas escolares, revestimento de latas, garrafas, tintas, aparas, fitas cassetes, cartões magnéticos. Móveis. Revestimento de tecidos. Medicina: seringas, cânulas, cateteres, eletrocardiógrafos, agulhas e outros aparelhos de diagnóstico. Brinquedos: bolas, bonecos.
Etil Vinil Acetato (EVA)	É um material atóxico, flexível, que possue boa elasticidade e pode ser transparente. São resistentes a várias substâncias químicas e possuem boa resistência mecânica. Possue elevada resiliência a baixas temperaturas. Fácil de ser esterilizado.	Construção Civil: composição asfáltica, mangueiras flexíveis. Embalagem: sacaria industrial de alta resistência, filmes especiais. Outros: borrachas escolares, tatames de academia. Diversos usos em processos industriais. Brinquedos: tapetes macios, bonecos. Calçados: componente de palmilha de calçados e de solados em geral.
Polietileno Tereftálico (PET)	**C PET:** material opaco, com boa resistência mecânica, mas baixa resistência a impactos. Impermeável a gases, mas absorve água. Resistente à vários químicos diluídos, mas pouco resistente a bases, água quente, cetonas e halogenados. Não recomendado o uso como isolante elétrico em altas frequências. **A PET**:transparente, mais resistente ao impacto e menos rígido. Resiste a hidrocarbonetos halogenados.	Embalagem: garrafas de bebidas, jarros, embalagem de alimentos, de cosméticos e de remédios, chapas, folhas, películas. Eletrônicos: peças de computador, engrenagens. Outros: aderente de tintas, botões, broches, bordados, toldos, velas, tendas. Medicina: tubos para hemodiálise, seringas. Peças Técnicas: telas para pneumáticos. Eletrodomésticos: revestimento de torradeiras, frigideiras, secadores de cabelo.
Policarbonato	**Reforçado:** O primeiro é produzido com fibra de vidro, o que lhe confere alta resistência a deflexão térmica, possuindo, assim, menor dilatação térmica.	**PC reforçado:** Eletrônicos: Transmissores. Eletrodomésticos em geral Outros: semáforos, lentes, conectores.

	alta/baixa/média viscosidade: rígido, resistente a impactos, inodoro. Possui baixo coeficiente de dilatação e fácil deformação. É isolante elétrico. As diferenças na viscosidade influencía apenas no processamento e consequentemente na aplicação.	**PC de Alta/Média/Baixa Viscosidade:** Embalagens: garrafas de água, leite, e frascos de remédios. Outros: CDs, núcleo de bobinas, calculadoras, lâmina de banners luminosos, películas, chapas, escudos da polícia anti-choque. Calçados: solas. Automobilística: faróis, lanternas.
Termofixas		
Poliuretano (PU)	**Espuma flexível:** o principal tipo é o poliéster. É mais elástico, não é rígido e possui poros.	**Espuma Flexível:** Utilidades Domésticas: colchões, assentos. Têxtil: Ombreiras, peças de vestimenta. Embalagens: utilizado no transporte de máquinas, computador, peças de cristal, ferramentas, televisores. Automobilística: Assentos, cabeceiras, endosso, para-sol. Outros: esponjas de banho, filtros, fitas adesivas.
	Espuma rígida: excelente isolante térmico devido aos radicais fluorados em sua estrutura química. Pode ser processada com poliéter e poliéster.	**Espuma Rígida:** Embalagem: transporte de equipamentos pesados. Construção Civil: Isolante térmico de paredes, telhas, pinturas e janelas.
	Espuma integral: pode ser flexível ou rígida, dependendo dos processos a que é submetida para mudar a sua densidade.	**Espuma Integral:** Automobilística: Assento de crianças, pedais, proteções laterais, revestimento interno. Calçados: Solas de sapatos, botas de *hockey*.
	Poliuretano termoplástico: bastante elástico . Facilmente processado por causa da sua resistência química à altas temperaturas. Pode ser composto com PVC para melhorar as suas características mecânicas.	**Poliuretano Termoplástico:** Automobilística: cabos, juntas. Eletrônica: tubos, fios, revestimentos. Peças Técnicas: contâiners, vasos, películas de alta resistência, peças e engrenagens de máquinas. Automobilístico: Cabos, juntas, proteções.
Epóx	Possui alta resistência química e pode possuir resistência mecânica. Pode ter vários aditivos na sua composição, tornando suas propriedades e aplicações bastasnte específicos.	Automobilística: anti-corrosivo de peças de automóveis. Eletrônica: recobrimento de aparelhos eletrônicos, laminação de produtos elétricos. Outros: estabilizador de halogênios, composição no revestimento de máquinas marítimas, composição na carcaça do avião de guerra "Stealth" (asa tipo W). Construção Civil: composição de argamassa. Medicina: composto de reestruturação dentária.

Resina fenólica	Primeiro polímero completamente sintético a ser fabricado. Necessita cargas para ser sintetizado, para que não se torne quebradiço. Possui razoável resistência ao calor antes de sofrer alteração na sua estrutura química.	Móveis: composição em aglomerado de madeira, revestimento de mesa e outros tipos de móveis (fórmica). Tecidos laminados de bobinas, rodas dentadas, polias. Utilidades para o lar: cabos de frigideiras e de panelas. Revestimento de latas de alimento e de tubulações.