



Destinação de Resíduos Plásticos no Brasil

Frederico Loeffler Vidal Villar Gomez

Monografia em Engenharia Química

Orientador:

Prof^ª. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc

Prof. Ronei de Almeida, M.Sc.

Dezembro de 2019

Destinação de Resíduos Plásticos no Brasil

Frederico Loeffler Vidal Villar Gomez

Monografia em Engenharia Química submetida ao corpo docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

André Luiz Ferreira Menescal Conde, B. (COMLURB)

Profª. Júlia Pancini de Oliveira, B. (DEQ/EQ-UFRJ)

Rosana Gouvêa Mauricio, M.Sc (LABTeR/EQ-UFRJ)

Orientado por:

Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc

Ronei de Almeida, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Dezembro de 2019

Gomez, Frederico Loeffler Vidal Villar.

Destinação de resíduos plásticos no Brasil/ Frederico Loeffler Vidal Villar Gomez. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2019

vi, 89 p.; il.

(Monografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2019

Orientadores: Prof^a Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc e Prof. Ronei de Almeida, M.Sc.

1. Logística Reversa. 2. Plásticos. 3. Meio Ambiente. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Prof^a Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc e Prof. Ronei de Almeida, M.Sc.
I. Destinação de resíduos plásticos no Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo carinho e suporte durante mais esse capítulo na minha vida.

Aos meus amigos, que trilharam esse caminho ao meu lado, nós momentos de felicidade, mas também nos de angústia e de incerteza. Agradeço por todo apoio e companherismo, traduzidos em momentos que levarei para o resto da minha vida.

Aos meus professores, que se dedicam dia após dia para ensinar da melhor forma possível, mesmo diante de tantas dificuldades do nosso sistema de ensino.

Em especial ao meu orientador, professor Ronei , por me incentivar e me orientar em cada passo da minha pesquisa. Agradeço pela dedicação e compreensão que foram fundamentais para a conclusão desse trabalho.

Por fim, agradeço à todos os funcionários dessa instituição que trabalham todos os dias para criar um ambiente propício para o desenvolvimento de ,não somente profissionais de excelência, mas também de pessoas conscientes da sua responsabilidade social e ambiental.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química

Destinação de resíduos plásticos no Brasil

Frederico Loeffler Vidal Villar Gomez

Dezembro, 2019

Orientadores: Prof^a. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc

Prof. Ronei de Almeida, M.Sc.

O gerenciamento de resíduos sólidos é tema fundamental da gestão pública de saúde e meio ambiente. Notadamente, a fração de resíduos sólidos plásticos revela-se uma categoria importante, tanto pelo volume gerado no país, quanto pela sua representatividade global, sendo a segunda maior categoria de resíduos sólidos gerado no país. Neste contexto, o Brasil desponta como o quarto maior gerador de resíduos plásticos no mundo. A utilização de plásticos traz inúmeros benefícios à indústria e aos consumidores, como associarem resistência, versatilidade e baixos custos. Em contrapartida alguns produtos possuem vida útil curta e podem demorar até 400 anos para degradarem-se quando descartados no meio ambiente, levando a impactos ambientais e à saúde humana. O presente estudo analisou o cenário do segmento de resíduos sólidos brasileiro com enfoque em resíduos plásticos. Fundamentado na análise dos impactos ambientais, da legislação vigente e das tecnologias para destinação dos resíduos plásticos. Dentre os principais desafios levantados para o gerenciamento dos resíduos plásticos estão: produtos com vários compostos plásticos, dificuldade de identificação da resina que compõem o material para a segregação correta, não especificidade da lei quanto as ações de cada agente dentro da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, fatores comportamentais e elevado investimento inicial de estações de tratamento. Portanto, concluiu-se que as seguintes medidas são necessárias: aprimorar leis, com divisão das responsabilidades mais explícita e incentivos econômicos e fiscais para bens reciclados, educar os consumidores sobre a reciclagem e seus benefícios, informar sobre os impactos ambientais e à saúde pública, facilitar a participação da população, por meio de um *design* de produto que facilite a segregação e criação de mais pontos de coleta seletiva e, finalmente, o governo deve buscar pluralidade de interesses, tomando medidas para alcançar o equilíbrio econômico e socioambiental.

Palavras-chave: destinação de resíduos, logística reversa, resíduos plásticos, gerenciamento de resíduos

Lista de Abreviaturas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

CFCs - Clorofluorcarbonetos

CORI - Comitê Orientador para Implementação de Sistemas de Logística Reversa

COVs - Compostos orgânicos voláteis

DDT - Diclorodifeniltricloroetano

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

EPS - Poliestireno Expandido

EVA - Acetato de vinila

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

NBR - Normas Brasileiras

PCBs - Bifenilos policlorados

PEAD - Polietileno de alta densidade

PEBD - Polietileno de baixa densidade

PET - Politeraftalato de etileno

PGRS - Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB - Produto Interno Bruto

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PP - Polipropileno

PPPs - Parcerias público-privadas

PPVC - Policloreto de Vinilo rígido

PS - Poliestireno

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SPI - Sociedade das Indústrias de Plásticos

UPVC - Policloreto de Vinilo flexível

WWF - World Wide Fund

SUMÁRIO

1	Introdução	9
1.1	Contextualização	9
1.2	Objetivos.....	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	Revisão Bibliográfica	12
2.1	Resíduos Plásticos	12
2.2	Impactos Ambientais e à Saúde.....	17
2.3	Legislação.....	20
2.3.1	União Europeia	20
2.3.2	Estados Unidos	23
2.3.3	Brasil.....	24
2.4	Logística Reversa	28
2.5	Destinação Final	33
2.5.1	Reciclagem	36
2.5.2	Disposição Final	48
3	Discussão	49
4	Considerações Finais e Sugestões.....	64
	Referências	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Símbolos de identificação (não padronizados) de algumas embalagens disponíveis no mercado brasileiro	16
Figura 2. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos – Parte 1: Geração de Resíduos	29
Figura 3. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos– Parte 2: Separação e Destinação de Resíduos	29
Figura 4. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos – Parte 3: Tratamento, Reúso, Reciclagem e Destinação de Resíduos	30
Figura 5. Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência	33
Figura 6. Evolução do tratamento de resíduos plásticos na União Européia (Mton).....	35
Figura 7. Produção e rotas de reciclagem de plásticosFonte: adaptado de (AL-SALEM <i>et al.</i> , 2010)	36
Figura 8. Fluxo de reciclagem mecânica de materiais plásticos.....	38
Figura 9. Diagrama do processo de pirólise de resíduos plásticos	42
Figura 10. Esquemático de uma termoelétrica	45
Figura 11. População atendida pelo serviço de coleta seletiva no Brasil (em milhões).....	51
Figura 12. Percentual de agentes executores da coleta seletiva municipal no Brasil em 2018.....	52
Figura 13. Correlação do custo da Coleta Seletiva x Coleta Convencional no Brasil.....	53
Figura 14. Composição gravimétrica da coleta seletiva no Brasil.....	54
Figura 15. Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta de RSU nos municípios participantes, segundo agente executor.....	55
Figura 16. Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios participantes, segundo agente executor e região geográfica	56
Figura 17. Custo unitário do serviço de coleta de RSU dos municípios participantes, segundo regiões geográficas (R\$/t).....	57
Figura 18. Percentuais de municípios segundo faixas de autossuficiência financeira do órgão gestor com o manejo de RSU	57
Figura 19. Percentuais de municípios e população com cobrança pelos serviços de coleta, transporte e destinação final de RSU dos municípios participantes, segundo região geográfica	58
Figura 20. Comparativo da energia necessária para produção de resinas plásticas recicladas e virgens (MJ/kg).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição média de RSU coletado no Brasil	12
Tabela 2. Produção e reciclagem de plásticos no mundo	13
Tabela 3 : Código de identificação dos principais tipos de materiais plásticos...	14
Tabela 4. Unidades de processamento de RSU por região geográfica	34
Tabela 5. Massa total de resíduos recebidos pelas unidades de processamento por tipo de unidade e região geográfica (ton).....	35
Tabela 6. Evolução da Reciclagem Mecânica de Plásticos.....	40
Tabela 7. Poder calorífico de alguns plásticos e outros combustíveis.....	47
Tabela 8. Quantidade de unidades de processamento de RSU, por tipo de unidade e agente operador	59

1 Introdução

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas, a discussão sobre o gerenciamento de resíduos sólidos vem sendo tópico de diversas pesquisas acadêmicas. De acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005), o manejo de resíduos é função importante das sociedades e essencial para a promoção do bem-estar. O manejo incorreto dos vários tipos de resíduos – ou sua falta – leva a prejuízos à saúde humana, perdas econômicas, perda de valores estéticos e danos à biodiversidade e aos ecossistemas (JURAS, 2012).

O Brasil é um país alicerçador desse tema e foi palco de um importante marco para o seu progresso. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorreu no Rio de Janeiro em 1992. Nela, o capítulo 21 da Agenda 21, da Rio92, como ficou conhecida, trata do manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos e aponta que esse manejo deve ir além do simples depósito ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados, procurando resolver a causa fundamental, ou seja, mudar os padrões não sustentáveis de produção e consumo, o que envolve a utilização do “conceito de manejo integrado do ciclo vital” (CNUMAD, 1992).

Contudo, avaliando os fatores que afetam a produção de resíduos nota-se que, em geral, o aumento da população leva ao aumento da produção total de resíduos. Não obstante, alguns estudos mostram que a quantidade de resíduos aumenta com o crescimento do PIB (OCDE, 2004). Além disso, outros fatores citados que se relacionam com a geração de resíduos sólidos são: mudanças sociais, como menor número de pessoas por domicílio, o que reduz o número de pessoas que usam determinados produtos (mobiliário, equipamentos domésticos), aumentando a geração de resíduos per capita; preferência maior por itens descartáveis, de sacolas plásticas a pratos, copos, passando por uma infinidade de embalagens; e obsolescência tecnológica, que torna os objetos menos duráveis e faz com que o conserto seja mais oneroso que a compra de um novo produto (MINISTER OF INDUSTRY OF CANADA, 2005).

Todavia, plásticos são parte integrante da sociedade e têm aplicação variada. Devido à possibilidade de escolha de diversas propriedades de forma conveniente para os clientes, há crescente aplicação em embalagens, agricultura, automóveis e área

biomédica. Portanto, são indispensáveis para a geração moderna, devido ao desenvolvimento da tecnologia da informação, sistemas de embalagens inteligentes, entre outros aspectos (SINGH *et al.*, 2016).

Sob o ponto de vista do cenário brasileiro, poucas empresas tem um sistema de reaproveitamento para os seus produtos pós-consumo, e em sua maioria é para resíduos especiais, definidos na PNRS (DE OLIVEIRA, 2012). Com isso, um grande mercado em potencial de reciclo de resíduos não está sendo explorado. Logo, com o objetivo de prevenir impactos ambientais e impactos à saúde humana e ao mesmo tempo reaproveitar matéria e energia dos bens produzidos, ou seja, aproveitamento econômico, faz-se necessário lançar mão da logística reversa como ferramenta para sua reutilização e reaproveitamento, criando-se um ciclo de vida integrado.

Para tal, é importante, primeiramente, diferenciar resíduos sólidos e rejeitos, e destinação e disposição final. Segundo definição da PNRS, destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético de resíduos. Enquanto, a disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários. Define-se também rejeito, que é um tipo específico de resíduo, quando todas as possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem já tiverem sido esgotadas e não houver solução final. (BRASIL, 2010). Desta forma, por seu elevado poder calorífico, versatilidade e resistência, os plásticos devem ser tratados como matéria-prima pós-consumo (resíduos) e não como rejeito (DE OLIVEIRA, 2012).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, fazer o levantamento do estado da arte do gerenciamento de resíduos plásticos no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer o levantamento dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado dos resíduos plásticos;
- Averiguar, com base em dados da literatura, quais as tecnologias empregadas para destinação dos resíduos plásticos, buscando o melhor para o cenário brasileiro;
- Apresentar um histórico da evolução da legislação brasileira frente à dos principais países desenvolvidos;
- Identificar os gargalos tecnológicos e econômicos no gerenciamento dos resíduos plásticos no Brasil;
- Propor um sistema de logística reversa para resíduos plásticos no cenário brasileiro.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Resíduos Plásticos

Uma das principais consequências dos modelos e padrões de consumo adotados pela sociedade atual é a elevada geração de resíduos, um grande problema ambiental que vem exigindo, cada vez mais, atenção para a busca de soluções. Esta questão apresenta forte associação com a ampla utilização de compostos plásticos que, apesar de associarem resistência e capacidade de usos múltiplos a baixos custos, podem resultar em impactos ambientais quando não gerenciados de forma correta (ANDRADY e NEAL, 2009).

A importância do gerenciamento de resíduos plásticos é evidenciada pelas mais de 300 milhões de toneladas produzidas no mundo anualmente. Cerca de 50% desse volume é utilizado em produtos que serão descartados dentro de um ano de sua compra (SINGH, 2016). E nesse âmbito, o plástico é a segunda maior categoria dentre os seus resíduos gerados no Brasil, como constatado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição média de RSU coletado no Brasil

Materiais	Participação (%)	Quantidade (Ton/ano)
Matéria Orgânica	51,4	28.544.702
Plástico	13,5	7.497.149
Papel, papelão e tetrapak	13,1	7.275.012
Metais	2,9	1.610.499
Vidro	2,4	1.332.827
Outros	16,7	9.274.251

Fonte: ABRELPE (2011)

Devido a elevada quantidade de resíduos plásticos pós consumo sendo gerados, o setor de reciclagem de plásticos cresceu no Brasil nos últimos 10 anos, com mais indústrias surgindo e mais empregos sendo gerados (RAIS, 2016). Entretanto, apesar do crescimento desse segmento no país, o desenvolvimento do setor de reciclagem ainda não está perto do avanço da geração de resíduos, deixando o Brasil bem atrás de países desenvolvidos no reaproveitamento desse material, evidenciado por dados da WWF (2018), apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Produção e reciclagem de plásticos no mundo

País	Total de lixo plástico gerado (em toneladas)	Total Incinerado (em toneladas)	Total reciclado (em toneladas)	Percentual de reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,6%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,9%
Índia	19.311.663	14.554	1.105.677	5,7%
Brasil	11.355.220	0	145.043	1,3%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,7%
Rússia	8.948.732	0	320.088	3,6%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,9%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,5%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,7%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,3%

Fonte: WWF/ Banco Mundial (2018)

Tratar e dar um destino adequado à grande quantidade de resíduos tem sido um grande desafio às autoridades brasileiras. Para que haja melhor gestão e gerenciamento de resíduos é preciso conhecer a quantidade e características do material descartado, pois a partir desses dados é possível definir a política municipal dos resíduos (REBEHY, 2019).

Produtos feitos de materiais plásticos apresentam um código de identificação da resina, normalmente um número de 1 a 7 dentro de um triângulo de três setas e sob ele uma abreviatura, cujo objetivo é indicar o tipo de plástico do qual o produto é feito. Este código normalmente é colocado na base do recipiente ou no verso da embalagem que contém o produto (no caso de material flexível). Os códigos de identificação têm por objetivo facilitar a recuperação dos recipientes plásticos descartados com o resíduo sólido urbano, uma vez que auxiliam sua separação e posterior reciclagem e revalorização (COLTRO *et al.*, 2008).

Este sistema de código de identificação de resinas foi introduzido em 1988 pela Sociedade das Indústrias de Plásticos – Society of Plastics Industry, Inc. (SPI) – devido a uma solicitação dos recicladores. Portanto, o sistema de códigos do SPI foi desenvolvido para atender as necessidades dos recicladores e, ao mesmo tempo, forneceu aos fabricantes um sistema consistente e uniforme que passou a ser aplicado em todo o território americano (COLTRO *et al.*, 2008).

O sistema de códigos impulsiona o controle de qualidade na linha de separação de materiais plásticos nos recicladores, assegurando que o plástico reciclado seja o mais homogêneo possível (EPIC, 2001). De acordo com Coltro *et al.* (2008), apesar de ser mais utilizado para a identificação de embalagens plásticas, este sistema também deveria ser aplicado a outros produtos de plástico, tais como pastas, capas, envelopes, canetas, bandejas, cadeiras, bancos, vasos, peças de equipamentos eletrônicos, sistemas de acolchoamento e outros inúmeros produtos de plástico utilizados pela sociedade, com a finalidade de facilitar a logística reversa.

O sistema de código de identificação de resinas do SPI serviu como base para a norma da ABNT NBR 13230:2008 – “Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos”. Os símbolos de identificação dos materiais plásticos são apresentados na Tabela 3 acompanhados de alguns exemplos de aplicação das resinas e os respectivos produtos.

Tabela 3 : Código de identificação dos principais tipos de materiais plásticos







Código	Tipo de plástico	Características	Exemplos de aplicações
	Politereftalato de etileno (PET ou PETE)	Transparente, impermeável a gases e à humidade e resistente a calor	Garrafas de água e de refrigerante, embalagens de produtos alimentares, enchimento de almofadas, fibras têxteis, etc.
	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Rígido, resistente a produtos químicos e à humidade, permeável a gases, fácil de produzir e moldar	Garrafas de leite, água e sumos, garrafas para produtos químicos domésticos, garrafas de álcool, embalagens de iogurte e de manteiga, brinquedos, tanques de combustível, etc.
	Vinílico (Policloreto de Vinilo flexível ou UPVC)	Flexível, elástico e transparente	Embalagens transparente de alimentos, garrafas para detergentes líquidos, embalagens para aplicações médicas, isolamento de fios e cabos, etc.
	Vinílico (Policloreto de Vinilo rígido ou PPVC)	Versátil, rígido, transparente, resistente a gordura e a produtos químicos	Tubos e conexões para água, calçado, acessórios médico-cirúrgicos, revestimentos, etc.

Tabela 3 : Código de identificação dos principais tipos de materiais plásticos

Código	Tipo de plástico	Características	Exemplos de aplicações
	Polipropileno (PP)	Resistente a produtos químicos e ao calor, permeável à humidade e a gordura	Embalagens para massas e bolachas, recipientes de iogurte e manteiga, seringas descartáveis, acessórios médico-cirúrgicos, fibras e fios têxteis, peça de automóvel, utilidades domésticas, etc.
	Poliestireno (PS)	Transparente ou opaco, semi-áspero, vidrado, rígido, frágil.	Pratos, talheres, copos descartáveis, embalagens de alimentos, aparelhos de som e televisões, revestimento de frigoríficos, etc.
	Poliestireno Expandido (EPS)	Alveolar, leve, absorve energia, isolante térmico	Embalagens de carne, painéis isolantes, caixas, enchimento de proteção para objetos frágeis, etc.
	Inclui todas as outras resinas e combinações de várias resinas. Exemplos: poliamidas (PA), copolímeros acrilonitrilo/estireno/butadieno e acrilonitrilo/estireno (ABS/SAN), polimetacrilato de metilo (PMMA), acrílicos, poliuretano (PU) e resinas fenólicas.		

Fonte: Adaptado COLTRO *et al.* (2008)

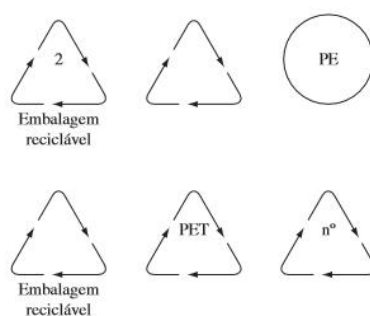
Como apresentado, os plásticos tem diversas aplicações e, no Brasil, o consumo é variado. Contudo, segundo dados da ABIPLAST (2017), os plásticos mais consumidos no Brasil são: PP com 21,7%, seguido de PEAD e PVC com 13,6%. O PP tem aplicação diversa, sendo usado para embalagens, peças de automóveis e até fios têxteis. O PEAD, por ter uma alta resistência a produtos químicos, é usado em forma de garrafas para contenção de químicos e tanque de combustíveis. O PVC, podendo ser encontrado na sua forma rígida ou flexível, é principalmente usado em tubos e conexões, podendo ser também utilizado como embalagem (ABIPLAST, 2017).

Em contrapartida, os tipos de plásticos menos consumidos no Brasil são o EPS com 2,6%, mais conhecido como isopor, que é utilizado na construção civil e como embalagem devido as suas propriedades isolantes, sua leveza e resistência, e o EVA

com 1,3%, que é utilizado para artesanato, entre outras aplicações, devido ao seu aspecto emborrachado e as suas propriedades adesivas e flexivas (ABIPLAST, 2017).

Contudo, apesar da norma brasileira já contar com 11 anos de existência, ainda existe muita heterogeneidade na identificação das embalagens disponíveis no mercado brasileiro. Além do uso de símbolos não normalizados, também existem muitas embalagens plásticas sem a identificação da resina, somente com o triângulo de três setas indicativo de material reciclável, ponto verde (símbolo de material coletado pelo sistema alemão – DSD), além daquelas onde a impressão do prazo de validade, número de lote, etc., estão impressos sobre o símbolo de identificação da resina (COLTRO *et al.*, 2008). A Figura 1 representa alguns símbolos de identificação impróprios existentes no mercado brasileiro.

Figura 1. Símbolos de identificação (não padronizados) de algumas embalagens disponíveis no mercado brasileiro



Fonte: COLTRO *et al.* (2008)

A falta de padronização do mercado dificulta a cadeia de reciclagem dos resíduos plásticos no Brasil. Assim, antes de gravar ou imprimir qualquer símbolo de identificação da resina plástica deve-se consultar a norma ABNT NBR 13230 e adotar o símbolo adequado ao produto plástico em questão (COLTRO *et al.*, 2008).

2.2 Impactos Ambientais e à Saúde

Entre as fontes de degradação ambiental, os resíduos sólidos gerados por diversos agentes oferecem risco potencial ao ambiente. Essa questão tem sido cada vez mais objeto de preocupação de órgãos de saúde e ambientais, prefeituras, técnicos e pesquisadores da área, pois o crescimento acelerado das metrópoles faz com que as áreas disponíveis para a destinação dos resíduos sólidos urbanos se tornem escassas (SISINNO e OLIVEIRA, 2000).

A superprodução, advinda desse crescimento, pode ser explicada pelo modelo de desenvolvimento tecnológico e econômico contemporâneo, que estimula cada vez mais o consumo, tanto em países ricos como em países pobres (VILELARIBEIRO *et al.*, 2009). Ainda é possível salientar que o tratamento dos resíduos plásticos, dentre outros processos, são destacados como graves problemas, principalmente em países menos desenvolvidos, onde há menor investimento em tecnologias de gerenciamento de resíduos (VILELARIBEIRO *et al.*, 2009).

O descarte dos resíduos tem se tornado um problema mundial quanto ao prejuízo e poluição do meio ambiente, caso sejam descartados sem nenhum tratamento, podem afetar a qualidade dos solos, das águas e/ou do ar. A poluição do solo pode alterar suas características físico-químicas, que representa uma séria ameaça à saúde pública tornando-se o ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças. A poluição da água pode alterar as características do ambiente aquático, através da percolação do líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, associado com as águas pluviais e nascentes existentes nos locais de descarga dos resíduos. A poluição do ar pode ser provocada pela decomposição dos resíduos com e sem a presença de oxigênio no meio, além de originar riscos de migração de gás, explosões e até de doenças respiratórias, se em contato direto com os mesmos (MOTA *et al.*, 2009).

Evidenciando o plástico, temos que ao mesmo tempo que a durabilidade e a resistência a degradação são vantagens em termos de aplicação para os mais variados usos, seus empregos podem representar um problema ambiental. Uma das suas principais utilizações é na fabricação de embalagens que são, usualmente, descartadas após uma única utilização e vão se acumulando ao longo do tempo na natureza (SANTOS, 2011).

Um exemplo comum desse fato são os impactos negativos relacionados à vida útil curta e baixa degradabilidade das sacolas plásticas, que podem demorar de 100 a 400 anos para se degradar no meio ambiente pela ação de raios ultravioletas, umidade e calor. Além do efeito cumulativo, elas podem causar poluição visual devido à disposição nas ruas, parques, praças e ambientes turísticos; entupimentos das vias públicas de drenagem; agravamento dos problemas de chuvas fortes como alagamento, engarrafamentos, etc.; interferência negativa na alimentação da vida selvagem; alteração do ecossistema e biodiversidade; foco no crescimento de larvas de mosquitos transmissores de doenças como malária e dengue (SANTOS, 2011).

Apesar de existirem alternativas às sacolas plásticas, como o uso de sacolas biodegradáveis, sacolas degradáveis, sacolas de papel ou sacolas reutilizáveis, qualquer que seja a alternativa escolhida, há impacto ambiental associado. Desta forma, a decisão de uma comunidade sobre a substituição ou a destinação mais adequada para as sacolas plásticas pós-consumo necessita estar fundamentada no seu contexto socioeconômico e em informações estruturais e econômicas amplas e confiáveis (SANTOS, 2011).

Além disso, podemos destacar que há décadas os ambientalistas apontam que os materiais plásticos descartados no mar representam uma das maiores ameaças ao meio ambiente. Cerca de 90% dos resíduos presentes nos oceanos é composto por materiais plásticos (BARNES *et al.*, 2009). No ambiente marinho, o resíduo plástico pode ser carregado por milhares de quilômetros pelas correntes oceânicas, afetando a vida de tartarugas, pássaros, mamíferos marinhos, corais, assim como uma variedade de peixes e crustáceos, sendo um dos importantes problemas ambientais marinhos globais do século XXI (DONOHUE, 2005).

Ademais, os polímeros plásticos funcionam como veículos para alguns compostos tóxicos que não se dissolvem na água do mar como DDT, PCBs e nonofenóis (MATO *et al.*, 2001). Os *pellets* plásticos acumulam até um milhão de vezes o nível destas moléculas de forma que a ingestão deles pode levar a problemas nos organismos que os consomem e, indiretamente, em humanos (MOORE, 2002). Um estudo realizado pela EPA (1992) identificou que os *pellets* podem ser perdidos para o ambiente em diferentes etapas de produção, transporte e/ou transformação das indústrias, pelos rios ou sistemas de esgoto ou de drenagem de águas pluviais.

Os vários impactos ambientais decorrentes das diferentes formas de disposição de resíduos sólidos, de maneira geral, oferecem também riscos importantes à saúde humana. Sua disposição no solo, em lixões ou aterros, por exemplo, constitui uma importante fonte de exposição humana a várias substâncias tóxicas. As principais rotas de exposição a esses contaminantes são a dispersão do solo e do ar contaminado (WARD, WILLIAMS, HILLS, 1996), a lixiviação e a percolagem que levam a geração do chorume (ou lixiviado de aterro sanitário) (EL-FADEL, 1997). O último pode ocorrer não apenas enquanto o lixão ou o aterro está em funcionamento, mas também depois de sua desativação, uma vez que os produtos orgânicos continuam a degradar-se. Estudos têm indicado que áreas próximas a aterros apresentam níveis elevados de compostos orgânicos e metais pesados (SISSINO CLS, 1996), e que populações residentes nas proximidades desses locais apresentam níveis elevados desses compostos no sangue (SANTOS FILHO *et al.*, 2003). Assim, esses depósitos de resíduos sólidos constituem em potenciais fontes de exposição para populações, tendo sido relatado riscos aumentados para diversos tipos de câncer (PUKKALA, 2001), anomalias congênitas, baixo peso ao nascer (ELLIOT P, 2009), abortos e mortes neonatais (DUMMER, 2003) nessas e em populações vizinhas a esses locais.

A situação se torna mais crítica para indivíduos que trabalham e vivem da recuperação de resíduos, especialmente os catadores de materiais recicláveis, os quais realizam seu trabalho, usualmente em condições insalubres e sem equipamentos de proteção, resultando em alta probabilidade de adquirir doenças. Alguns problemas relacionados ao trabalho de reciclagem incluem a exposição a metais e substâncias químicas, a agentes infecciosos como o vírus da hepatite B, doenças respiratórias, osteomusculares e lesões por acidentes (SISINNO, 2000).

Pode-se evidenciar que os plásticos causem 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 (ROCHMAN, 2013).

2.3 Legislação

No que se refere à legislação sobre gerenciamento de resíduos sólidos, muito se evoluiu ao longo dos últimos anos. A sua importância está relacionada com a sua abrangência em outros campos, tais como a gestão sustentável, mudanças climáticas, biodiversidade, proteção ambiental, energia, agricultura e proteção dos solos. Todavia, as regulamentações não costumam focar especificamente nos resíduos plásticos e distinção desses materiais (DE OLIVEIRA, 2012).

A preocupação com o meio ambiente em geral e os resíduos em particular resultou em novas legislações. Inspirados na legislação alemã, a maior parte dos países europeus vem adotando regras bastante rígidas em relação aos resíduos sólidos. Além disso, com vistas a aprimorar o tratamento dado à questão, a União Europeia vem editando várias normas referentes a resíduos sólidos. No Brasil, foi aprovada, após 20 anos de tramitação, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a “Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências”. Entre os pilares da nova Lei, encontra-se a responsabilidade compartilhada¹ pelo ciclo de vida do produto, que se inspira na responsabilidade pós-consumo e tem por fundamento o princípio do poluidor-pagador² (JURAS, 2012).

A seguir será apresentado uma visão geral das principais políticas adotadas em países da União Europeia e EUA sobre gerenciamento de resíduos com enfoque na gestão da fração materiais plásticos. Essa análise irá propiciar a criação de uma correlação entre os princípios e práticas adotados em países desenvolvidos e os da legislação brasileira.

2.3.1 União Europeia

Aprofundando na evolução histórica das legislações internacionais, na União Europeia, a Diretiva 75/442/CEE (EUROPA, s.d. b), relativa a resíduos em geral, determinava que os Estados-membros adotassem as medidas necessárias para promover a prevenção, a reciclagem e a transformação dos resíduos, a obtenção a partir destes de

¹ A responsabilidade compartilhada é conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e do governo, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

² O princípio do poluidor-pagador consiste na obrigação do poluidor de arcar com os custos da reparação do dano por ele causado ao meio ambiente.

matérias-primas e eventualmente de energia, assim como qualquer outro método que permita sua reutilização. Além disso, os Estados-membros deveriam garantir que os resíduos fossem aproveitados ou eliminados sem pôr em perigo a saúde humana e sem utilizar processos ou métodos susceptíveis de agredir o ambiente, especialmente: sem criar riscos para a água, o ar, o solo, a fauna ou a flora; sem causar perturbações sonoras ou por odores; sem danificar os locais de interesse e a paisagem (JURAS, 2012).

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 (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Outra política que segue o mesmo rumo é a Diretiva para resíduos eletroeletrônico, 2002/96/EC. Sendo boa parte destes equipamentos formada de plásticos, a legislação prevê um aumento na reciclagem desses tipos de produtos. 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. Além disso, inclui algumas restrições, como o uso de certos materiais que entrarão em contato com alimentos para bebês e crianças (DE OLIVEIRA, 2012).

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 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 (DE OLIVEIRA, 2012).

Em 2005, o 6º 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 6 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).

A Regulamentação de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Químicos (1907/2006/E), 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*) (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Os transformadores europeus de plásticos (EuPC, do inglês (*European Plastics Converters*)), os recicladores europeus de plásticos (EuPR, do inglês (*European Plastics Recyclers*)), a *Plastics Europe* e Vinyl (2010) criaram um projeto sobre Base de Dados para Materiais Reciclados Seguros. A REACH (Regulamentação de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Químicos) requer que haja troca de informações entre os produtores e consumidores de plásticos. Porém, 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 órgão responsável (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

2.3.2 Estados Unidos

Nos Estados Unidos da América (EUA), a legislação federal sobre o tema tem diferente enfoque, embora também lance mão do princípio do poluidor-pagador e da responsabilidade compartilhada pelos resíduos gerados (JURAS, 2012).

O primeiro Ato que tratava sobre a disposição de resíduos sólidos nos EUA (*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 EUA 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 resíduos, 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. (DE OLIVEIRA, 2012). A política nacional e os objetivos do RCRA de interesse para este estudo, 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.

Na sua forma consolidada ao longo desses anos, pode-se apontar como conteúdo principal da Lei de Resíduos Sólidos o disciplinamento de uma política nacional, definindo as competências da EPA e outros agentes em termos de regulação e fiscalização, e estabelecendo diretrizes nacionais mínimas a serem respeitadas,

notadamente no que se refere aos resíduos perigosos. No que tange aos resíduos não perigosos, há apenas recomendações às municipalidades por parte da EPA (JURAS, 2012).

Como anteriormente mencionado, a responsabilidade estendida do produtor³ não é encontrada na legislação federal norte-americana. No entanto, alguns estados e cidades têm leis próprias adotando a responsabilidade estendida do produtor para alguns produtos. Em relação a embalagens, por exemplo, 11 estados instituíram o sistema de depósito-retorno. (JURAS, 2012).

2.3.3 Brasil

Para tratar da destinação de resíduos plásticos no Brasil, é preciso, primeiramente, examinar as políticas de resíduos sólidos, pois não existe uma Lei específica no país que aborde diretamente a destinação de materiais plásticos. Para isso, a evolução dessas políticas será apresentada a seguir, em ordem cronológica, segundo descrito por De Oliveira (2012).

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, trata desse segundo ponto sob a perspectiva de exaustão dos recursos, não abordando a disposição de resíduos ou reciclagem.

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. 4º, II, e art. 5º, V), e à abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais (art. 4º, VII). Entre os objetivos, destacam-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. 5º, III, IV e VI). Uma medida importante foi a edição do Decreto nº 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

³ A responsabilidade estendida do produtor transfere a responsabilidade pelos resíduos do governo para a indústria privada, obrigando os produtores, importadores e/ou vendedores a internalizar os custos da gestão dos resíduos nos preços dos seus produtos.

repartições, o Decreto teve por fim a destinação de qualquer material reciclável utilizado em entidades públicas.

Em seguida, foi sancionada a Lei nº 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 7º que define que, para os efeitos desta lei, a coleta, transporte, triagem para fins de reúso 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 item I do parágrafo 1º, art. 52.

Posteriormente, a ANVISA liberou o uso de garrafas de 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 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.

Porém, o principal marco legislativo foi a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, aprovada após mais de 20 anos de discussão no Congresso Nacional, que veio preencher importante lacuna na legislação ambiental brasileira ao instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A nova lei de resíduos sólidos tem a grande vantagem de reunir inúmeros dispositivos legais anteriormente esparsos em instrumentos normativos diversos, como resoluções e portarias, de forma orgânica e coerente (JURAS, 2012).

Da mesma forma que em outros países, as ações relacionadas à gestão dos resíduos domiciliares são principalmente de competência dos municípios, que têm autonomia administrativa definida na constituição brasileira. Assim, a lei federal estabelece as normas gerais, aplicáveis a todo o país, sem esgotar a possibilidade de haver legislação estadual suplementar. O campo de abrangência dado pela lei é amplo,

pois envolve não apenas o poder público, mas também os vários setores produtivos, incluindo todos os atores da cadeia produtiva, ou seja, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, chegando ao consumidor final (JURAS, 2012).

Em consequência, em 2010, o BNDES criou o Programa Proplástico, de apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva do plástico. O programa teve vigência até dezembro de 2012 com o objetivo de 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 indústria nacional nos âmbitos econômico, comercial, administrativo-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 (DE OLIVEIRA, 2012).

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

De forma geral, no Brasil, os princípios que sustentam a PNRS são consistentes com os utilizados pelos países desenvolvidos (o poluidor-pagador e o protetor-receptor). Ela também estabelece a cooperação entre as diferentes esferas do governo, setor de negócios e outros segmentos da sociedade, que possuem responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010; NOVI *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2019). Neste último, os sistemas de coleta seletiva e logística reversa são os principais instrumentos (ZHANG *et al.*, 2011).

O governo brasileiro também criou um comitê de direção para a implementação de sistemas de logística reversa em 2010 via decreto 7.404. Esse comitê foi composto por cinco Ministros de Estado (Meio Ambiente, Saúde, Agricultura e Pecuária, Finanças e Indústria e Comércio) para estabelecer as prioridades na implementação dos sistemas de logística reversa e acompanhar a implementação. Essa decisão permitiu que a

negociação entre os setores público e empresarial identificasse obstáculos e propiciasse o consenso entre as partes para criação de soluções conjuntas (BRASIL, 2010; OLIVEIRA E JUNIOR, 2016).

2.4 Logística Reversa

A PNRS define a logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Segundo Leite (2009), esse processo agrega, à empresa, valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

A logística reversa possui estreita relação com o princípio do poluidor-pagador, o qual imputa o ônus de arcar com os custos do impacto diretamente àquele que utilizou o recurso natural (SILVA FILHO e SOLER, 2013). Ela é aplicada ao caso dos produtos pós-consumo, cujo princípio recai sobre toda a cadeia de suprimentos – fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores finais, visto que todos têm influência nos efeitos ambientais negativos que os resíduos podem gerar dado seu descarte inadequado (LEITE, 2012).

Visto isso, a PNRS, em seu art. 31, prevê que, com propósito de fortalecer a responsabilidade compartilhada, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem considerar, no momento de fabricação de produtos, a possibilidade de reutilização e reciclagem após o uso, bem como divulgar informações e organizar o recolhimento de produtos e dos resíduos remanescentes (ABRELPE, 2015).

De maneira bastante sintética, pode-se afirmar que a PNRS (2010) tem por objetivos a eficiência nos serviços e o estabelecimento de um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos, voltada para seu aproveitamento como recurso. (SILVA FILHO, 2012).

Ressalta-se ainda que um sistema cíclico garante o cumprimento das diretrizes da PNRS, em especial da determinação de aplicação de uma ordem de prioridade de ações, veiculada pelo dispositivo que estabelece a hierarquia na gestão e no gerenciamento dos resíduos sólidos.

Um fluxograma de gerenciamento de resíduos sólidos, visando a sustentabilidade, pode ser dividido em três etapas. As etapas 2 e 3 representam processos pertencentes à cadeia de logística reversa de resíduos sólidos. (Figuras 2, 3 e 4)

Figura 2. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos – Parte 1: Geração de Resíduos



Fonte: Adaptado de ZANIN (2015)

Nessa etapa a matéria-prima é produzida a partir de recursos naturais e é posteriormente transformada em matéria-prima industrial. A seguir ela é remodelada, através de processos físicos e químicos, para produção de bens e embalagens, que são transportados e consumidos. Ao final desta cadeia tem se a geração de resíduos.

Figura 3. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos – Parte 2: Separação e Destinação de Resíduos

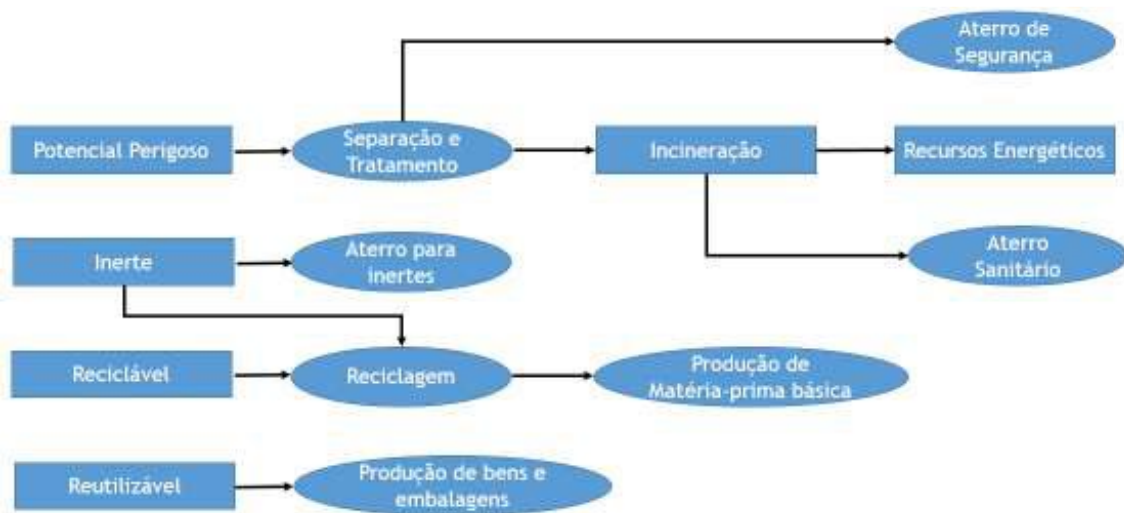


Fonte: Adaptado de ZANIN (2015)

Nessa etapa, ocorre da separação de resíduos sólidos dos demais (resíduos líquidos e gasosos). E caso não tenha sido coletado de forma seletiva, ou seja, caso já não esteja segregado, ele é idealmente desmembrado em categorias, ou então, em caso

da falta de um sistema de logística reversa e em casos de rejeitos, encaminhado para aterro sanitários.

Figura 4. Modelo de gerenciamento de resíduos sólidos – Parte 3: Tratamento, Reúso, Reciclagem e Destinação de Resíduos



Fonte: Adaptado de ZANIN (2015)

Nessa etapa, a partir da categorização de resíduos sólidos, eles seguem rotas distintas. Os resíduos potencialmente perigosos são separados e tratados e seguem, idealmente, para incineração com aproveitamento de recursos energéticos, senão seguem para o aterro de segurança. Os resíduos inertes seguem, idealmente, para reciclagem, senão para aterros especializados em resíduos inertes. Os resíduos recicláveis são reciclados e aproveitados como matéria-prima. E, finalmente, os resíduos reutilizáveis retornam a cadeia de produção de bens e embalagens (ZANIN, 2015).

Uma vez que a existência de um sistema de coleta de material constitui um primeiro passo para viabilizar atividades recicladoras, a oneração do setor público pode ser evitada tornando o setor produtivo responsável por seus resíduos. A criação de taxas para embalagens não recicláveis é um dos meios de promover maiores índices de reciclagem. Algumas outras medidas que podem ser adotadas para não sobrecarregar o setor público são a imposição obrigatória do uso de reciclado em alguns setores, como obrigar o papel jornal conter 25% de papel reciclado (DUCHIN e LANGE, 1998) e o incentivo ao uso de artigos exclusivos de material reciclado, sem a necessidade de licenciamento para quem os queira produzir. Esse raciocínio faz parte da logística

reversa do retorno da embalagem final até o reciclador. Dessa forma, através de mecanismos de comando e controle, a tributação das indústrias por força política foram adotadas no mundo para que as metas de reciclagem sejam atingidas (DENT, 1999).

A viabilização do sistema de coleta também pode ser favorecida pela inserção de uma política de troca de embalagens por brinquedos, cupons com valor financeiro, ou material esportivo em comunidades carentes, por exemplo. Uma iniciativa que está sendo implementada em São Paulo é a “Retorna Machine”, uma máquina de venda reversa que recolhe resíduos sólidos reutilizáveis ou recicláveis, disponibilizada pela empresa Triciclo. Qualquer pessoa pode criar uma conta no sistema da Triciclo, através do site, aplicativo ou da própria máquina e fazer o descarte dos seus resíduos. Com isso, o consumidor vai acumulando pontos vinculados a seu cadastro e que podem ser revertidos em benefícios como crédito no Bilhete Único, desconto na conta de luz, em livros na Saraiva e outras vantagens de parceiros do programa. (TRICICLO, 2019)

Outra contribuição importante que a cadeia produtiva pode promover é o uso de embalagens com menor número de resinas diferentes, o desenho de projetos que facilitem a separação de componentes das embalagens com resinas diferenciadas, evitando na medida do possível o uso de embalagens multicamadas (DENT, 1999), adesivos, aditivos e rótulos nas embalagens (DUCHIN e LANGE, 1998). Uma das soluções propostas para evitar esse problema é o *design* mais sustentável dos plásticos, principalmente os de curto tempo de uso, desde o início da sua cadeia (DENT, 1999). Além disso, a inserção do plástico reciclado no mercado consumidor também é outro aspecto chave para que metas de redução de resíduos sejam atingidas, já que contribuem indiretamente para a redução no consumo geral dos plásticos virgens (DENT, 1999). Vale ressaltar que com a PNRS, tornou-se obrigatório, a partir da celebração de acordo setorial, o processo de implantação e operacionalização de sistema de logística reversa para as seguintes classes de produtos: agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, equipamentos eletrônicos, embalagens e medicamentos. Ficando responsáveis pelo processo de logística reversa fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores (BRASIL, 2010; art.33).

Contudo, o ponto negativo a salientar é a postergação, mais uma vez, da definição do início da obrigação dos fabricantes e comerciantes quanto à implantação da logística reversa de lâmpadas, produtos eletrônicos e, especialmente, embalagens. O Decreto 7.404/2010 deveria ter avançado na matéria, incluindo metas concretas de

coleta e destinação ambientalmente adequada desses resíduos (JURAS, 2012), mas que teve sua implementação somente em 2017.

Em 25 de setembro de 2017, o CORI, criado pelo Decreto Federal nº 7.404/2010 (que regulamentou a PNRS), publicou a Deliberação do nº 11, por meio do qual implementa a “economia circular” e “responsabilidade pós-consumo”. Dentre as novas regras, os acordos setoriais passam a ser vinculantes, ou seja, aplicáveis a empresas signatárias e não signatárias, além da criação da “entidade gestora”, cuja função é administrar a implementação e a operacionalização do sistema.

Além disso, a logística reversa de embalagens passa a ser requisito obrigatório do PGRS, com cronograma de implantação e relatório anual de avaliação de desempenho. Logo após, em 23 de outubro de 2017, foi publicado o Decreto Federal nº 9.177/2017, o qual prevê que o descumprimento de termos de compromisso e acordos setoriais, agora vinculantes, fica sujeito às penalidades previstas na legislação ambiental, com multa de R\$ 5.000,00 a 50 milhões (BRASIL, 2017).

2.5 Destinação Final

Os plásticos tendem a permanecer por muito tempo onde forem depositados, por isso sua destinação correta é essencial. Por seu elevado poder calorífico, versatilidade e resistência, os plásticos devem ser tratados como matéria-prima pós-consumo e não como rejeito. Após o seu descarte, as possibilidades corretas de destinação incluem reuso, reciclagem, incineração e, como opção menos favorável, a disposição em aterros sanitários (Figura 5) (DE OLIVEIRA, 2012).

Figura 5. Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência



Fonte: AZAPAGIC (2003)

A importância do tratamento foi evidenciada por Massukado (2004) quando afirmou que o tratamento dos resíduos são ações corretivas que podem trazer como benefícios: sua valorização, ganhos ambientais com a redução do uso de recursos naturais e da poluição, geração de emprego e renda, e aumento da vida útil dos locais de disposição final.

Segundo Ibam (2001), o tratamento dos RSU pode ser definido como uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte do RSU em local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

Além disso, os custos cada vez mais elevados para a criação de novos aterros sanitários e a escassez de espaço têm influenciado o aprimoramento de técnicas para a destinação de resíduos plásticos, como reciclagem e incineração (DE OLIVEIRA, 2012).

Contudo, o Brasil ainda possui uma gestão inadequada de resíduos sólidos. Segundo os dados do SNIS (2017) os lixões representam 28% das unidades de destinação final de resíduos. Esse percentual é de 5 % no Sudeste e de alarmantes 70% no Nordeste, mostrando a desigualdade de investimentos sanitários nas diferentes regiões do país, conforme representado na Tabela 4.

Tabela 4. Unidades de processamento de RSU por região geográfica

Tipo de unidade de Processamento	Quantidade de unidades de processamento por região					Total de unidades de processamento
	N	NE	SE	S	CO	
Lixão	157	620	87	41	186	1091
Aterro Controlado	28	55	414	38	41	576
Aterro Sanitário	18	55	336	194	37	640
Unidade de Compostagem	0	3	52	10	3	68
Unidade de Tratamento por Incineração	0	5	7	3	1	16
Unidade de Tratamento por micro-ondas ou autoclave	1	2	10	3	0	16
Área de reciclagem de RCC (resíduos de construção civil)	0	1	21	8	1	31
Aterro de RCC (aterro de inertes)	0	2	35	15	5	57
Outros	31	150	748	445	83	1457

Fonte: SNIS (2017)

Analisando o tipo de destinação final por quantidade de resíduo, verifica-se uma situação menos preocupante, com 9% do peso dos resíduos sendo encaminhado para lixões. Esse número difere do número de unidades pois 54% dos resíduos são produzidos pela região Sudeste e ela encaminha somente 2 % dos seus resíduos para lixões, apontado pelos dados da SNIS (2017) na Tabela 5.

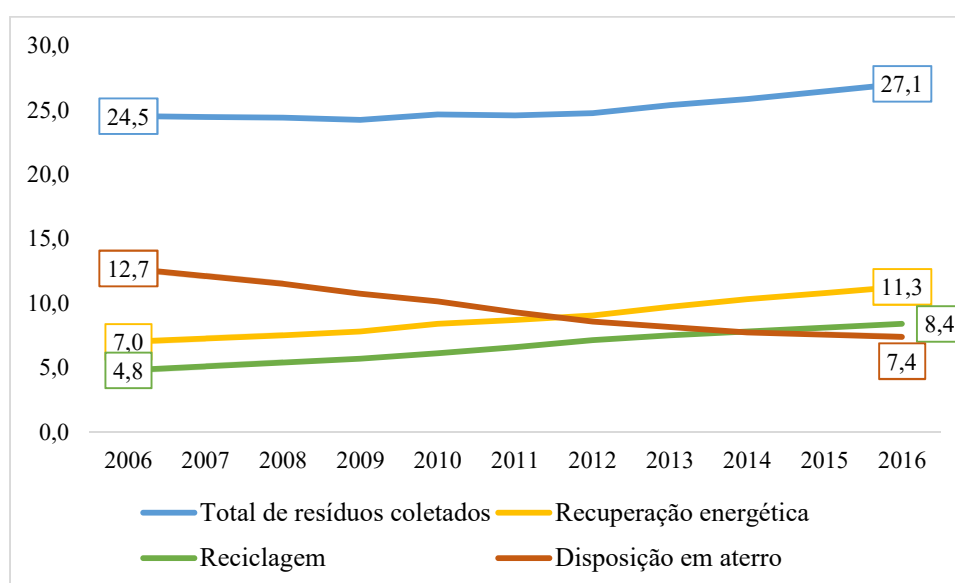
Tabela 5. Massa total de resíduos recebidos pelas unidades de processamento por tipo de unidade e região geográfica (ton)

Tipo de unidade de Processamento	Massa recebida nas unidades de processamento por região					Massa total recebida
	N	NE	SE	S	CO	
Lixão	1.084.097	3.855.036	692.999	124.046	1.135.522	6.891.700
Aterro Controlado	1.594.491	1.351.100	2.440.233	213.276	967.007	6.566.107
Aterro Sanitário	2.025.702	7.627.314	23.977.510	4.886.658	2.265.378	40.782.562
Unidade de Compostagem	0	8	187.631	23.578	60.119	271.336
Unidade de Tratamento por Incineração	0	5.697	652	43.175	2.165	51.689
Unidade de Tratamento por micro-ondas ou autoclave	720	485	34.552	1.946	0	37.703
Área de reciclagem de RCC (resíduos de construção civil)	0	22.460	945.373	111.789	360	1.079.982
Aterro de RCC (aterro de inertes)	0	0	833.796	160.476	1.880	996.152
Outros	127.869	2.755.886	10.616.334	2.563.664	594.203	16.657.956

Fonte: SNIS (2017)

Comparativamente, pode-se perceber que a evolução europeia para o reaproveitamento material e energético dos resíduos sólidos urbanos foi mais intensa, com a diminuição de 43% do uso de aterros sanitários e aumento de 79% da reciclagem dos seus resíduos plásticos no período de 2006 a 2016, apresentado na Figura 6.

Figura 6. Evolução do tratamento de resíduos plásticos na União Européia (Mton)



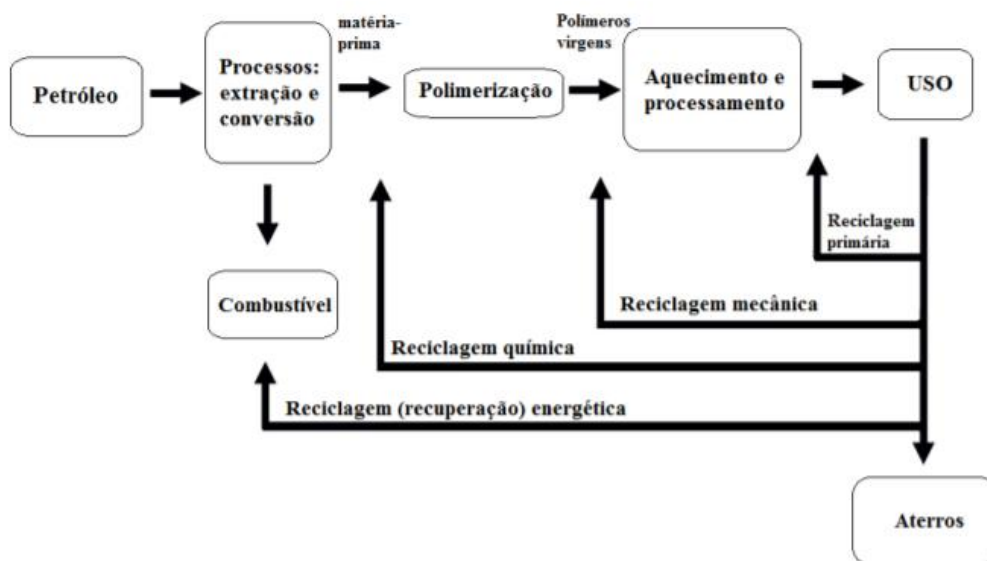
Fonte: EPRO (2018)

2.5.1 Reciclagem

A reciclagem é um método de inserir novamente no sistema uma parte da matéria e da energia de um produto que se tornaria rejeito. O ato de reciclar faz com que um determinado objeto retorne ao ciclo de produção. A partir de vários processos de separação dos materiais e do seu beneficiamento, é possível que ele retorne à indústria como matéria-prima (AL-SALEM *et al.*, 2010).

Resíduos de resinas comerciais foram recicladas com sucesso a partir de uma série de produtos finais, incluindo: peças de automóveis, eletrodomésticos, têxteis, coberturas, estufas e filmes. Os processos de tratamento e reciclagem de plásticos poderiam ser alocados em quatro categorias principais (AL-SALEM *et al.*, 2010), reextrusão (primária), mecânica (secundária), química (terciária) e recuperação de energia (quaternária), apresentados na Figura 7. Cada método fornece um conjunto exclusivo de vantagens que os tornam particularmente benéficos para locais, aplicações ou requisitos específicos (AL-SALEM *et al.*, 2010).

Figura 7. Produção e rotas de reciclagem de plásticos



Fonte: adaptado de (AL-SALEM *et al.*, 2010)

Como vantagens deste processo têm-se a preservação dos recursos naturais, a economia de energia, a redução da quantidade de resíduos a ser disposta em aterros sanitários, além da geração de empregos e serviços. A partir destas vantagens há uma redução dos impactos que poderiam ser gerados ao meio ambiente com a produção de

energia para o beneficiamento dos recursos naturais, assim como da destinação final dos resíduos (SOARES, 2009).

2.5.1.1 Reciclagem primária, ou re-extrusão

Também chamada de reciclagem pré-consumo, 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 (ROLIM, 2000).

A reciclagem mecânica primária pode ser definida como o reprocessamento do refugo de plástico resultante do processo produtivo, não sendo aplicável, a princípio, 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 (DE OLIVEIRA, 2012).

É possível, em teoria, reciclar em circuito fechado ⁴a maioria dos termoplásticos, no entanto, embalagens plásticas frequentemente usam uma ampla variedade de diferentes polímeros e outros materiais, como metais, papel, pigmentos, tintas e adesivos, o que aumenta a dificuldade do processo. A reciclagem em circuito fechado é mais prática quando o constituinte do polímero pode ser efetivamente separado de fontes de contaminação e estabilizado contra a degradação durante o reprocessamento e o uso subsequente (HOPEWELL et al., 2009).

Idealmente, o fluxo de resíduos plásticos para o reprocessamento também consistiria em uma faixa estreita de classes de polímeros para reduzir a dificuldade de substituir a resina virgem diretamente. Por exemplo, todas as garrafas PET são feitas de graus similares de PET, adequadas tanto para o processo de fabricação de garrafas quanto para o reprocessamento de fibras de poliéster, enquanto o PEAD usado para garrafas de moldagem por sopro é menos adequado para aplicações de moldagem por injeção. Como resultado, as únicas partes do fluxo de resíduos plásticos pós-consumo que rotineiramente foram recicladas de forma estritamente fechada são garrafas PET transparentes e, no Reino Unido, garrafas de leite PEAD (HOPEWELL et al., 2009).

Os resíduos plásticos pré-consumo, como embalagens industriais, são atualmente reciclados em maior escala do que as embalagens pós-consumo, pois são

⁴ A reciclagem em circuito fechado é um processo em que resíduos são recolhidos, reciclados e reutilizados para produzir o mesmo produto original.

relativamente puros e disponíveis em um número menor de fontes com o volume relativamente maior (HOPEWELL *et al.*, 2009). Os volumes de resíduos pós-consumo são, no entanto, até cinco vezes maiores do que os gerados no comércio e na indústria (PATEL *et al.*, 2000) e, assim, para alcançar altas taxas gerais de reciclagem, resíduos pós-consumo e pós-industriais precisam ser coletados e reciclados.

Em alguns casos, o plástico recuperado não é adequado para reciclagem na aplicação anterior, logo ele é usado para fazer um novo produto de plástico substituindo parcialmente uma proporção de resina de polímero virgem - isso também pode ser considerado como reciclagem primária (HOPEWELL *et al.*, 2009).

2.5.1.2 Reciclagem secundária, ou mecânica

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. Ou seja, quanto mais misturado e contaminado for o resíduo, mais difícil será reciclá-lo mecanicamente. A separação do material plástico dos demais tipos de resíduo previamente à coleta é de grande serventia (AL-SALEM *et al.*, 2010).

A reciclagem mecânica, em escala industrial, em geral envolve uma série de tratamentos e etapas de preparação que são explicadas a seguir e demonstrado na Figura 8.

Figura 8. Fluxo de reciclagem mecânica de materiais plásticos



Fonte: ABIPLAST (2017)

Essas etapas podem ser descritas:

- 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 no Brasil, 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 (AL-SALEM *et al.*, 2010).

- Moagem: envolve a redução do tamanho do material, transformando-o em fragmentos menores, como grânulos, pó ou flocos (AL-SALEM *et al.*, 2010).

- 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 (AL-SALEM *et al.*, 2010).

- 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 (AL-SALEM *et al.*, 2010).

- 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* (AL-SALEM *et al.*, 2010).

Quanto mais contaminado e complexo for o resíduo, mais difícil será sua reciclagem mecânica (AL-SALEM *et al.*, 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 *et al.*, 2008).

Segundo dados da Abrelpe (2011), o Brasil tem uma capacidade ociosa elevada, 34% em média, para reciclagem de plásticos. A Tabela 6 ilustra a evolução da reciclagem mecânica de plásticos no Brasil de 2003 a 2010.

Tabela 6. Evolução da Reciclagem Mecânica de Plásticos no Brasil

Indicador	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Capacidade Total Instalada (mil t)	1.055	1.236	1.282	1.346	1.459	1.459	1.459	1.459
Quantidade Total de Plásticos Reciclados (mil t)	703	745	860	914	962	962	962	962
Capacidade Ociosa (%)	33	40	39	36	34	34	34	36

Fonte: ABRELPE (2011)

Este fato, em parte, é justificado pela dificuldade de obtenção de material que atenda aos requisitos mínimos para utilização dessa técnica. Contudo, existe um potencial a ser explorado na indústria de reciclagem de plásticos, sujeito principalmente a eficiência das etapas anteriores, como a triagem dos resíduos coletados.

2.5.1.3 Reciclagem terciária, ou química

A reciclagem química é o método de tratamento dos resíduos 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 (DE OLIVEIRA, 2012).

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 portfólio de produtos de refinarias ou centrais petroquímicas (SASSE e EMIG, 1998).

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) (ADRADOS *et al.*, 2011).

As reações com reagentes podem ser utilizadas na reciclagem polímeros de policondensação (obtidos por reações entre grupos funcionais de diferentes moléculas, como na resina PET) , 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) (AL-SALEM *et al.*, 2009(b)).

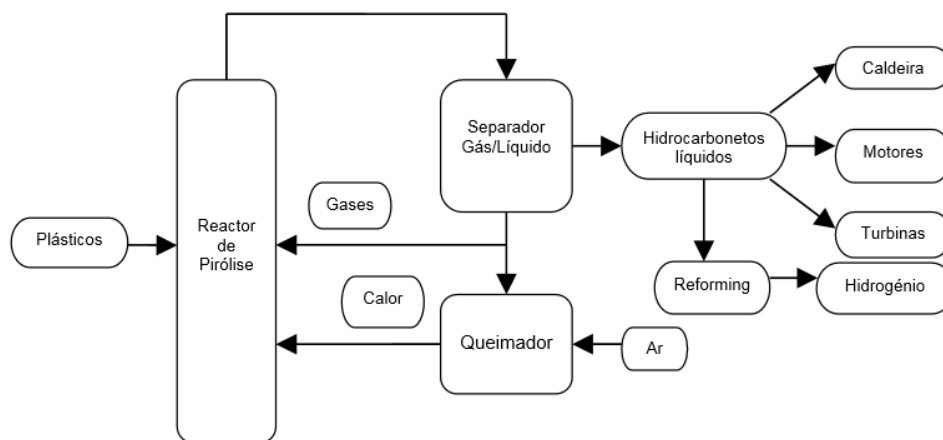
Em contraste, a pirólise de poliolefinas produz misturas de hidrocarbonetos bastante ricas em compostos de interesse petroquímico, a depender das condições de operação. Além disso, a reciclagem por pirólise requer elevado teor de plástico na corrente de alimentação nos fornos de tratamento, sendo que 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 (AL-SALEM *et al.*, 2009(a)).

Nestas rotas, os RSU sofrem um pré-tratamento, de forma a criar uma massa mais homogênea e seca, então são submetidos a um tratamento térmico em altas temperaturas em ambiente pobre de oxigênio. Os gases decorrentes do processo de combustão também necessitam de sistemas de controle ambiental para abatimento dos poluentes. Em termos energéticos a gaseificação possui um menor aproveitamento energético líquido. A necessidade de realizar pré-tratamento e a secagem dos RSU acarreta custos operacionais adicionais consideráveis que ainda fazem diminuir a sua competitividade (ABRELPE, 2011).

Na gaseificação, o carbono e o hidrogênio presentes nos RSU reagem parcialmente com o oxigênio (combustão) gerando o gás de síntese (gás hidrogênio e monóxido de carbono conhecido como *syngas*), dióxido de carbono e cinzas. São empregados equipamentos chamados de gaseificadores que possuem diversas configurações. Os tipos comerciais mais comuns de gaseificadores são de leito fixo, leito fluidizado e plasma. O *syngas* pode ser queimado em geradores especiais para geração de energia elétrica ou utilizados como intermediários para reações que geram produtos químicos (ABRELPE, 2011).

Na pirólise, o tratamento térmico é totalmente sem a presença de oxigênio, os componentes dos RSU são decompostos em hidrocarbonetos na forma gasosa e cinzas. A fração gasosa pode ser destilada para obter diferentes hidrocarbonetos ou queimados em caldeiras ou geradores para gerar energia elétrica ou ainda oxidados parcialmente para obtenção do gás de síntese como ocorre na gaseificação. O fluxograma da pirólise de resíduos plásticos é exposto na Figura 9 (ABRELPE, 2011).

Figura 9. Diagrama do processo de pirólise de resíduos plásticos



Fonte: ABRELPE (2011)

Contudo, visto as limitações desses processos, não é possível formular uma única solução universal para os processos de reciclagem química, pois estes 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 técnicos e 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 (DE OLIVEIRA, 2012).

Ademais, outras tecnologias estão em desenvolvimento, como o uso de micro-ondas e plasma (EPIC, 2004).

Energia de micro-ondas

Pneus de borracha podem ser processados utilizando micro-ondas. O processo é essencialmente uma forma de pirólise na qual a energia usada para aquecer o material é fornecida na forma de micro-ondas. Óleos e gases são produzidos juntamente com um resíduo composto principalmente de carbono e pequenas quantidades de materiais inorgânicos, como o óxido de zinco (EPIC, 2004).

A maioria dos plásticos, como o polietileno, é transparente para as frequências de micro-ondas convencionais e, como resultado, não ficam quentes. Usar essa tecnologia para polietileno exigiria que o plástico fosse suspenso em uma cama de outro material capaz de absorver a energia e por contato físico aquecer o plástico (EPIC, 2004).

Tecnologia de Plasma

Embora se reconheça que a recuperação de energia a partir de RSU seja razoável somente após esgotar o potencial de recuperação e reciclagem de material, é importante notar que os resíduos coletados possuem uma composição altamente variável, comprometendo o sucesso do processo de recuperação de material. Além disso, o valor de combustão do médio do RSU é superior a 35 MJ / kg, isto é, superior ao do carvão, sinalizando a recuperação de energia como alternativa viável (MAZZONI, 2017).

No entanto, deve-se notar que a incineração de RSU suscita algumas preocupações ambientais, principalmente relacionadas às emissões de COVs, aromáticos, furanos e dioxinas. Para superar a limitação de temperatura das tecnologias de gaseificação tradicionais e baseadas na incineração (com temperaturas variando de 850 °C a 1200 °C), a gaseificação por plasma é uma rota viável. Dado o plasma em alta temperatura, geralmente acima de 5000 °C, e as condições redutoras desse tratamento térmico, a maioria dos compostos nocivos, como hidrocarbonetos poliaromáticos, voláteis, dioxinas e furanos, são quebrados em moléculas simples, enquanto a formação de alcatrão é limitada (CONSONNI, 2012).

O plasma consiste em um conjunto de elétrons e íons em movimento livre. Plasmas podem ser “dirigidos” por campos elétricos e magnéticos e podem ter temperaturas muito elevadas, com tochas de plasma comerciais normalmente operando na faixa de 3000° a 4000 °C. Nas temperaturas de operação, materiais inorgânicos, como metais, solo, sílica, vidro, etc. são vitrificados. Esses metais podem ser recuperados posteriormente. Já os materiais orgânicos são transformados em *syngas* (EPIC, 2004).

Em conclusão, a eficiência da planta de tecnologia de plasma pode alcançar eficiência acima de 26%, que é a referência de melhor desempenho para tecnologias tradicionais de recuperação energética baseadas em combustão (MAZZONI, 2017).

2.5.1.4 Reciclagem quaternária, ou recuperação energética

Segundo IPT/CEMPRE (2000) a incineração é o processo de combustão controlada dos resíduos que são queimados e transformados em pequenas quantidades de resíduos inertes, não inertes e gasosos. A incineração é usualmente realizada em temperaturas acima de 850°C. Idealmente, a combustão deveria gerar somente dióxido de carbono, água e cinzas, sendo os dois primeiros resultantes da combustão completa do material orgânico presente em resíduos sólidos com o oxigênio e o ar, e o último decorrente da presença de materiais não combustíveis.

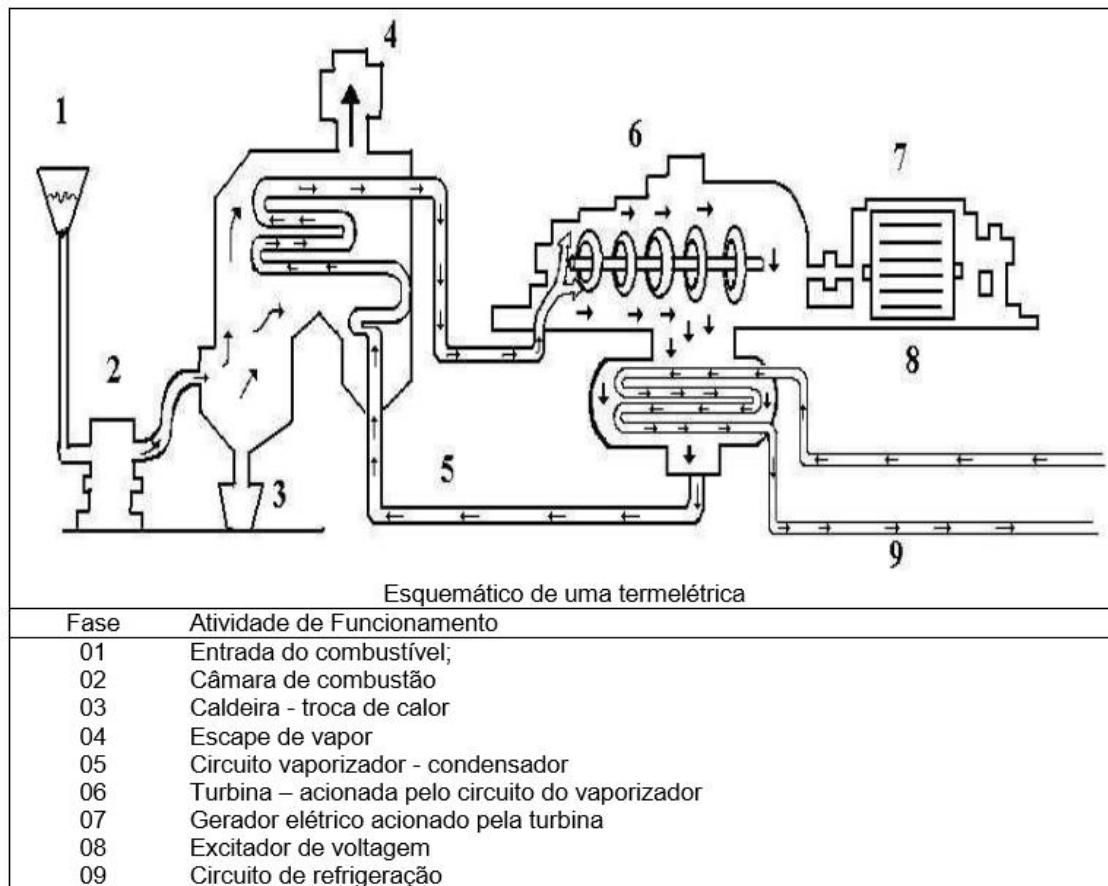
É um método de reciclagem que tem crescido muito nos últimos anos. A queima dos resíduos para gerar calor, vapor ou energia tem representado de modo crescente uma alternativa, seja para a destinação dos resíduos urbanos como um todo, seja para os resíduos de plásticos. Estima-se que a incineração de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

A reciclagem energética dos termoplásticos, considerando a liberação de energia térmica desprendida deste processo, se constitui em uma opção de fonte alternativa para geração de energia elétrica conforme descrição a seguir:

O processo de reciclagem energética dos plásticos consiste em submeter os resíduos poliméricos à combustão, obtendo-se como produto a energia desprendida, sob forma de calor, emissões gasosas e água. Este processo tem melhor resultado com a combustão completa, ou seja, com excesso de oxigênio presente na queima para que a

emissão de gases tenha como produto principal o dióxido de carbono, o qual é menos tóxico que o monóxido de carbono, gás que pode ser produzido caso tenha pouco oxigênio presente no processo. Um exemplo de fluxograma de uma unidade de reciclagem energética pode ser visualizado na Figura 10 (CORRÊA, 2012).

Figura 10. Esquemático de uma termoelétrica



Fonte: Plástico (2012) e Ambigro (2012)

Apesar de este processo representar a “perda” da matéria prima, pois a massa de plásticos é utilizada na combustão como combustível, sendo transformada, portanto, em energia térmica, elétrica e subproduto, ela é retirada do meio ambiente, evitando danos ambientais. Adicionalmente, a energia produzida na reciclagem energética é cerca de dezenove vezes maior que a energia necessária para reciclagens com aproveitamento da matéria, e, ainda, estima-se que 1,0 kg de polietileno pode gerar uma energia de 12 kWh (CORRÊA, 2012).

A incineração pode ser usada com recuperação de parte do conteúdo de energia do plástico. A energia útil recuperada pode variar consideravelmente dependendo se é usada para geração de eletricidade, calor e energia combinados, ou como combustível

sólido para o co-abastecimento de altos-fornos ou fornos de cimento. Processos de recuperação de energia podem ser a maneira mais adequada para lidar com plástico altamente misturados, como alguns resíduos eletrônicos e elétricos e resíduos automotivos. (HOPEWELL *et al.*, 2009)

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.

As modernas instalações combinadas de recuperação de calor e energia (usinas de cogeração) podem usar resíduos de plásticos juntamente com outros insumos de alto poder calorífico. Isto fornece uma valiosa fonte de calor e energia, que respondem por até 10% das necessidades energéticas de alguns países da UE (PLASTICSEUROPE, 2019).

Além disso, o combustível sólido recuperado, que contém plásticos e outros resíduos, é cada vez mais usado por usinas termelétricas, bem como por indústrias intensivas em energia, como fornos de cimento e cal, reduzindo a necessidade de outros combustíveis fósseis (PLASTICSEUROPE, 2019).

O poder calorífico dos plásticos, conforme apresentado na Tabela 7, é de um modo geral elevado, o que os tornam uma conveniente fonte de energia (MAGRINI e OLIVEIRA, 2011).

Tabela 7. Poder calorífico de alguns plásticos e outros combustíveis

Poder Calorífico	
Material	kJ/kg
Plástico	
Poliétileno	46.286
Polipropileno	46.169
Poliestireno	41.401
Misturas de plástico	32.795
Pneus	32.097
Borracha	25.352
Papel de jornais	18.607
Cabedal	17.746
Caixa de cartão	16.281
Têxteis	16.049
Madeira	15.584
Média para RSU	10.805
Resíduos de jardim	6.978
Resíduos de alimentos	6.047
Combustíveis	
Óleo combustível	48.611
Carvão	22.329

Fonte: American Plastic Council (2002)

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; (ii) práticas operacionais pobres e a presença de cloro no RSU podem levar a emissões significativas de dioxinas e furanos, compostos reconhecidamente tóxicos; (iii) 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; (iv) os incineradores exigem elevados investimentos operacionais e de capital; (v) são normalmente

necessários combustíveis complementares para alcançar elevadas temperaturas de combustão (DE OLIVEIRA, 2012).

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 dispendioso do que o próprio forno de incineração, e toda a operação precisa incluir manuseio e destinação adequados dos rejeitos gerados (ROLIM, 2000).

2.5.2 Disposição Final

2.5.2.1 Aterro Sanitário

Segundo a ABNT (1997), aterro sanitário é a forma de disposição de resíduos sólidos urbanos que obedece a critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo o confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. São constituídos por células de disposição, há compactação dos resíduos, cobertura, sistema de drenagem, tratamento do lixiviado e dos gases produzidos, impermeabilização de base, monitoramento geotécnico e ambiental e instrumentação. Todas essas técnicas visam proteger o meio ambiente de possível contaminação oriunda do aterro (ABNT, 1997).

Um local de aterro bem gerenciado resulta em danos ambientais imediatos limitados, desconsiderando os dos impactos de coleta e transporte. Embora haja riscos a longo prazo de contaminação de solos e águas subterrâneas por alguns aditivos e decomposição de subprodutos em plásticos, que podem se tornar poluentes orgânicos persistentes (OEHLMANN *et al.*, 2009; TEUTEN *et al.*, 2009).

Uma grande desvantagem dos aterros sanitários em termos de sustentabilidade é que nenhum dos recursos materiais usados para produzir o plástico é recuperado - o fluxo de material é linear e não cíclico. No Reino Unido, foi aplicado um imposto sobre o aterro sanitário, a fim de aumentar o incentivo para desviar os resíduos do aterro para ações de recuperação, como a reciclagem (DEFRA, 2007).

3 Discussão

A partir da literatura revisada, observou-se que os principais impactos do descarte inadequado de resíduos plásticos são a poluição visual; entupimentos das vias públicas de drenagem; interferência negativa na alimentação da vida selvagem; foco no crescimento de larvas de mosquito; contaminação dos corpos hídricos; poluição atmosférica (SANTOS, 2011; MOTA et al., 2009; MATO et al., 2001; SISINNO, 2000; ROCHMAN, 2013), além de que cerca de 90% dos resíduos presentes nos oceanos é composto por materiais plásticos (BARNES *et al.*, 2009; DONOHUE, 2005; MOORE, 2002) e eles funcionam como veículos para alguns compostos tóxicos. Ademais, entre os resíduos gerados, os plásticos são a segunda maior categoria no Brasil, e a tendência é aumentar dada a funcionalidade das suas propriedades para a indústria e para a população (MAA, 2011).

Diante do cenário atual, a alteração dos padrões de produção e consumo é um dos passos essenciais para que ocorra um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Uma das consequências dos atuais padrões tem sido a geração de quantidade crescente de resíduos sólidos. Entre os fatores que afetam sua geração de resíduos estão o aumento da renda, que leva ao aumento de consumo, a preferência cada vez maior por itens descartáveis e a rápida obsolescência tecnológica. Alguns estudos mostram que a quantidade de resíduos aumenta com o crescimento do PIB e, nesse caso, o grande desafio para a sustentabilidade ambiental é desvincular a geração de resíduos do crescimento econômico (OCDE, 2004). Assim, o enfoque moderno da gestão de resíduos não deve estar voltado unicamente ao manejo e destinação adequados, mas também deve-se utilizar o “conceito de manejo integrado do ciclo vital” para que se mudem os padrões não sustentáveis de produção e consumo.

A Alemanha, pioneira nessa abordagem, vem conseguindo resultados na desvinculação da geração de resíduos com o crescimento do PIB (GERSTMAYR *et al.*, 2011). Com a introdução do regulamento sobre embalagens, que prevê a responsabilidade estendida do produtor, o consumo de embalagens *per capita* se desvinculou do PIB real. Tal desvinculação foi mais significativa entre os tipos de embalagem para os quais haviam sido especificadas quotas de reciclagem. Da mesma forma, também se verificou desvinculação entre a quantidade total de resíduos gerados e o crescimento do PIB.

No Brasil, a aprovação da lei 12.305/2010 foi um passo importante para enfrentar um dos mais graves problemas urbanos - as deficiências relacionadas ao manejo dos resíduos sólidos. A longa espera pela Lei – 20 anos, considerado apenas o período de tramitação no Congresso Nacional – não foi em vão. A Lei 12.305/2010 perfila-se entre as modernas leis dos países mais avançados nesse campo. Dois importantes avanços devem ser destacados. O primeiro refere-se à importância dada ao planejamento no setor. Pela primeira vez, foi definido um plano nacional sobre resíduos sólidos, além dos planos estaduais, regionais e municipais, sem deixar de mencionar os planos de gerenciamento a cargo de determinados setores da economia. O segundo avanço da Política é a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, de inspiração nos modelos de responsabilidade estendida do produtor.

Apesar de tardia, a PNRS foi escrita em acordo com princípios e normas comparáveis com os de países desenvolvidos, tanto em rigor quanto em amplitude jurídica. Conferiu-se a toda a sociedade o dever de cooperar com a questão dos resíduos, e sua abrangência alcança temas relacionados à cidadania, direitos humanos e educação ambiental, tratando não mais como problema, mas sim transformando-o em recurso (DE OLIVEIRA, 2012).

Contudo, o governo possui alguns pontos fracos: baixa capacidade institucional dos municípios; baixas taxas de sustentabilidade financeira; baixa capacidade de auditoria de entidades públicas; falta de incentivos fiscais e de crédito para logística reversa e reciclagem; falta de adesão de todas as partes privadas interessadas na implementação de acordos setoriais; e falta de comunicação com os cidadãos sobre o impacto da gestão de resíduos (ANDRADE, 2013).

A política tributária no Brasil não incentiva as indústrias a reintroduzir essas matérias-primas no ciclo do produto e, em alguns casos, a tributação sobre material reciclado pode ser maior do que na matéria-prima equivalente devido à dupla tributação de bens produzidos com itens reutilizados (CEMPRE, 2017). O pioneiro nessa ação foi o Estado do Ceará, que reduziu o ICMS de 17 para 7% para o setor de reciclagem (CNI, 2013).

Esses desafios levam a uma cadeia de reciclagem não sustentável. Uma das soluções propostas é estabelecer uma taxa de desperdício e responsabilidade de grandes geradores por meio da legislação (JIMENEZ *et al.*, 2017; CAIADO *et al.*, 2017). A

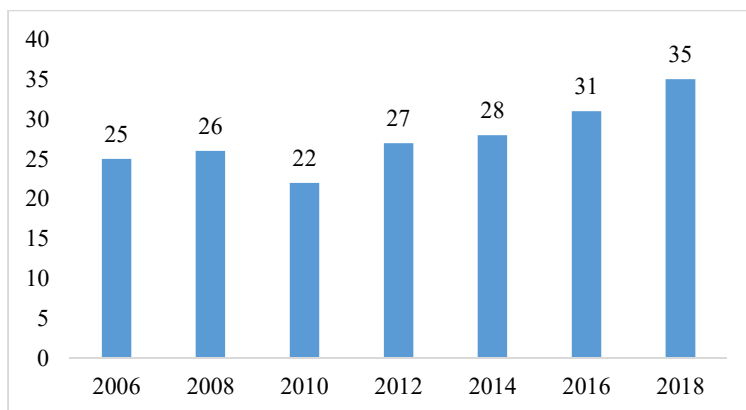
baixa sustentabilidade financeira dos municípios, principalmente em relação à questão dos resíduos, é um ponto fundamental para a aplicação efetiva da PNRS, e a solução depende da avaliação da capacidade de pagamento, do custo do gerenciamento de resíduos e do impacto político da cobrança de um imposto ou taxa.

Para aplicação da lei tem se que, o principal instrumento da política, a logística reversa, garante aos resíduos reutilizáveis a atribuição de valor econômico e a sua reintegração ao ciclo de produção, para fins de reaproveitamento e economia de bens naturais incluindo e distribuindo os custos econômicos, ambientais e sociais destes processos numa aplicação do princípio do poluidor-pagador (DE OLIVEIRA, 2012).

A coleta seletiva é crucial para este processo, uma vez que separa os tipos de resíduos, possibilitando que cada um seja processado da maneira mais adequada (GIANNETTI *et al.*, 2013). Este processo é essencial para o sucesso da reciclagem, tratamento considerado, no presente estudo, fundamental para a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no país.

Segundo dados do CEMPRE, Figura 11, o serviço de coleta seletiva estava disponível para apenas 35 milhões de brasileiros em 2018 (17% da população). Com isso, percebe-se que a disponibilidade desse serviço é um dos gargalos para o crescimento da reciclagem.

Figura 11. População atendida pelo serviço de coleta seletiva no Brasil (em milhões)



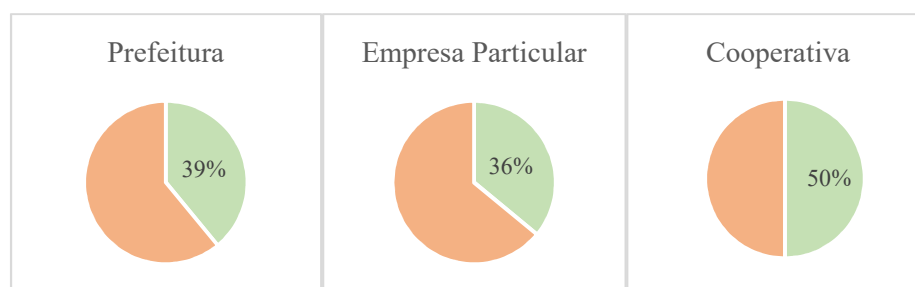
Fonte: Adaptado CEMPRE (2018)

Analisando essa logística, Bosi (2010) afirma que a reciclagem no Brasil só se tornou possível em grande escala quando o recolhimento e a separação dos resíduos se mostraram uma tarefa viável e de baixo custo, sendo realizada por trabalhadores cuja remuneração compensasse investimentos de tecnologia para o surgimento do setor de

produção de material reciclado. Qualquer que fosse a organização desse tipo de trabalho, sua taxa de lucro deveria competir com os preços dos insumos primários.

Com base nos dados levantados, verificou-se também que as cooperativas de catadores são agentes executores da coleta seletiva em 50% das cidades pesquisadas, mostrando a importância desses trabalhadores no modelo de gestão utilizado atualmente (Figura 12).

Figura 12. Percentual de agentes executores da coleta seletiva municipal no Brasil em 2018

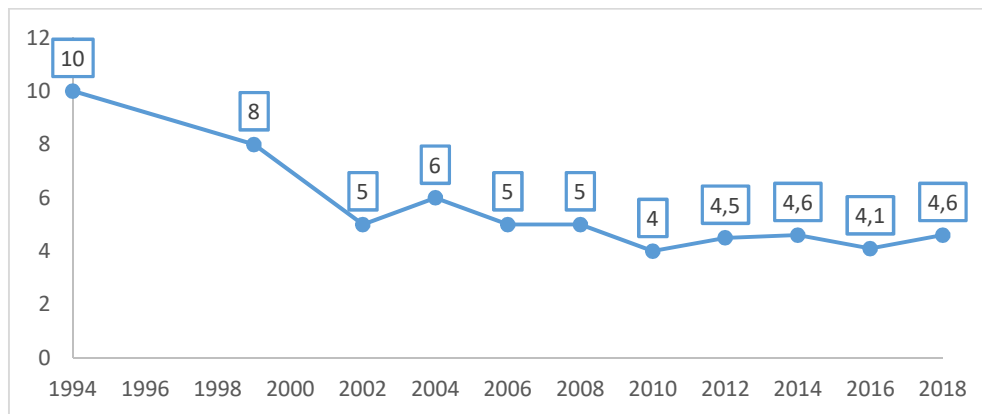


Fonte: Adaptado CEMPRE (2018)

Os catadores constituem 50% dos agentes de coleta seletiva brasileiros e quando se trata do tópico de combate à miséria, tendo em vista a preocupação com a inclusão dos catadores de materiais recicláveis, tem-se que ocorre o fortalecimento da categoria, ainda que com baixa remuneração. Encontra-se um mercado promissor à medida que houve possibilidade de obtenção de renda a partir da intenção de aquisição pela indústria de materiais disponíveis e descartados pela sociedade. Estes fatores garantiram, em grande parte, o crescimento do setor de reciclagem de modo a tornar os preços dos materiais reciclados cada vez mais próximos dos materiais não reciclados (BOSI, 2010). Vale ainda ressaltar que um município pode ter mais de um agente (CEMPRE, 2018).

Ao mesmo tempo, um dos maiores custos do processo de reciclagem dos resíduos plásticos, a coleta seletiva, foi reduzida quando comparado com 1994 no Brasil (CEMPRE, 2018). Porém, encontra-se estagnada, sendo 4,6 vezes mais dispendioso que a coleta regular, com o histórico mostrado na Figura 13.

Figura 13. Correlação do custo da Coleta Seletiva x Coleta Convencional no Brasil



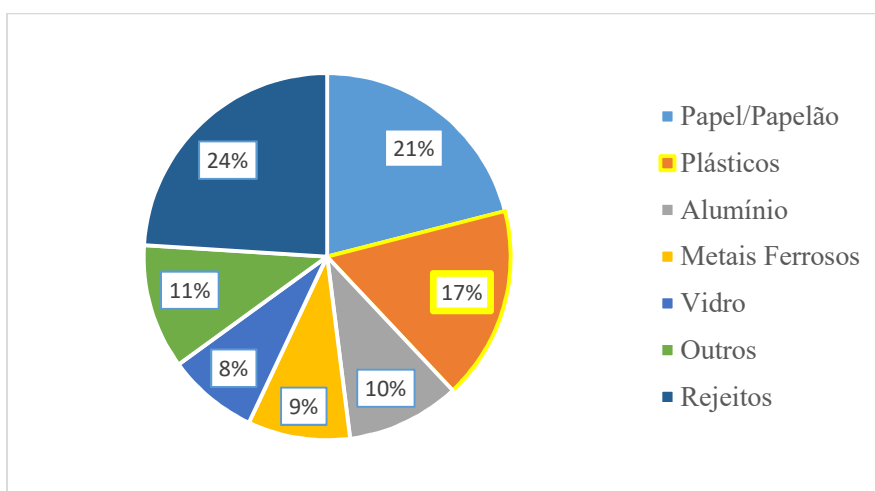
Fonte: Adaptado CEMPRE (2018)

O custo médio da coleta seletiva nas cidades pesquisadas foi de R\$ 442,24 por tonelada enquanto o valor médio da coleta regular de resíduos é de R\$95,00 por tonelada (CEMPRE, 2018). Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, para se atingir as metas propostas pelo mesmo, é fundamental a busca por melhorias na segregação de RSU (BRASIL, 2012). Sem a separação dos resíduos por tipo de material no nível residencial, o tratamento de resíduos não se mostra economicamente viável (CLIMATE WORKS FOUNDATION, 2014).

Medidas para otimização do processo de coleta e seleção de materiais, como a criação de pontos de coleta, se mostram necessários para diminuição de custos logísticos de coleta, transporte e seleção. Trata-se de um processo que tem uma grande economia de escala, visto que com um maior volume coletado o combustível gasto para recolhimento é proporcionalmente menor em estações de coleta que no trajeto entre residências (REBEHY, 2019).

Lembrando que para justificar a utilização desse estudo para a temática do trabalho, tem-se a grande representatividade dos plásticos nos resíduos coletados de forma seletiva (17%), sendo a segunda maior categoria reciclável, de acordo com os dados apresentados na Figura 14.

Figura 14. Composição gravimétrica da coleta seletiva no Brasil

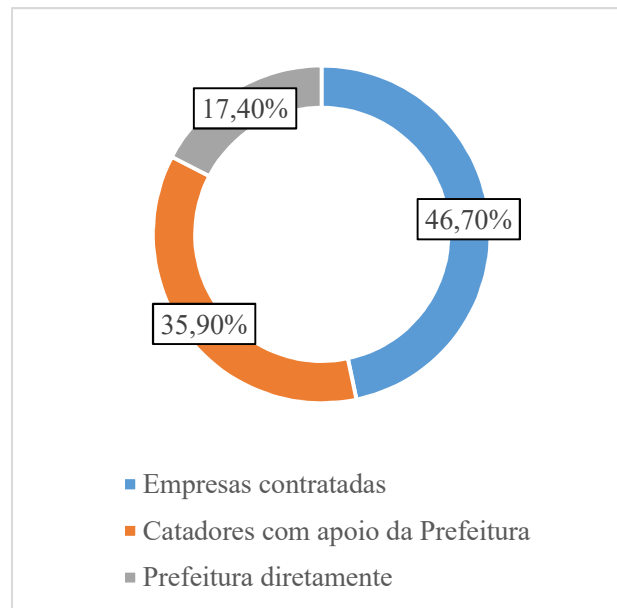


Fonte: Adaptado CEMPRE (2018)

Vale ressaltar que a porcentagem de rejeitos coletados ainda é grande (24%), sendo necessário ações que visem a redução desse indicador, como informar melhor à população os critérios de seleção da coleta seletiva.

Visto que, uma das dificuldades levantadas pelo presente trabalho foi o baixo percentual de plásticos coletados por meio da coleta seletiva, é importante a avaliação de dados do SNIS (2017), que considera resíduos sólidos urbanos em geral. Nele é feito um estudo sobre agentes responsáveis pela coleta de resíduos e o custo para os municípios. Com base nessa avaliação, temos que 46,7% da massa coletada é feita por empresas terceirizadas, enquanto os catadores com apoio da prefeitura coletam 35,9% do total de resíduos sólidos dos municípios participantes (Figura 15).

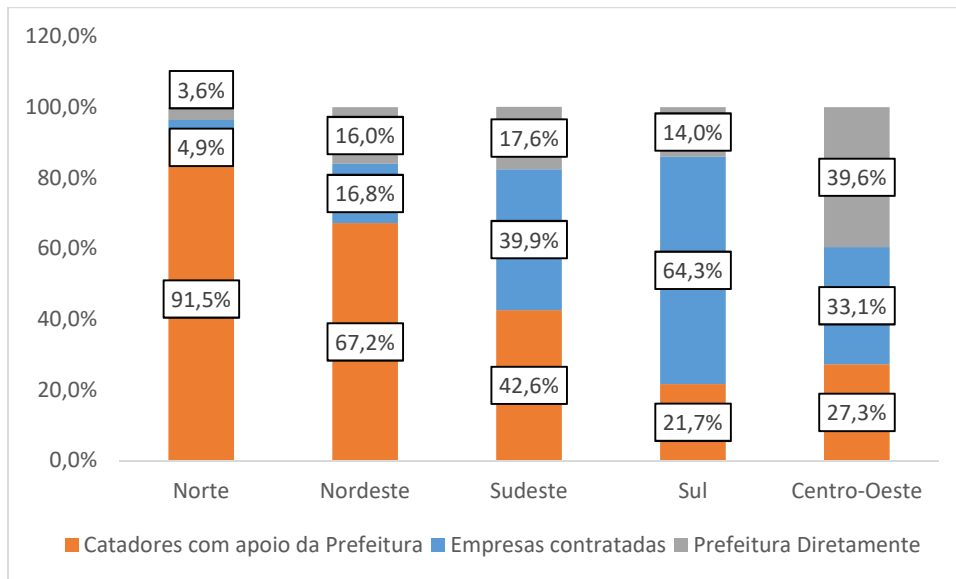
Figura 15. Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta de RSU nos municípios participantes, segundo agente executor



Fonte: Adaptado SNIS (2017)

Nota-se que, diferente da coleta seletiva, as empresas contratadas coletam a maior parte do resíduo sólido devido à falta de interesse de catadores em resíduos sólidos sem valor de venda e à estrutura logística de transporte de grandes quantidades de massa (GIANNETTI *et al.*, 2013). Porém, é importante salientar os diferentes pesos de cada ator em cada região do Brasil. Na Figura 16 é possível perceber que existe uma presença maior de catadores de RSU em regiões que possuem menor gerenciamento dos resíduos.

Figura 16. Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios participantes, segundo agente executor e região geográfica

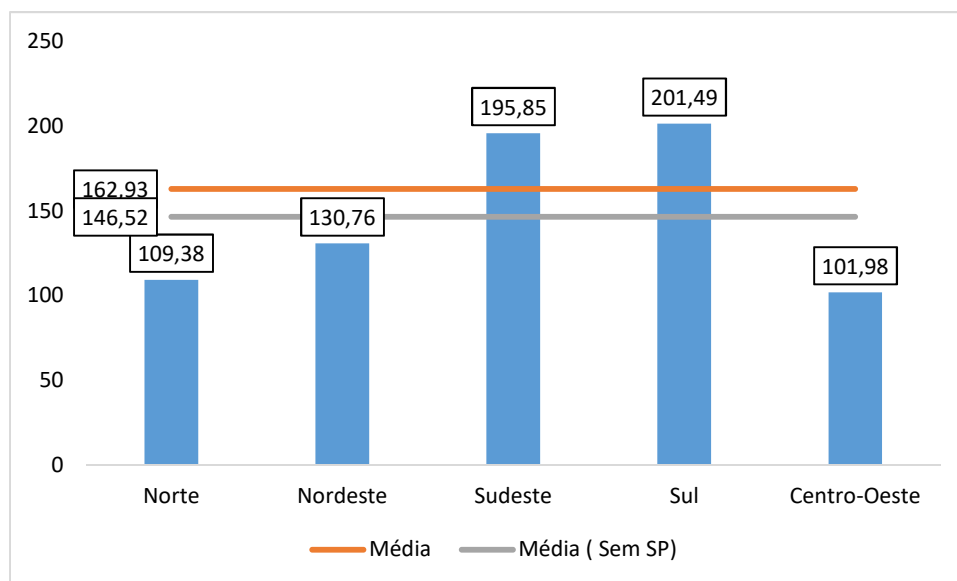


Fonte: Adaptado SNIS (2017)

Ilustra-se com esses dados que regiões com maior capital para investimento em manejo de resíduos, como o sul e o centro-oeste, possuem maior atuação da prefeitura diretamente e de empresas contratadas, parceria importante para desonerar o governo e desenvolver um sistema logístico moderno.

Nas regiões Norte e Nordeste predomina-se o uso de catadores para o recolhimento de resíduos. Isso se deve não somente à um planejamento logístico do governo, mas também, à falta de recursos para serem investidos, nesse segmento, nessas regiões. Contudo, pelo fato de usarem uma mão de obra de baixa remuneração o custo de recolhimento de resíduos RSU por tonelada é menor nessas regiões, visto na Figura 17.

Figura 17. Custo unitário do serviço de coleta de RSU dos municípios participantes, segundo regiões geográficas (R\$/t)

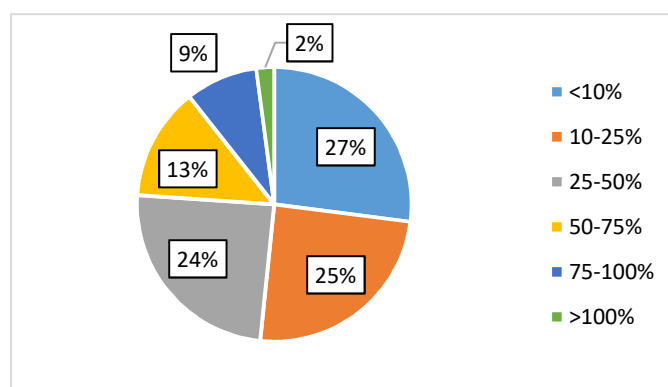


Fonte: Adaptado SNIS (2017)

O Sudeste e o Sul possuem custos mais elevados, devido, principalmente, ao custo de transporte da carga e logística, já que caminhões de coleta percorrem distâncias maiores. Isso se deve a complexidade de grandes centros urbanos e a necessidade de áreas de tratamento e disposição afastadas da população, comprovado pelo impacto de São Paulo no custo total (SNIS, 2017).

Tomando como base o custo de coleta, um importante ponto do levantamento realizado foi a capacidade de geração de renda a partir dos resíduos (Figura 18).

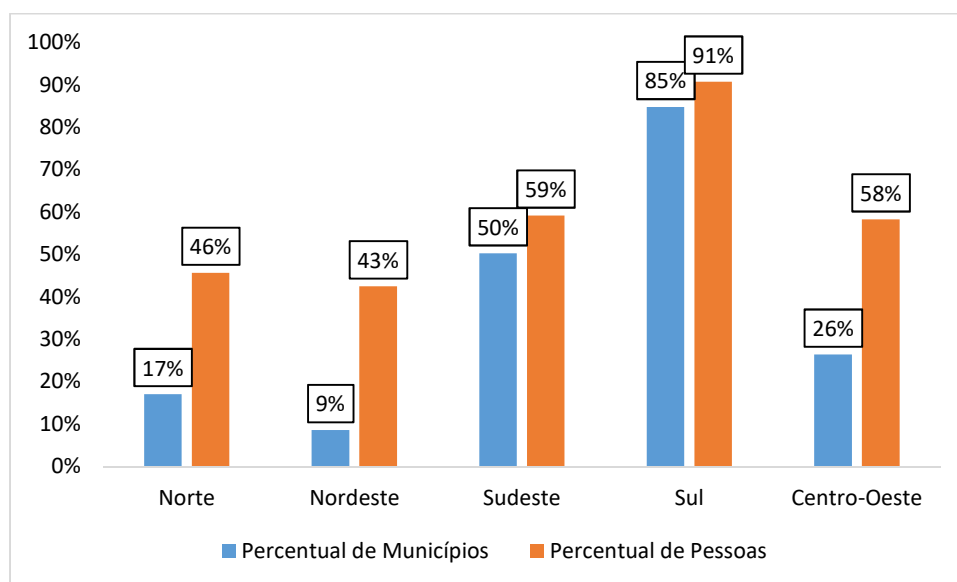
Figura 18. Percentuais de municípios segundo faixas de autossuficiência financeira do órgão gestor com o manejo de RSU



Fonte: Adaptado SNIS (2017)

Vale salientar que somente 2,1% dos órgãos responsáveis pelo manejo de resíduos têm autossuficiência financeira, sendo 76% dos municípios com menos de 50% de gastos recuperados. Logo, para o subsídio do serviço de coleta, alguns municípios cobram pela coleta, transporte e destinação final de RSU, principalmente em regiões que a prefeitura atua mais diretamente. Na Figura 19 é apresentado dados dos percentuais de municípios e população com cobrança pelos serviços de coleta, transporte e destinação final de RSU dos municípios participantes, segundo região geográfica

Figura 19. Percentuais de municípios e população com cobrança pelos serviços de coleta, transporte e destinação final de RSU dos municípios participantes, segundo região geográfica



Fonte: Adaptado SNIS (2017)

Percebe-se que a população acaba sendo onerada pelo serviço de coleta, transporte e destinação final de RSU, principalmente em regiões onde há mais empresas contratadas. Esse repasse de custo está previsto na PNRS, que prega a responsabilidade compartilhada dos resíduos gerados (SNIS, 2017).

Para compensar os investimentos no gerenciamento de resíduos, unidades de processamento são fundamentais para geração de renda a partir de RSU e por este motivo grande parte das unidades de processamento são controladas pela prefeitura, apesar dessa participação ter diminuído 5,2% entre os anos de 2016 e 2017.

Entretanto, sob o foco de investimentos em sistemas de reaproveitamento, temos que empresas privadas controlam 15 das 16 unidades de tratamento por incineração e 14 das 16 unidades de tratamento por micro-ondas ou autoclave no país. Isso mostra que o setor privado está investindo na modernização do tratamento de resíduos trazendo unidades com novas tecnologias, como é possível verificar na Tabela 8 (SNIS, 2017).

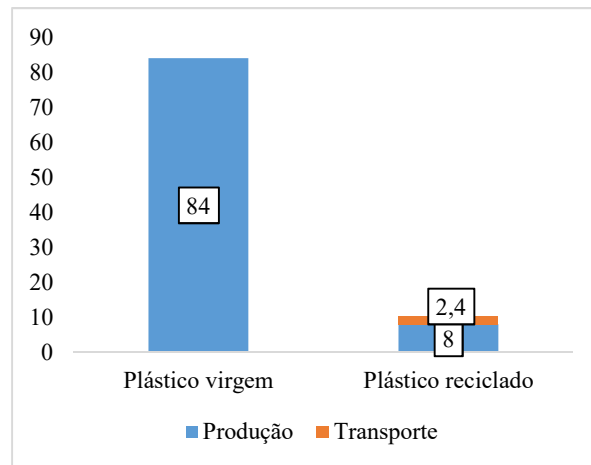
Tabela 8. Quantidade de unidades de processamento de RSU, por tipo de unidade e agente operador

Tipo de unidade de Processamento	Quantidade de unidades de processamento por tipo de operador					Total de unidades de processamento
	Prefeitura	Empresa	Consórcio	Associações de Catadores	Outros	
Lixão	1018	45	2	0	26	1091
Aterro Controlado	526	41	4	1	4	576
Aterro Sanitário	415	190	23	0	12	640
Unidade de Compostagem	53	8	1	5	1	68
Unidade de Tratamento por Incineração	1	15	0	0	0	16
Unidade de Tratamento por micro-ondas ou autoclave	2	14	0	0	0	16
Área de reciclagem de RCC (resíduos de construção civil)	11	15	1	2	2	31
Aterro de RCC (aterro de inertes)	39	17	0	1	0	57
Outros	22	188	1	8	5	224

Fonte: SNIS (2017)

Visto que o custo da reciclagem diminuiu como resultado dos avanços tecnológicos e, conseqüentemente, diminuiu a diferença entre o valor do plástico virgem e do plástico reciclado (BIO, 2013). Um dos fatores que torna isso possível é o custo de energia para geração de plásticos reciclados ser menor do que para produção de plástico virgem, apresentado no Figura 20 (WONG, 2010).

Figura 20. Comparativo da energia necessária para produção de resinas plásticas recicladas e virgens (MJ/kg)



Fonte: adaptado de Wong (2010)

Nota-se que plásticos reciclados, apesar do gasto energético com transporte, no balanço total necessitam de uma quantidade de energia bem inferior à produção de plástico virgem.

Logo, 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 estudados. 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 difícil recomendar a técnica de reciclagem energética como uma solução apropriada para os resíduos plásticos pós-consumo.

Entretanto, o aproveitamento energético dos resíduos expande a vida útil das reservas de matéria-prima e energia, na medida em que reduz a demanda por novos recursos (TOLMASQUIM, 2003). Dentro de uma perspectiva a longo prazo, o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 (EPE, 2007) considera a possibilidade de instalação de até 1300 MW nos próximos 25 anos em termelétricas utilizando RSU, sendo assim, são esperados avanços importantes no aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. O aproveitamento energético dos RSU amplia a segurança do

sistema elétrico nacional, pois oferta eletricidade de maneira descentralizada, em virtude de os resíduos sólidos urbanos estarem disponíveis próximos aos centros consumidores. A redução da quantidade de RSU a ser depositada em aterros sanitários amplia sua vida útil e soluciona um dos grandes problemas da atualidade, a escassez de áreas para novos depósitos de resíduos.

Visto a diversidade de tratamentos e de composições de plásticos nos bens produzidos, verifica-se a aplicabilidade de todos. Porém estudos futuros de compatibilidade entre cada composto e cada tratamento é recomendado para aumento da eficiência e viabilidade dos investimentos necessários para os processos.

Contribuirão também para a otimização dos investimentos necessários, a formação de consórcios intermunicipais e de PPPs. O primeiro elevaria os ganhos de escala e propiciaria o atendimento às metas propostas com maior facilidade, principalmente no que se refere à erradicação de lixões e à disposição final ambientalmente adequada. O segundo permitiria a participação de entes privados, que apresentam interesse e capacidade de investir no setor, podendo otimizar os investimentos necessários em projetos com maior eficiência e assim acelerar a adequação da situação de RSU ao estabelecido pela PNRS (REBEHY, 2019).

Um fator determinante, para o sucesso da cadeia de logística reversa é a participação da população. O consumidor atua como fornecedor na logística reversa (GAUR E MANI, 2018). Portanto, para a implementação bem-sucedida do gerenciamento de logística reversa, é importante entender a intenção dos consumidores nesses programas de devolução (BUDIJATI *et al.*, 2016). No entanto, ao considerar a logística reversa, a perspectiva do consumidor recebe menos importância. Além disso, poucos números de pesquisadores se concentraram na intenção de retorno do consumidor e no comportamento de retorno em relação aos produtos usados (JENA E SARMAH, 2015; KIANPOUR *et al.*, 2017).

Segundo Khan (2018), os três fatores que influenciam significativamente a intenção do consumidor são normas subjetivas, consequências da conscientização e conveniência. As normas subjetivas são um elemento significativo da intenção de reciclagem. A pesquisa revelou que os indivíduos têm maior probabilidade de participar de atividades de reciclagem, se a maioria das pessoas importantes para eles promove e incentiva a reciclagem. Além disso, a conscientização dos impactos ambientais é um

fator que contribui para promover a intenção de reciclagem. Quando os indivíduos estão cientes dos impactos causados pela falta de reciclagem, eles tendem a participar mais dessa atividade. Além disso, a conveniência é o motivo mais importante da intenção de reciclagem. Quando o indivíduo acha que a reciclagem é cômoda, eles tendem a participar mais ativamente (KHAN *et al.*, 2018).

Existem múltiplas implicações que podem ser aplicadas com base no resultado da pesquisa. Em primeiro lugar, o estabelecimento e o aprimoramento de leis e regulamentos pelo governo podem fortalecer o sistema de gerenciamento de resíduos. A aplicação adequada dessas leis melhoraria o atual sistema de descarte. Em segundo lugar, educar os consumidores sobre a reciclagem e seus benefícios. O conhecimento e o entendimento sobre reciclagem podem ser aprimorados por meio de programas educacionais e promocionais. Em terceiro lugar, o público deve ser mantido informado sobre os efeitos do gerenciamento de resíduos. A conscientização do público sobre a proteção ambiental por meio da mídia e a criação de campanhas podem ajudar a educar o público sobre como reciclar. Para criar uma conscientização que transforma um comportamento individual em relação à reciclagem, além das campanhas de *marketing* tradicionais, a implementação de estratégias criativas e inovadoras fará a diferença (KHAN *et al.*, 2018).

Finalmente, os seguintes desafios permanecem: a divisão da responsabilidade entre as agências governamentais e a capacidade das agências de implementar e supervisionar a operacionalização dos sistemas; a necessidade de revisões na legislação sobre incentivos econômicos e fiscais e transporte; e o impacto problemático que a gestão inadequada tem sobre o meio ambiente e a saúde pública (REBEHY, 2019).

Todos têm interesses e responsabilidades diferentes: o governo deve preservar o meio ambiente e cumprir acordos internacionais sobre mudanças climáticas, criando leis que, em última instância, sobrecarregam empresas e cidades; as empresas que maximizam o lucro avaliam essas regras como custos adicionais em suas operações, enquanto as cidades, nas quais as operações são conduzidas, têm baixa capacidade financeira e administrativa. O alinhamento desses interesses permitiria a adesão ao princípio da responsabilidade compartilhada. O governo é capaz de reunir atores plurais com acesso (controle social) e buscar pluralidade de interesses e mediação de conflitos, podendo assim alinhar responsabilidades e interesses para alcançar o equilíbrio econômico e socioambiental (REBEHY, 2019).

4 Considerações Finais e Sugestões

Ao final deste trabalho é possível perceber que a gestão de resíduos sólidos no Brasil é heterogênea, devendo haver uma expansão do atendimento dos serviços de manejo para que se atinjam, de maneira uniforme, as diversas regiões brasileiras. Além disso, com o ritmo atual de investimentos no país, a universalização da destinação adequada de resíduos é algo ainda distante.

Apesar da PNRS ter sido um marco regulatório para o setor, a partir dos dados apresentados, concluiu-se que ainda são necessários grandes investimentos para se atingir a universalização da destinação adequada dos resíduos sólidos plásticos no Brasil nos próximos anos.

Assim, deve-se quebrar um paradigma de baixo investimento nacional em infraestrutura e realizar esforços em conscientização e mudança cultural. Os elevados custos de ampliação do sistema são amenizados pela possibilidade de resultarem em grande retorno, caso sejam consideradas as receitas geradas de diversas formas, a partir dos tratamentos de resíduos sólidos adotados. Gera-se receita através da reincorporação de materiais recicláveis e de energia nas indústrias. Além disso, a criação de um sistema logístico de coleta, separação e tratamento de resíduos plásticos é capaz de criar um grande número de empregos e, portanto, retirar trabalhadores da informalidade, gerando ganhos para a sociedade.

Mais além, um aumento na recuperação de resíduos resulta em uma importante redução nos gastos com saúde, advindos da melhoria das condições ambientais, onde há a preservação de recursos naturais, como o petróleo, que seriam extraídos/explorados pela demanda industrial e energética, bem como a redução das emissões de poluentes.

De forma geral, o Brasil está caminhando para tornar seu consumo mais sustentável. Ações como a criação de novas unidades industriais de reaproveitamento, a conscientização da população por meio de campanhas, a criação de leis para redução de bens descartáveis e estabelecimento de uma taxa mínima de reincorporação de resíduos em novos produtos, e a criação de parcerias público-privadas para construção de unidades de tratamento, mostram o avanço no setor e a reiteram o compromisso do governo com o meio ambiente. É importante frisar que para que ocorra uma efetiva

redução de geração na fonte, e a reutilização do material produzido, são necessárias mudanças de comportamento da população e dos interesses dos setores econômicos.

Por fim, foi verificado que entre as dificuldades de viabilização da logística reversa, estão a coleta seletiva e a separação dos resíduos. Tem-se que o código de identificação da resina dos objetos plásticos, normalmente é colocado na base do recipiente ou no verso da embalagem, onde não é possível ter sua visualização de forma fácil e ágil. Esse fato dificulta a segregação dos plásticos por profissionais que tem poucos segundos para identificá-los em centros de triagem. Além disso, grande parte da população não possui conhecimento do significado do código, logo deixa de ser um potencial agente auxiliador na separação.

Para trabalhos futuros, sugere-se que:

- Seja analisado como o *design* de objetos plásticos pode facilitar a maior adesão da logística reversa, seja por meio de um formato diferenciado ou coloração específica;
- Seja avaliado a viabilidade econômica local de tecnologias para destinação dos resíduos plásticos;
- Seja realizado o levantamento e identificação das marcas que apresentam maior representação de resíduos plásticos descartados, por meio de análise gravimétrica de RSU, com o intuito de incentivar uma postura mais consciente por parte dessas grandes empresas, assim como é feito para resíduos especiais, por companhias como Samsung e Apple.

Referências

- ABIPLAST - Associação Brasileira Da Indústria Do Plástico, 2017. “Indústria Brasileira De Transformação e Reciclagem De Material Plástico”. Perfil 2017, 45.
- ABNT, 1997. “Aterro de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação – NBR 13.896/1997”. CEET - Comissão de Estudo Especial Temporária de Meio Ambiente, 12.
- Associação Brasileira de Norma Técnicas – ABNT. NBR 13230: simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro, 8p. (2006).
- ABRELPE - Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2015. “Estimativas Dos Custos Para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil.” Abrelpe, 1, 48.
- ABRELPE - Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2011. “Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2011”. Abrelpe
- 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, 32(5):826-32.
- AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., BAEYENS, J., 2009a, “Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A Review”, Waste Management, 29, 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
- 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, 36, 103-129.
- AMBIAGRO – Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia De Sistemas Agroindustriais, 2012. “Sistemas de Fornecimento de Energia Elétrica”. 14. Disponível em: www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/eletricas.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2019
- AMERICAN PLASTIC COUNCIL, “Waste to energy: Plastic in Perspective”, 2002 Disponível em: <http://www.plasticresource.com>. Acesso em: 20 de junho de 2019
- ANDRADE, S.G., 2013. “Entraves e Obstáculos da Logística Reversa de Lâmpadas Mercuriais no Brasil”. Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, Brasil. 22.ed. – 363.737098, 101.
- ANDRADY, A. L., NEAL, M. A., 2009, “Applications and Societal Benefits of Plastics”, Philosophical Transactions of the Royal Society B,364,1977-1984.

- 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*, 64, 1985– 1998.
- BOSI, Antônio de Pádua, 2010. "A indústria da reciclagem: a organização capitalista do trabalho dos catadores." *Universidade e Sociedade*, Brasília, 45, 175-191.
- BNDES, 2010. "Proplástico". Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/Propastico/inde_x.html. Acesso em: 20 de junho de 2019
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. "Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências". Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 20 de junho de 2019
- BIO Intelligence Service, 2013. "Study on an increased mechanical recycling target for plastics". *Plastic Recyclers Europe*, 42.
- BRUNNER, C. R., 1994. "Hazardous Waste Incineration", 2 ed. New York, MacGrawHill.
- BUDIJATI, S.M., SUBAGYO, WIBISONO, M.A., MASRUROH, N.A., 2016. "Influence of government and economic drivers on consumers' intentions to participate in a take back program". *Int. J. Logistics Syst. Manage.* 23 , 343–362
- CAIADO, N., GUARNIERI, P., XAVIER, L.H., CHAVES, G.L.D., 2017. "A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market". *Resour. Conserv. Recycl.* 118, 47–59.
- CEMPRE, 2018. "Radiografando a Coleta Seletiva". Pesquisa Ciclosoft 2018. Disponível em: < <http://www.cempre.org.br/servicos> > Acesso em 10 de outubro de 2018.
- CLIMATE WORKS FOUNDATION, 2014. "Climate-Smart Development: Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate changes." International Bank for Reconstruction and Development, Washington DC, US.
- COLTRO, L., GASPARINA, B. F., QUEIROZ, G. D., 2008, "Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18, 2, 119-125.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNUMAD), 1992 "Agenda 21. Brasília: Coordenação de Publicações da Câmara dos Deputados". Coordenação de Publicações, 45, 472.
- CONSONNI S, Vigano F, 2012. "Waste gasification vs. conventional waste-to-energy: a comparative evaluation of two commercial technologies." *Waste Manag*, 32, 653e66.
- CORRÊA, Luiz Carlos, 2012. "Alternativa Para o Plástico: Reciclagem Energética". *Revista Brasileira de Gestão e Engenharia*, 03, 49-60
- 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.

DEFRA, 2007. “Waste Strategy Factsheets.” <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/strategy/factsheets/landfilltax.htm> Acesso em: 20 de junho de 2019

DENT, I, 1999. “Plastic Packaging Recycling”, 3p

DE OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro, 2012. “Gestão De Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas Para a Reciclagem No Brasil”. COPPE UFRJ, 76-86.

DONOHUE, M. J, 2005. “Mar. Pollut. Bull.”, 50, p.886 (2005). PMID: 15982672. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.05.003>. Acessado em: 9 de Julho de 2019

DUCHIN, F. & Lange, G. M, 1998. “Structural Changes and Economic Dynamics”, 9, p.307

DUMMER TJB, 2003. “Adverse pregnant outcomes near landfill sites in Cumbria, Northwest, England 1950-93”. Arch of Environ Health, 58(11):692-698

ELLIOT P, Richardson S, Abellan JJ, Thomsom A, Hoogh C, Jarup L, Briggs DJ, 2009. “Geographic density of landfill sites and risk of congenital anomalies in England”. Occup Environ Med. 66(2):81-89.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007. “Plano Nacional de Energia: 2030”. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 12, 372

EPIC – Environment and Plastics Industry Council, 2001. “Plastics recycling made easier with resin codes. Special news & views report: different applications, different plastics.” Mississauga, Ontario, 3-6. Disponível em: www.plastics.ca/epic. Acesso em: 20 de junho de 2019

EPIC - Environment and Plastics Industry Council, 2004. “A Review of the Options for the Thermal Treatment of Plastics.”. EPIC, 20.

ERPO (European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations), 2018. “Plastic Packaging Waste Statistics 2016: Recycling Passed 40%, Total Recovery Reached Almost 80%.” RIGK

EUROPA. a. Sínteses da legislação da UE: Gestão dos resíduos. Disponível em: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/index_pt.htm

EUR-Lex. Acesso ao direito da União Europeia. Directiva 75/442/CEE do Conselho, de 15 de Julho de 1975, relativa aos resíduos

EUR-Lex. Acesso ao direito da União Europeia. Directiva 1994/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro de 1994, relativa a embalagens e resíduos de embalagens.

EUR-Lex. Acesso ao direito da União Europeia. Directiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE).

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: 14 de julho de 2019.

GAUR, J., MANI, V., 2018. “Antecedents of closed-loop supply chain in emerging economies: A conceptual framework using stakeholder’s perspective”. *Resour. Conserv. Recycl.* 139, 219–227

GERSTMAYR, B.; HERTEL, M.; KRIST, H.; MÜLLER, S.; TRONECKER, D. 3Rs Study. Report to Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Reactor Safety of German. Augsburg, Bifa Environmental Institute, 2011.

GIANNETTI, B.F., BONILLA, S.H., ALMEIDA, C.M.V.B., 2013. “An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling”. *J. Clean. Prod.* 46, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.024>.

HOPEWELL, Jefferson et al., 2009. “Plastics recycling: challenges and opportunities.” *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* vol. 364,1526: 2115-26. doi:10.1098/rstb.2008.0311

HOBBS, G., S. HALLIWELL, 2000, “Recycling of Plastics and Polymer Composites”, *Polymer Recycling*, 5, 23–29.

HOPEWELL, J., DVORAK, R., KOSIOR, E., 2009, “Plastics recycling: challenges and opportunities”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 2115-2126

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

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2001. “Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro”, RJ, 200.

IPT/CEMPRE – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO /COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM , 2000. “Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado”. 2ª ed. São Paulo.

JENA, S.K., SARMAH, S.P., 2015. “Measurement of consumers’ return intention towards returning the used products”. *J. Clean. Prod.* 108, 818–829

JIMENEZ, A.C.M., NORDI, G.H., BERECHÉ, M.C.P., BERECHÉ, R.P., GALLEGÓ, A.G., NEBRA, S.A., 2017. “Evaluation of two different alternatives of energy recovery

from municipal solid waste in Brazil”. *Waste Manag. Res.* 35 1137-1114.
<https://doi.org/10.1177/0734242X17728123>.

JURAS, Ilidia da Ascensão Garrido Martins, 2012. “Legislação Sobre Resíduos Sólidos: Comparação Da Lei 12.305/2010 Com a Legislação D Países Desenvolvidos”. Consultora Legislativa Da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional, 55.

KHAN, Farhana et al., 2018. “Understanding Consumers' Behavior Intentions towards Dealing with the Plastic Waste: Perspective of a Developing Country.” *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier, 142, 49-58.

KIANPOUR, K., JUSOH, A., MARDANI, A., STREIMIKIENE, D., CAVALLARO, F., Md.Nor, K., ZAVADSKAS, E.K., 2017. “Factors influencing consumers’ intention to return the end of life electronic products through reverse supply chain management for reuse, repair and recycling”. *Sustainability* 9, 1–23.

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 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 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.

LEITE, P.R., 2009. “Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade”. 1 ed. São Paulo, Prentice Hall.

LEITE, P. R., 2012. “Logística reversa na atualidade. In: JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde Machado. Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos”. Barueri: Editora Manolo.

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

MASSUKADO, L. M., 2004. “Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares”. Dissertação de M.Sc., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil, 230.

MATO, Y., ISOBE, T., TAKADA, H., KANEHIRO, H., OTAKE, C. & KAMINUMA, T, 2001. “Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment”. *Environmental Science Technology*, 35(2):318-324

MAZZONI L, Janajreh I, 2017. “Plasma gasification of municipal solid waste with variable content of plastic solid waste for enhanced energy recovery, *International Journal of Hydrogen Energy* “, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.069>

MINISTER OF INDUSTRY OF CANADA, 2005. “Human Activity and the Environment. Annual Statistics”. Solid Waste in Canada. Disponível em:

- <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-201-x/16-201-x2005000-eng.pdf>. Acesso em: 14 de julho de 2019
- MORRIS, J., 1996, “Recycling versus Incineration: an Energy Conservation Analysis”, *Journal of Hazardous Materials*, 47, 277-293.
- MOTA, José Carlos et al, 2009. “Características e Impactos Ambientais Causados Pelos Resíduos Sólidos: Uma Visão Conceitual”. I Congresso Internacional De Meio Ambiente, 15.
- NOVI, J.C., OLIVEIRA, S.V.W.B., SALGADO JUNIOR, A.P., BONACIM, C.A.G., OLIVEIRA, M.M.B., 2013. “Legal, Environmental and Economic Assessment to Implement a Private Biomedical Waste Treatment System to Generate Energy in Teaching Hospitals in São Paulo State”. *Desenv. Meio Ambiente* 27, 193–209. <https://doi.org/10.5380/dma.v27i0.28407>
- OEHLMANN, J. et al, 2009. “Critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife”. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 2047–2062
- OLIVEIRA, T.B., GALVAO JUNIOR, A.C., 2016. “Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva”. *Eng. Sanitária Ambient.* 21, 55–64. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100155929>.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OCDE, 2004. “Towards waste prevention performance indicators.” Environment Policy Committee. Working Group on Waste Prevention and Recycling and Working Group on Environmental Information and Outlooks.” Disponível em: <http://www.oecd.org/> Acesso em: 14 de julho de 2019
- PATEL M., VON THIENEN N., JOCHEM E., WORRELL E. 2000. “Recycling of plastics in Germany”. *Resour., Conserv. Recycling* 29, 65–90
- PLASTICS EUROPE, “Recycling and Energy Recovery.” Disponível em: www.plasticseurope.org/en/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery. Acessado em 4 de Julho de 2019
- PLÁSTICO, 2012. *Moderno, Revista*. Disponível em: www.plastico.com.br. Acessado em 4 de Julho de 2019
- PUKKALA E, Pönkä A, 2001. “Increased incidence of cancer and asthma in houses built on a former dump area”. *Environ Health Perspect*;109(11):1121-1125.
- RAIS, 2016. “Relação Anual de Informações Sociais”. Ministério da Economia. Instituída pelo Decreto nº 76.900, de 23/12/75.
- REBEHY, Perla Calil Pongeluppe Wadhy et al., 2019 “Reverse Logistics Systems in Brazil: Comparative Study and Interest of Multistakeholders.” *Journal of Environmental Management*, Academic Press, 13 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.124>
- ROCHMAN CM et al., 2013. “Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris”. *Environ Sci Technol* 4731646–1654; [10.1021/es303700s](https://doi.org/10.1021/es303700s)

- 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.
- SANTOS, G. D. S., 2011. “Análise 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.
- SANTOS, R.E., SANTO, I.F., BARROS, R.M., BERNAL, A.P., 2019. “Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: an economic and energy comparative analysis”. *J. Environ. Manag.* 231, 198–206.
- SANTOS FILHO E, SOUZA E, SILVA R, BARRETO HHC, INOMATA ONK, LEMES VRR, KUSSUMI TA, ROCHA SOB, 2003. “Grau de exposição a praguicidas organoclorados em moradores de aterro a céu aberto”. *Rev Saude Publica* 2003;37(4):515-522.
- SASSE, F., EMIG, G., 1998. “Chemical Recycling of Polymer Materials”, *Chemical Engineering Technology*, 21, 10, 777-789.
- SILVA FILHO, C.R.V. & SOLER, F.D, 2013. “Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei”. 2ª edição. São Paulo: Trevisan Editora.
- SILVA FILHO, C.R.V, 2012. “Os serviços de limpeza urbana e a PNRS”. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J. V. M. *Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Barueri: Editora Manolo.
- SINGH, P., and V. P. Sharma, 2016. “Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches”. Elsevier B. V, 9.
- SNIS, 2017. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos 2017. Tabelas de informações e indicadores. Brasília. www.snis.gov.br Acesso em Acessado em 4 de Julho de 2019
- SISINNO CL, OLIVEIRA RM, 2000. “Resíduos Sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar”. Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz
- SISINNO CLS, MOREIRA JC, 1996. “Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil”. *Cad Saude Publica*;12(4):515-523.
- SOARES, Erika Leite de Souza Ferreira, 2011. “Estudo Da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico Dos Resíduos Sólidos Urbanos”. COPPE UFRJ, 133.
- TOLMASQUIM, M. T., 2003. “Fontes renováveis de energia no Brasil”. 1ª Ed. Rio de Janeiro, Interciência
- TRICICLO, 2019. “Projeto Retorna Machine”. Disponível em: <http://triciclo.eco.br/retorna-machine/como-funciona-e-regras/> Acessado em 7 de Dezembro de 2019

- VILELA-RIBEIRO, E. B. *et al*, 2009. “Uma abordagem normativa dos resíduos sólidos de saúde e a questão ambiental. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental”, 22, 168-176.
- WARD RS, WILLIAMS GM, HILLS CC, 1996. “Changes in major and trace components of landfill gas during subsurface migration”. *Waste Manage Res.* ;14(3):243-261.
- WONG, 2010. “A Study of Plastic Recycling Supply Chain”. The Chartered Institute of Logistics and Transport UK, 68.
- ZANIN, M., and MANCINI, SD, 2015. “Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia”. 2nd ed. São Carlos: EdUFSCar, 138 p. ISBN 978-85-7600-457-8.
- ZHANG, Y.M., HUANG, G.H., He, L., 2011. “An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems”. *J. Environ. Manag.* 92, 522–530. [https://doi.org/ 10.1016/j.jenvman.2010.09.011](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.011).